

СПбГУТ)))

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFOTELECOMMUNICATIONS ICAIT 2023
Международная научно-техническая и научно-методическая конференция
«Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании»



АПИНО
ICAIT



2024

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ**

APINO.SUT.RU



ПАРТНЕРЫ



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА



Научный журнал
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
ijitt.ru

УДК 001:061.3(082)
ББК 72 А43

Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. Р. В. Киричка; сост. А. А. Нестеров. СПб. : СПбГУТ, 2024. Т. 3. 846 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Киричек Р. В., доктор технических наук, доцент, ректор СПбГУТ (Россия)

Заместитель председателя

Брусиловский С. А., кандидат технических наук, проректор по научной работе СПбГУТ (Россия)

Ответственный секретарь

Нестеров А. А., начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров СПбГУТ (Россия)

Члены программного комитета

Yevgeni Koucheryavy, professor, Ph. D., Senior member IEEE, Department of Electronics and Communication Engineering Tampere University of Technology (Finland)

Ahmed A. Abd El-Latif, Ph. D., Prince Sultan University, head of "MEGANETLAB 6G", SPbSUT (Saudi Arabia)

Jong-Ho Lee, Ph. D. in Electrical Engineering, Vice President of Institute of Electronics Engineers of Korea (IEEK), ETRI (Korea)

Сеилов Ш. Ж., доктор экономических наук, академик Международной Академии Связи, декан факультета информационных технологий Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Казахстан)

Каримов Б. Т., кандидат технических наук, доцент, директор Института электроники и телекоммуникаций, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий Кыргызского государственного технического университета И. Разакова (Кыргызстан)

Фёдоров С. Л., кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиотехнологий связи СПбГУТ (Россия)

Окунева Д. В., кандидат технических наук, проректор по проектной деятельности, доцент кафедры программной инженерии и вычислительной техники (Россия)

Зикратов И. А., доктор технических наук, профессор, декан факультета информационных систем и технологий СПбГУТ (Россия)

Владыко А. Г., кандидат технических наук, доцент, декан факультета фундаментальной подготовки СПбГУТ (Россия)

Сотников А. Д., доктор технических наук, доцент, декан факультета цифровой экономики, управления и бизнес-информатики СПбГУТ (Россия)

Шутман Д. В., кандидат политических наук, доцент, декан гуманитарного факультета СПбГУТ (Россия)

Гири В. А., полковник, начальник военного учебного центра СПбГУТ (Россия)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ СПбГУТ, Россия

Председатель

Абилов А. В., первый проректор – проректор по учебной работе

Заместитель председателя

Журавлева Н. Н., проректор по молодежной политике и международному сотрудничеству

Ответственный секретарь

Аникевич Е. А., кандидат технических наук, начальник отдела организации научно-исследовательской работы и интеллектуальной собственности

Члены организационного комитета

Ивасишин С. И., директор департамента организации и качества образовательной деятельности

Эмексузян А. Р., директор департамента экономики и финансов

Григорян Г. Т., начальник управления маркетинга и рекламы

Зыкова Н. В., начальник управления информационно-образовательных ресурсов

Казаков Д. Б., начальник управления информатизации

Гаврилова А. Н., главный специалист группы планирования научных исследований и аналитики

В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня ИТ и телекоммуникаций. Предлагаются методы и модели совершенствования научно-методического обеспечения отрасли связи и массовых коммуникаций.

Предназначено научным работникам, аспирантам и студентам старших курсов телекоммуникационных и политехнических вузов, инженерно-техническому персоналу и специалистам отрасли связи.

Научное издание
Литературное редактирование,
корректурa И. М. Татарникова, Д. Н. Яшугин
Оформление Г. И. Юрьев
Верстка М. О. Мотыгина
Подписано в печать 16.08.2024.
Вышло в свет 29.08.2024. Формат 60×90 1/8.
Уст. печ. л. 52,87. Заказ № 112-ИТТ-2024.
пр. Большевиков, д. 22, корп. 1.
Россия, Санкт-Петербург, 193232

СОДЕРЖАНИЕ

Радиотехнологии связи	5	Radio Technology Communication
Теоретические основы радиоэлектроники и систем связи	474	Theoretical Foundations of Radio Electronics and Communication Systems
Сети связи специального назначения	629	Special-Purpose Communication Networks
Аннотации	779	Annotations
Авторы статей	817	Authors of Articles
Авторский указатель	844	The Author's Index

РАДИОТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ

УДК 621.391
ГРНТИ 47.05

МЕТОДИКА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ РАДИОСЕТИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ЧАСТОТНО–ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЕСУРСЕ

Н. И. Абрамова, В. А. Липатников, М. И. Петренко

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Определены исходные данные для реализации методики повышения устойчивости функционирования радиосети по средствам многопараметрической адаптации частотно–энергетического ресурса радиосети. Поставлена задача на разработку алгоритма поиска набора адаптивных параметров радиосети в условиях ограниченных ресурсов радиосети. Применен метод сетевого исчисления для получения граничных оценок, обеспечивающий подбор оптимального набора управленческих действий из возможного ресурса адаптивных параметров.

сетевое исчисление, методика, самоорганизующаяся сеть, поток, помехозащищенность, система массового обслуживания маршрутизация, протокол маршрутизации

Современные сети радиосвязи с возможностью самоорганизации (СРВС) обладают рядом достоинств, однако их применение в условиях непреднамеренных и преднамеренных помех [1] в ряде случаев ограничено.

Большинство протоколов маршрутизации [2] в СРВС ориентированы на использование имеющегося наилучшего маршрута из множества доступных [3, 4], при этом не осуществляются процессы управления параметрами каналов связи. Это определяет актуальность разработки новых методических подходов, направленных на повышение устойчивости СРВС за счет совершенствования существующего алгоритма функционирования.

Таким образом, целью разработки методики является формирование набора вероятностно-оптимальных параметров, применимых к широкому

классу существующих алгоритмов адаптации, которые позволили бы обеспечить требуемое качество каналов связи. Это требует разработки модели и методик повышения устойчивости радиосети с возможностью самоорганизации путем применения многопараметрической адаптации, учитывая возможность функционирования в условиях непреднамеренных и преднамеренных помех. В основу разрабатываемых моделей и методик предлагается продолжить развитие известных научных результатов [5–9].

С учетом существующих противоречий в науке и практике, а также проблемной ситуации сформулированы цель, предмет, объект и научная задача исследования.

Цель исследования – обеспечить устойчивость самоорганизующейся сети радиосвязи (ССР) за счет многопараметрической адаптации.

Объект исследования – сеть радиосвязи с возможностью самоорганизации.

Предмет исследования – устойчивость функционирования радиосети при информационном обмене, которая удовлетворяет предъявляемым требованиям в условиях динамического изменения структуры сети при ухудшении помеховой обстановки. Для достижения цели исследования, с учетом выбранного объекта и предмета исследования, необходимо решить научную задачу.

Постановка задачи. Разработать методику M повышения устойчивости $K_{И}$ самоорганизующейся радиосети S в диапазоне значений агрегированного потока X и допустимых граничных информационных задержек Y , за счет варьирования набора адаптивных ресурсов R и воздействия противника E .

$$M: \langle S, R, X, E, Y, Q \rangle \rightarrow \max K_{И} / \forall K_{И} \geq K_{И \text{ треб}}, Y \leq Y_{\text{доп}}, Q \geq Q_{\text{треб}}, \quad (1)$$

Исходные данные. ССР – S , характеристики агрегированного потока – X , граничные информационные задержки – Y и пропускная способность – Q , радиосети, сложная сигнально–помеховая обстановка – E , повышаемый показатель коэффициента исправного действия – $K_{И}$, множество адаптивных ресурсов – R .

Допущения и ограничения. В методике учитываются следующие виды трафика: речевой; передача данных; видеопоток от средств объективного контроля. Методика применима для повышения устойчивости радиосети с наличием ретрансляционных узлов. Процессы, протекающие в модели, рассматриваются на временном интервале от начала передачи сообщения до гарантированного приема сообщения. В начале моделирования электромагнитная доступность между радиокорреспондентами ССР пропадает из-за влияния помехи, далее рассматриваются допустимые маршруты. Имеющаяся минимальная задержка в проводной транспортной сети между базовыми станциями и центром коммутации в модели не учитывается.

$$R \in [F, C, N, P] / \text{при } P \rightarrow P_{\min}, \quad (2)$$

где F – рабочая частота, C – вид сигнально-кодовой конструкции, N – оптимальный маршрут, P – излучаемая мощность.

В целях обеспечения устойчивости функционирования СРВС в условиях динамических изменений структуры сети при ухудшении помеховой обстановки следует применить алгоритмы адаптивного управления параметрами каналов связи. Стоит рассматривать обеспечение устойчивости функционирования ССР на трех уровнях МВОС: первый уровень – показатели устойчивости отдельных радионаправлений, второй уровень – показатели, характеризующие устойчивость ССР в целом, третий уровень – комплексные характеристики устойчивости ССР, к примеру, связность информационных направлений.

Рассмотрим процесс функционирования радиосети с возможностью самоорганизации на примере модели [10]. Методика должна обеспечить повышение устойчивости ССР путем применения многопараметрической адаптации при условиях ограниченного частотно-энергетического ресурса. На рисунке 1 представлена структурно-логическая схема методики многопараметрической адаптации радиосети с возможностью самоорганизации при ограниченном частотно-энергетическом ресурсе.

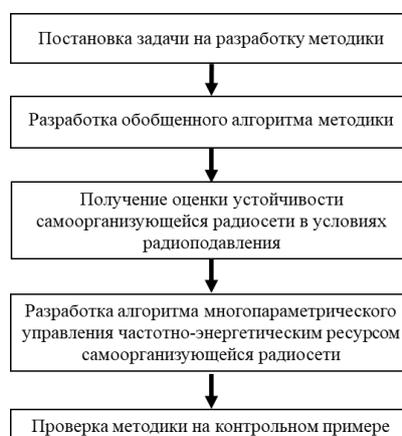


Рис. 1. Структурно-логическая схема методики

Порядок реализации методики описывает алгоритм многопараметрического управления параметрами ССР в условиях радиоэлектронного подавления (рис. 2).

Управление параметрами ССР начинается с момента M_1 , используя исходные радиоданные, однако в момент M_0 формируется набор вероятностно-оптимальных параметров для главной радиостанции.

После выполнения процедуры «фазирование» в момент M_1 подчиненные радиостанции, находящиеся в сети, получают от главной радиостанции набор вероятностно-оптимальных параметров. Подчиненные радиостанции

обмениваются квитанциями и собственным набором вероятностно-оптимальных параметров целях реализации адаптивного управления группой параметров в тех случаях, если исходные радиоданные не могут обеспечить требуемые параметры. Производится граничная оценка информационных задержек и загрузок на доступных маршрутах от главной станции к подчиненной станции.

В момент М2 при начале сеанса связи проводится оценка выбранного набора параметров с рассчитанным набором вероятностно-оптимальных параметров во время М1, с периодичностью происходит уточнение набора вероятностно-оптимальных параметров. При ухудшении контролируемых параметров радиостанция в радиосети рассылает свой набор вероятностно-оптимальных параметров в пределах маршрутной таблицы, включая главную станцию.

В случае ухудшения контролируемых параметров и прерывании связи (без нарушения синхронизации) в момент М3 происходит уточнение набора вероятностно-оптимальных параметров, путем поиска наилучшей последовательности выполнения адаптивных процедур. Данные процессы выполняются до момента нарушения синхронизации.

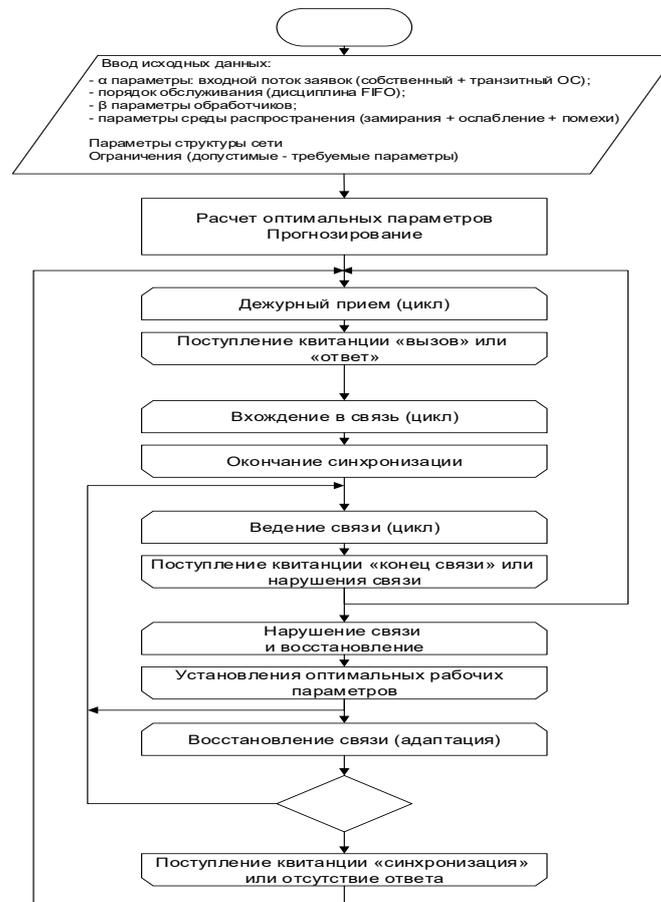


Рис. 2. Блок-схема обобщенного алгоритма методики многопараметрического управления ресурсом радиосети

В случае ухудшения контролируемых параметров и прерывании связи с нарушением синхронизации в момент M_4 происходит поиск вероятностно–оптимальных параметров, после успешного установления низкоскоростного, помехоустойчивого режима работы, способного гарантированно обеспечить информационный обмен вероятностно–оптимальных параметров радиостанции в районе ухудшения контролируемых параметров.

Новизна методики состоит в совершенствовании известного научно–методического аппарата по отношению к известным. Методика может быть использована при формировании исходных данных для дальнейших исследований широкого класса оптимизационных задач в области управления и распределения ресурса ССР в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех.

Результаты, полученные при применении методики многопараметрической адаптации радиосети с возможностью самоорганизации, могут быть использованы при формировании алгоритмов управления перспективных устойчивых радиосетей в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех. Методика позволяет получить: оценку информационной загрузки в радиосети при многопараметрическом управлении; оценку информационной задержки в радиосети при многопараметрическом управлении.

Список используемых источников

1. Алекаев А. Е., Липатников В. А., Ряскин Р. Ю., Капкин Ю. А. Модель многоступенчатой адаптации низкоэнергетической радиолинии коротковолнового диапазона с учетом затрачиваемых ресурсов радиолинии и прогнозирования сигнально–помеховой обстановки. Системы управления, связи и безопасности, 2020. № 3. С. 158–183.
2. Липатников В. А., Сахаров Д. В., Парфиров В. А., Петренко М. И. Имитационная модель распределенного объекта радиоконтроля, отражающая динамику перемещений и смену режимов работы радиоэлектронных средств // Санкт–Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2022. С. 556–558.
3. Липатников В. А., Парфиров В. А., Петренко М. И. Общая модель самоорганизующейся радиосвязи с мультиплексированием потоков // Международная научно–практическая конференция «Транспорт России: Проблемы и перспективы – 2022». СПб.: ИПТ РАН, 2022. Т. 1. С. 293–297.
4. Вишневский В. М. Стохастические системы с коррелированными потоками. Теория и применение в телекоммуникационных сетях / В. М. Вишневский, А. Н. Дудин, В. И. Клименок. М.: «Техносфера», 2018. 564 с.
5. Сорокин К. Н. Модель системы управления параметрами линии радиосвязи на основе нечеткой логики // Информация и космос. СПб.: 2018 г. № 4. С. 39–43.
6. Фёдоров И. В., Липатников В. А., Белов А. В. Модель когнитивной радиосети на основе теории стохастического сетевого исчисления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно–техническая и научно–методическая конференция: сб. науч. ст. в 4–х т. СПб.: СПбГУТ, 2021 г. С. 86–90.
7. Alves M. Special Issue: Quality of Service in Wireless Sensor / Actuator Networks and Systems // Journal of Sensor and Actuator Networks, 2018. PP. 1–5.

8. Al-Zubaidy H. A (min,x)-network calculus for multi-hop fading channels / H. Al-Zubaidy, J. Liebeherr, A. Burchard // In Proc. IEEE INFOCOM, 2013. PP. 1833–1841.

9. Липатников В. А., Сахаров Д. В., Парфилов В. А., Петренко М. И. Моделирование функционирования распределенного объекта радиоконтроля // Региональная информатика и информационная безопасность. СПб., 2022. С. 599–604.

10. Липатников В. А., Петренко М. И. Модель самоорганизующейся сети радиосвязи, функционирующей в сложной сигнально-помеховой обстановке // Труды учебных заведений связи, 2023. Т. 9. № 2. С. 72–80.

Статья представлена научным руководителем, старшим научным сотрудником научно-исследовательского центра Военной академии связи, доктором технических наук, профессором В. А. Липатниковым.

УДК 621.396.229
ГРНТИ 47.47.29

ПОМЕХОЗАЩИТА КАНАЛОВ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ГРУППЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Н. И. Абрамова, М. З. Лящук

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье анализируется помехозащищенность каналов управления и передачи данных робототехнических комплексов. Предложены известные различные методы и способы помехозащиты и приводятся ожидаемые результаты от их применения.

помехозащищенность, канал управления, робототехнический комплекс, вид модуляции, технология связи, радиостанция

Ключевую роль в обеспечении надежного управления группой робототехнических комплексов (РТК), оперативной передачи и ретрансляции информации играет канал радиосвязи. Система управления РТК должна комплексно использовать различные методы помехозащиты подсистемы связи: радиоканалы носимых и возимых УКВ и КВ радиостанций, спутниковые, радиорелейные радиоканалы, самонастраиваемые распределенные MESH-сети, беспроводные самоорганизующиеся Ad-hoc и МАНЕТ-сети с динамической маршрутизацией сообщений, а также программно-определяемые радиосистемы, когнитивные радиосистемы и др. При этом в перечисленных методах могут использоваться различные способы помехозащиты для обеспечения устойчивого функционирования радиоканалов управления и передачи данных [1]:

- работа на фиксированной частоте;
- создание самоорганизующих сетей типа MESH, МАНЕТ;
- организация многоканальных радиолиний;
- использование оригинальных сигнально-кодовых конструкций;
- прямое расширение радиоспектра;
- использование сверхширокополосных сигналов;
- программная перестройка рабочей частоты;
- технология программно-определяемого радио;
- технология когнитивного радио и др.

Решение проблемы помехозащиты каналов управления и передачи данных может быть получено за счет синтеза помехозащищенных алгоритмов

функционирования радиолинии в различных условиях сигнальной и помеховой обстановки. Используя разнородные каналы управления и передачи данных, а также различные способы помехозащиты, для устойчивого управления группой РТК могут быть предложены определенные меры помехозащиты, ожидаемые результаты от которых представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Меры по обеспечению устойчивости и помехозащищенности управления РТК (БпЛА)

Мера	Ожидаемый результат
Создание распределенной самоорганизующей сети (типа МЕСН) произвольной структуры	Повышение структурной живучести направлений связи за счет организации обходных маршрутов
Создание распределенной самоорганизующей цифровой сети типа МАНЕТ с гарантированной доставкой пакетов абоненту с динамической топологией радиосети роботов	Самовосстановление при выходе из строя отдельных звеньев, самотестирование, исключение необходимости использования таблично-ориентированных таблиц маршрутизации (динамическая маршрутизация пакетов)
Применение ППРЧ в широком диапазоне частот	Повышение помехозащищенности радиолиний
Применение помехоустойчивого кодирования в радиосредствах	Восстановление достоверности информации после непреднамеренного и преднамеренного воздействия
Выбор наиболее энергетически эффективного метода модуляции	Обеспечение максимально возможной дальности связи
Использование преимущества свойства конвергентности программно-конфигурируемых радиостанций нового поколения	Радиостанция может программно подстраиваться к текущим характеристикам канала связи. Адаптация к протоколам взаимодействия с радиостанциями предыдущих поколений
Частое сканирование рабочего диапазона частот, постоянный мониторинг и отслеживание изменений частотного диапазона с целью поиска свободных участков диапазона частот	Совместное использование частотного ресурса с лицензионными пользователями (не требуется оформления лицензий для использования определенных частот)
Применение адаптивных (по мощности и скорости передачи) режимов работы радиосредств	Адаптация сети к складывающейся радиоэлектронной обстановке в условиях активного применения системы противодействия
Применение децентрализованной системы управления и синхронизации сети	Защита от «умного» воздействия на канал синхронизации и управления группы РТК
Применение криптографической защиты	Защита радиолиний от навязывания ложной информации и блокирования

Реализуемые в радиосредствах нового поколения заданные технические характеристики должны позволить создавать самоорганизующиеся, самонастраивающиеся и самовосстанавливающиеся адаптивные сети радиосвязи с возможностью ретрансляции и с программным изменением своей конфигурации в зависимости от складывающейся обстановки. В перспективных радиосетях будут реализованы алгоритмы:

- автоматического развертывания распределенной сети радиосвязи;
- динамической самоорганизации сетевой архитектуры;
- самовосстановления информационного обмена;
- самодиагностики, позволяющей вести постоянный контроль за прохождением сообщений.

Суть самоорганизующихся сетей – предоставление абоненту возможности доступа к различным сетевым услугам посредством передачи и приема «своего» трафика через соседних абонентов, без использования любого рода базовых станций, точек доступа и т.п.

Mesh-технология обеспечивает каждой радиостанции, размещенной на РТК, автоматическое обнаружение других станций и выяснение роли каждой из этих станций в организуемой сети радиосвязи. Это исключает необходимость ручного администрирования сети и играет важную роль для оперативного развертывания радиосети в интересах группового управления. Данные сети будут состоять из идентичных узлов, каждый из которых должен сочетать в себе функции маршрутизатора и оконечного устройства [2].

Технология MANET (Mobile Ad Hoc Network) обеспечивает цифровую пакетную передачу различных видов трафика (данные, речь, видео) с гарантированной доставкой информации абоненту. Использование данной технологии в робототехнике позволит: обеспечить постоянную связь с приданными оператору РТК, представление видео, аудио и другой информации от робота, отдачу команд конкретному роботу на выполнение определенной решаемой задачи. При этом топология радиосети может быстро изменяться при движении роботов, произвольного их входа и выхода из группы, что практически исключает возможность применения таблично-ориентированных протоколов маршрутизации [3].

Основным требованием при организации каналов связи с РТК является обеспечение возможности передачи данных с заданной скоростью и вероятностью ошибки при больших расстояниях. Выполнение данного требования существенно зависит от вида модуляции радиосигналов.

Выбор вида модуляции для радиоканалов связи с РТК целесообразно осуществлять, исходя из их спектральной и энергетической эффективности. При этом энергетическая эффективность определяется как энергия, которую необходимо затратить на передачу одного бита информации с заданной достоверностью, а спектральная эффективность – полоса частот, которая необходима для передачи информации с определенной скоростью.

На рис.1 показано сравнение энергетической эффективности для видов модуляции, широко используемых в радиотехнике:

- BPSK – двойная фазовая модуляция;
- QPSK – квадратурная фазовая манипуляция;
- QAM-16 – квадратурная амплитудная модуляция (16 поднесущих);
- QAM-32 – квадратурная амплитудная модуляция (32 поднесущих);
- QAM-64 – квадратурная амплитудная модуляция (64 поднесущих).

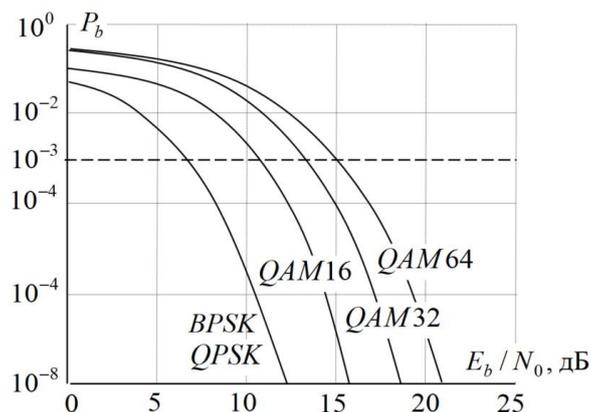


Рис. 1. Вероятность битовой ошибки для различных видов модуляции без кодирования и идеальной синхронизации

P_b – вероятность битовой ошибки, E_b/N_0 – отношение энергии сигнала на один бит к спектральной плотности мощности шума. Анализ результатов на рис. 1 показал, что с увеличением позиционности сигнала значение его вероятности ошибки на бит возрастает. Следовательно, для рассматриваемых каналов наиболее перспективным является применение сигналов с BPSK. Но в этом случае при когерентном детектировании возникают проблемы с восстановлением поднесущих. Для решения данной проблемы используют схему с возведением сигнала в квадрат, т.е. QPSK, которая обеспечивает наилучший результат. При низком уровне помех система будет использовать модуляцию QAM-64 и высокую скорость кодирования, что обеспечит максимальную скорость передачи данных. При высоком уровне помех будет использоваться модуляция QPSK с более низкой скоростью кодирования и при меньшей скорости передачи данных.

Заметное влияние на состояние радиоканала между подвижными РТК оказывает взаимное их расположение и рельеф местности, что требует учета влияния данных факторов. Для организации каналов радиосвязи с РТК необходимо учитывать факторы, влияющие на дальность связи: диапазон рабочих частот, область радиовидимости, высоту подъема антенны, коэффициент усиления антенны, мощность передатчиков. Подбор параметров необходимо подбирать так, чтобы дальность связи с РТК приближалась к максимальной [1].

В ряде работ [1, 4, 5, 6] и проводимых исследованиях рассматривались предусмотренные в перспективных радиостанциях возможности использования различных технологий связи, современных сигнально-кодовых конструкций, криптографической защиты информации, программно-определяемого радио (SDR – software defined radio) и использования когнитивной радиосистемы (CRS – cognitive radio system).

Было установлено, что в традиционно разрабатываемых многоканальных радиолиниях связи, используемых для группового управления РТК, с частотным разделением каналов приходится решать вопросы повышения помехоустойчивости и уменьшения взаимовлияния каналов. Последнее требует сильно разносить поднесущие частоты, что приводит к расширению полосы пропускания. С ростом же полосы пропускания ухудшается помехоустойчивость системы.

При временном разделении каналов возникает необходимость в синхронных распределительных устройствах, коммутаторах на приемной и передающей сторонах, что позволяет создать надежно работающие линии связи с большим числом каналов. При этом взаимовлияние каналов менее существенно, чем при частотном разделении.

Наиболее перспективными представляются многоканальные линии связи с кодовым разделением каналов [6]. Сущность кодового метода разделения каналов сводится к тому, что в каждом из каналов в качестве поднесущих колебаний используются периодические последовательности групп импульсов, называемых сигнально-кодовыми конструкциями (СКК). Радиолиния при этом обеспечивает высокую помехозащищенность и точность воспроизведения передаваемых команд.

Список используемых источников

1. Пшеничников А. В. Модели и методы помехозащиты радиолиний: монография. СПб.: ВАС, 2017. С. 65–71.
2. Ляхов А. И. Многоканальные mesh-сети: анализ подходов и оценка производительности // Информационные процессы, 2008. Т. 8. С. 173–172.
3. Лопота А. В., Николаев А. Б. Современные тенденции развития робототехнических комплексов. Государственный научный центр Российской Федерации ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, СПб, 2017. С. 23–28.
4. Комашинский В. И., Мардер Н. С., Парамонов А. И. От телекоммуникационной к когнитивной инфокоммуникационной системе // Технологии и средства связи, 2011. № 4. С. 52–54.
5. Якунин А. С. Технологии шестого поколения для инновационных средств связи // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. М., 2017. С. 132–133.
6. Коновалюк С. Н., Трухачев А. И., Швырёв В. Н. Роботизированные комплексы двойного назначения // Труды первой военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации». М., 2016. С. 235–237.

УДК 004.852
ГРНТИ 20.53.19

АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОГО НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Д. А. Агаян, В. И. Тимченко, И. Н. Чернов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Разнообразие данных для обучения нейронной сети – важное условие качественного решения задач с использованием искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Однако, сбор данных не всегда возможен в силу конфиденциальности требуемой информации, возникновения риска жизни человека или ограничения по времени. В результате хорошей альтернативой могут стать синтетические данные, полученные путём цифровой обработки изображений. В статье рассматривается, что такое синтетические данные, когда их лучше применять, какие существуют инструменты генерации и какими способами можно задействовать синтетические данные.

обучение нейронной сети, обработка изображений, набор данных

Организация обучения нейронной сети осуществляется с формирования данных для обучения и валидации. Валидация - процесс подтверждения достоверности действий нейронной сети [1].

Независимо от размера и сложности, нейронные сети являются очень требовательными к объему и разнообразию обучающих данных. Для максимально качественного результата обучения требуется обеспечить должную подготовку набора данных, но, к сожалению, это не всегда возможно. Как альтернативу, следует рассмотреть синтетический метод генерации данных [2, 3].

Синтетические данные – это искусственные данные, имитирующие наблюдения реального мира, которые используются для подготовки нейронной сети. Работа с синтетическими данными актуальна, когда получение реальных данных невозможно из-за сложности или дороговизны [4].

Выделим основные преимущества синтетического набора данных:

– Эффективность использования ресурсов. Генерация синтетических данных может быть эффективнее, чем сбор данных событий реального мира. Также процесс синтеза занимает считанные дни, а для анализа реальных данных иногда требуются недели, месяцы или даже годы.

– Исследование редких данных. Не исключено, что данные могут быть редкими или их сбор связан с опасностью. Пример редких данных – это природные явления или антропогенные опасности. Прототипом таких данных

могут быть крупные землетрясения, военные действия, террористические акты.

– Исключение проблем конфиденциальности. При необходимости передачи сторонним лицам уязвимых данных требуется учитывать вопросы конфиденциальности. Генерация синтетических данных устраняет следы рассекречивания данных, позволяя создать новый корректный набор данных.

– Простота разметки и контроля. Синтез данных упрощает разметку объектов на изображении, примером может быть сгенерированное изображение парка, на котором автоматически размещаются модели деревьев, людей и животных.

Существует два типа синтетических данных: частичные и полные. Частичный тип включает в себя синтетические данные и реальные данные из наблюдений и измерений. Примером является сгенерированное изображение огня, вставленное в реальную фотографию комнаты (рис. 1).



Рис. 1. Пример частично синтезированных данных

Полный тип состоит исключительно из синтетических данных. Например, сгенерированное изображение огня в смоделированном окружении (рис. 2).



Рис. 2. Пример полностью синтезированных данных

Вместе с тем, модели нейронных сетей, обученные исключительно на синтетических данных, в некоторых случаях могут не гарантировать эффективного качества и надежности. Например, ПО для систем обнаружения предаварийных ситуаций лучше обучать на синтетических и на реальных данных. Другие модели нейронных сетей, применение которых связано с меньшей потенциальной угрозой, можно обучать на одних синтетических данных.

Кроме синтезированных данных, существуют аугментированные и рандомизированные данные.

Аугментированные данные – процесс добавления к набору данных изменённых копий существующих элементов. Применение аугментирования данных дополнит набор практически подобными изображениями, но с небольшими отличиями в цветности, контрастности или яркости (рис. 3, 4).



Рис. 3. Набор данных оригинального изображения



Рис. 4. Набор данных аргументированного изображения

Рандомизированные данные – процесс сдвигания элементов изображения внутри набора данных. Тогда исходное изображение становится другим, без существенного изменения или добавления новых параметров (рис. 5).



Рис. 5. Набор данных рандомизированного изображения

Таким образом, реализация рассмотренных методов позволит улучшить исходный набор данных, модифицировав классические способы подготовки данных для обучения нейронной сети. Это позволит уменьшить количество ошибок, которые могут допускаться различными датчиками позволив увеличить вероятность правильного обнаружения искомых объектов в сложных ситуациях [5].

Список используемых источников

1. Искусственные нейронные сети управления технологическими процессами // Controleng: сайт. URL: https://controleng.ru/perspektiva/neural_networks/ (дата обращения: 11.03.2024).
2. Ясницкий Л. Н. Интеллектуальные системы. М.: Лаборатория знаний, 2020. 222 с.
3. Николенко С., Кадурын А. Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2022. 480 с.
4. Как организовать разметку данных для машинного обучения: методики и инструменты // Habr: сайт. URL: <https://habr.com/ru/articles/572508/> (дата обращения: 09.03.2024).
5. Synthetic Data Generation: Definition, Types, Techniques, and Tools // Turing: сайт. URL: <https://www.turing.com/kb/synthetic-data-generation-techniques> (дата обращения: 11.03.2024).

УДК 004.421
ГРНТИ 47.14.17

**ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ
ВЫЧИСЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
СИГНАЛОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ
С НИЗКИМ И СВЕРХНИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

Х. М. М. Аїед

ООО "МАРКЕТА"

В статье предложено приложение, разработанное в графическом интерфейсе пользователя в MATLAB для оптимизации обработки сигналов на основе непрерывного вейвлет-преобразования для возможности их реализации на устройствах с низким и сверхнизким энергопотреблением. Данное приложение позволяет выводить графики исходного сигнала электроэнцефалограммы, параметры оптимизации, модифицированный сигнал и полученные вейвлет-спектрограммы.

вейвлет, непрерывное вейвлет-преобразование, графический интерфейс пользователя (GUI), обработка сигналов, ЭЭГ, низкое энергопотребление, сверхнизкое энергопотребление

Энергопотребление становится все более актуальной проблемой в современном мире, где стремительный рост технологий сопровождается увеличением энергозатрат. Особое внимание уделяется разработке и внедрению технологий с низким и сверхнизким энергопотреблением, чтобы уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить более эффективное использование ресурсов.

Устройства с низким энергопотреблением играют ключевую роль в современном мире, обеспечивая эффективное и устойчивое функционирование различных систем. Эти устройства, известные своей способностью эффективно использовать энергию, имеют значительные преимущества в различных областях, таких как беспроводные сенсорные сети, мониторинг окружающей среды, и сбор данных для аналитики, технологии интернета вещей (IoT), медицинские приборы, и портативные гаджеты.

Вейвлет-анализ представляет собой математический подход, который позволяет анализировать сигналы на различных уровнях разложения [1–6]. Применение вейвлетов может быть ключевым фактором в эффективном управлении энергопотреблением.

Использование вейвлет-преобразования позволяет эффективно сжимать данные, удаляя ненужные детали сигнала, что особенно полезно при

передаче данных на беспроводных устройствах с ограниченными ресурсами. Вейвлеты также могут быть внедрены в алгоритмы обработки сигналов, повышая энергоэффективность за счет локализации анализа на уровне деталей сигнала.

Вейвлет (от англ. wavelet – маленькая волна или всплеск) – это математическая функция для частотно-временного анализа сигналов, которая позволяет анализировать сигналы как по времени, так и по частоте, что дает возможность получения большей информации о сигнале [7–12].

В статье рассматривается приложение, разработанное автором, для обработки сигналов на основе непрерывного вейвлет-преобразования для возможности их реализации на устройствах с низким и сверхнизким энергопотреблением. Приложение было разработано в графическом интерфейсе пользователя в MATLAB 2019.

В качестве сигнала был выбран сигнал электроэнцефалограммы с длительностью 10 с. и с частотой дискретизации 2 кГц.

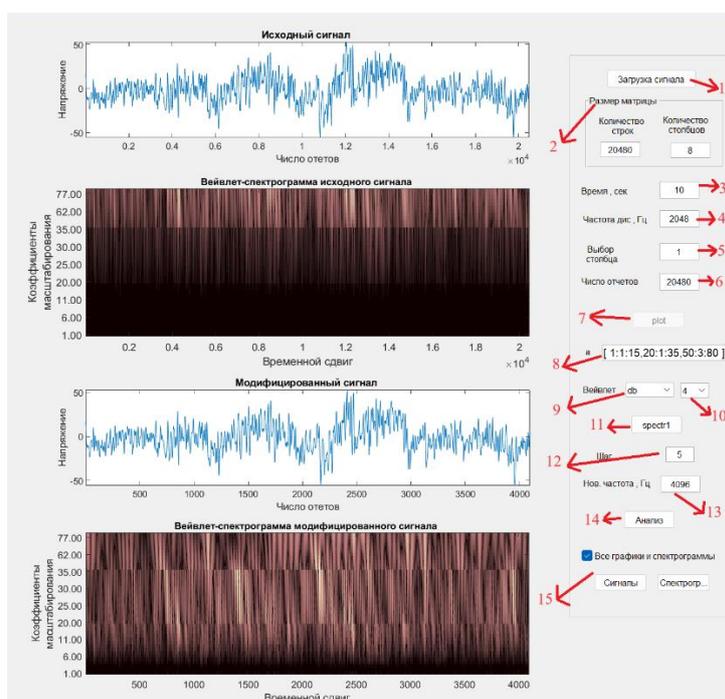


Рис. 1. Приложение для оптимизации обработки сигналов на основе непрерывного вейвлет-преобразования для их реализации на устройствах с низким и сверхнизким энергопотреблением

Этапы выполнения

1. При нажатии на кнопку «Загрузка сигнала» загружается выбранный сигнал для его обработки.

2. В поле «Размер матрицы» загрузки сигнала, отображается размер матрицы исходного сигнала (количество отсчетов и каналов).

3. Выбирается длина сигнала в секундах.
4. В соответствии с длиной сигнала, в поле «Частота» отображается частота дискретизации исходного сигнала.
5. Так как приложение пока обрабатывает только одномерные сигналы, на пятом шаге «выбор столбца» выбирается один канал сигнала ЭЭГ.
6. В соответствии с выбранным каналом в поле «Число отсчетов» отображается число отсчетов выбранного канала сигнала.
7. После введения соответствующих данных при нажатии на кнопку «Plot» на верхнем левом поле (0) отображается выбранный сигнал.
8. На данном этапе в соответствии с загруженным сигналом выбираем диапазон масштабирования (коэффициенты масштабирования). Масштабирующие коэффициенты соответствуют основным частотам сигнала. Остальные масштабирующие коэффициенты не учитываются, что позволяет сократить количество обрабатываемых данных.
9. Так как существует множество видов вейвлетов (0) для каждого сигнала выбирается функция вейвлета, оптимальная для обработки данного сигнала.
10. После выбора функции вейвлета выбираем оптимальный уровень обработки сигнала.
11. При нажатии на кнопке «spectr1» на втором левом окне отображается вейвлет-спектрограмма исходного сигнала.
12. Для того, чтобы была возможность реализации алгоритма обработки сигналов на устройствах с низким и сверхнизким энергопотреблением, модифицируем сигнал путем сокращения его частоты дискретизации в несколько раз. На рисунке 2 отображается новый сигнал после его модификации (сокращения частоты дискретизации).
13. В соответствии с количеством раз сокращения частоты, в поле «нов. частота» отображается новая частота дискретизации модифицированного сигнала.
14. На последнем этапе при нажатии на кнопку «Анализ» в третьем окне отображается сигнал после его модификации, а в четвертом окне вейвлет-спектрограмма модифицированного сигнала.
15. Для проверки сигнала на наличие значительных искажений используется флажок «Все графики и спектрограммы». При его установке отображается окно, в котором выводятся две кнопки «сигналы» и «спектрограммы», при нажатии которых отображаются все графики (0,а) и все вейвлет-спектрограммы (0,б) в новых окнах. Количество графиков и вейвлет-спектрограмм соответствует количеству раз сокращения частоты исходного сигнала.

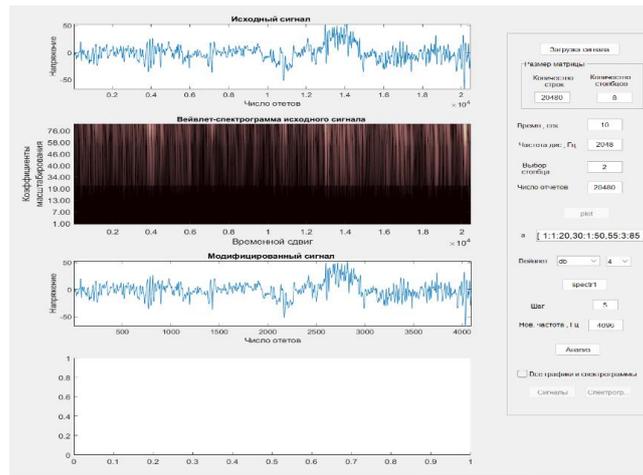


Рис. 2. Сравнение исходного сигнала с модифицированным сигналом

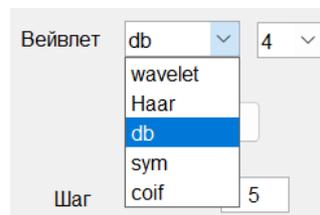


Рис. 3. Вейвлет-функции

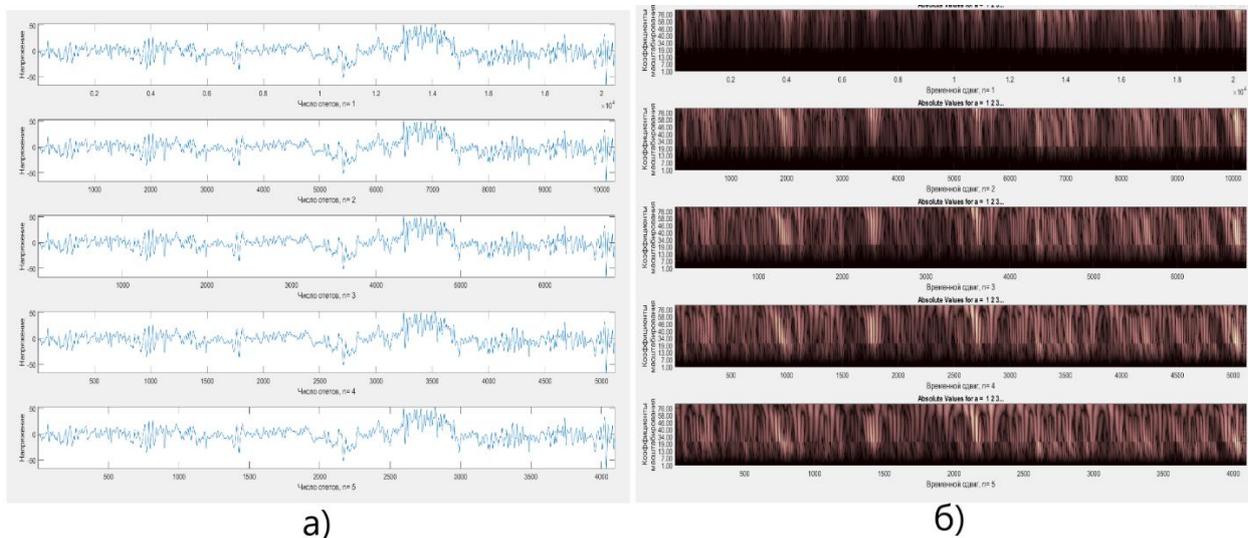


Рис. 4. Этапы модификации сигнала и вейвлет-спектрограмм в соответствии с количеством уровней сокращения частоты дискретизации

В качестве заключения отметим, что как было показано выше, приложение позволяет оптимизировать сигналы путем сокращения частоты дискретизации и числа отсчетов, выбора диапазона масштабирования, что сокращает число обрабатываемых данных и позволяет сэкономить время обработки, память устройства и его энергопотребление.

Поскольку непрерывное вейвлет-преобразование можно реализовать разными алгоритмами (на основе быстрого преобразования Фурье, на основе взаимно-корреляционной функции и на основе дискретного вейвлет-преобразования [7]), то планируется в дальнейших работах модифицировать приложение с целью автоматизации выбора алгоритма оптимизации для обработки сигнала в соответствии с характеристиками сигнала.

Так как пока приложение анализирует и обрабатывает однородные сигналы, то в ходе развития в дальнейших работах планируется сделать его универсальным для обработки любого сигнала. Также планируется сделать его автономным, то есть при котором оно автоматически в зависимости от типа сигнала выбирает оптимальные вейвлет-функцию и уровень для обработки сигнала, а также автоматически определяет основной диапазон частот сигнала. Также автоматически находит оптимальный шаг сокращения частоты дискретизации, при котором сигнал не теряет его качество.

Список используемых источников

1. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2003. 104 с.
2. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005. 671с.
3. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Пресс, 2010. 400 с.
4. Родионов В. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. М.: ЭНАС, 2010. 352 с.
5. Степанов А. Б. Модифицированные алгоритмы вычисления непрерывного вейвлет-преобразования сигналов, предназначенные для реализации на элементной базе с низким и сверхнизким энергопотреблением // СБНТОРЭС: труды ежегодной НТК, 2020. №. 1. С. 85–88.
6. Электротехническая лаборатория MATLAB, Exponenta-Mathworks [Электронный ресурс], https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html?s_tid=CRUX_lftnav
7. Журавов Д. В., Степанов А. Б. Применение Simulink при реализации алгоритмов вычисления непрерывного вейвлет-преобразования на цифровом сигнальном процессоре // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов, 2018. Т. 8. №. 4. С. 51-57.
8. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: изд-во СПбГУ, 2001. 58 с.
9. Арбузов С. М., Степанов А. Б. Применение методов вейвлет-анализа в электроэнцефалографии. СПб, 2009. 104 с.
10. Stark H.-G. Wavelets and Signal Processing. Berlin: Springer, 2005. 158 p.
11. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК. Пресс, 2014. 628 с.
12. Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для цифровой обработки сигналов. М.: Техносфера, 2007. 192 с.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры радиосистем и обработки сигналов СПбГУТ, кандидатом технических наук А. Б. Степановым.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН СДВ ДИАПАЗОНА

А. В. Андропов, М. Г. Борисов, К. О. Коровин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Оценка эффективности излучения антенн СДВ диапазона является важной практической задачей. Возможно несколько видов оценки: теоретическая оценка, основанная на ограничениях электрически малых антенн, расчет излученной мощности при помощи вычисления мощности в ближней и дальней зонах. В данной работе проводится анализ результатов, полученных при расчете антенны в программе FEKO.

тросовая антенна, моделирование, коэффициент усиления, FEKO, диапазон СДВ, сопротивление излучения, КПД

Сверхдлинные волны – это радиоволны с длиной волны более 10 км. Данный диапазон применяется в системах глобальной навигации (“Omega”, “Альфа”), а также для связи с надводными и подводными объектами. Данные применения были в первую очередь обоснованы возможностями распространения волн данного диапазона.

Антенны СДВ диапазона обладают общими отличительными свойствами. Они являются крупногабаритными сооружениями с преобладанием емкостной составляющей входного сопротивления и относительно низкими значениями коэффициента полезного действия, по отношению к антеннам более высоких диапазонов частот. Так, например, в работе Белроуза КПД японской зонтичной антенны на частоте 10,2 кГц составляет всего 12% [1].

КПД антенны является одной из важнейших характеристик антенн СДВ диапазона. Данная характеристика определяет, насколько эффективно преобразуется мощность передатчика в мощность излучения антенны. КПД антенны вычисляется как отношение сопротивления излучения к полному сопротивлению антенны и может быть записана в виде формулы, представленной ниже:

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_A} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{зем}}$$

где R_{Σ} – сопротивление излучения,

$R_{зем}$ – потери в земле.

Особый интерес к КПД в диапазоне СДВ объясняется тем, что, во-первых, макетирование антенны невозможно, вследствие больших габаритов

и как итог стоимости, при этом значение КПД необходимо для определения ориентировочной дальности радиосвязи, а также остальных электрических характеристик, как например вмещаемая мощность антенны, токи антенны и др.

Существует несколько способов определения КПД антенны. Их можно разделить на практические и теоретические. Практический способ заключается в измерении напряженности поля реальной антенны в условиях приближенным к рабочим, при известной подводимой мощности. Но данный способ не подходит для диапазона СДВ по описанной выше причине. Следующие способы основаны на теоретическом электромагнитном расчете к ним относится приближенный расчет на основании формул, а также новая возможность – моделирование изучаемой конструкции в специализированной САПР (HFSS, FEKO, MMANA) и машинный электромагнитный расчет на основе выбранного метода (метод моментов, метод конечных элементов и др.).

Рассмотрим пример теоретического расчета КПД тросовой антенны в диапазоне частот 12 – 30 кГц. Длина кабель-троса составляет 2500 м, радиус 3,75 мм, заземлением выполнено из 9 радиально расходящихся проводников длиной 500 м. Проводимость почвы составляет 0,005 и 0,0005 См/м соответственно.

Сопротивление излучения тросовой антенны определяется из формулы, представленной ниже:

$$R_{\Sigma} = 40 \cdot \tan^2\left(\frac{k \cdot H}{2}\right)$$

где k – волновое число,

H – длина кабель-троса.

Реактивное входное сопротивление тросовой антенны определяется из формулы, представленной ниже:

$$|X_A| = 60 \cdot \left(\ln\left(\frac{H}{R}\right) - 1\right) \cdot \operatorname{ctg}(k \cdot H)$$

где R – радиус кабель-троса.

Потери в земле зависят от свойств подстилающей поверхности (проводимости почвы, диэлектрической и магнитной проницаемости), а также от устройства системы заземления (количества закопанных проводников, их длины, радиуса и материала). Более подробно потери в земле описаны в работах [2, 3].

Результаты расчета КПД тросовой антенны представлены в таблице 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1. Значения основных электрических характеристик тросовой антенны на реальной земле с проводимостью 0,005 См/м

f, кГц	R _{изл} , Ом	X _а , Ом	R _а , Ом	η, %
12	4,2	-1024,9	4,9	86,6
15	6,9	-744,6	7,6	90,6
20	13,3	-429,9	14,1	94,4
25	23,6	-199,5	24,4	96,5
30	40,0	0,0	40,9	97,7

ТАБЛИЦА 2. Значения основных электрических характеристик тросовой антенны на реальной земле с проводимостью 0,0005 См/м

f, кГц	R _{изл} , Ом	X _а , Ом	R _а , Ом	η, %
12	4,2	-1024,9	7,5	56,0
15	6,9	-744,6	10,4	66,2
20	13,3	-429,9	17,1	78,0
25	23,6	-199,5	27,5	85,5
30	40,0	0,0	44,2	90,5

Для следующего способа расчета использовалась САПР Altair FEKO – это программа для электромагнитного расчета, использующая в качестве входных данных свойства среды и модель антенны. Расчет в данной программе выполняется по следующей методике: вычисляются эквивалентные электрические токи на проводящих поверхностях, магнитные токи на поверхностях диэлектрических элементов после чего с использованием функций Грина определяются возбуждаемые поля, из которого в дальнейшем определяются остальные параметры.

На рис. 1 и 2 представлены результаты моделирования входного сопротивления тросовой антенны. При этом входное сопротивление модели с точностью до 2 знака совпадает с расчетами по формулам выше.

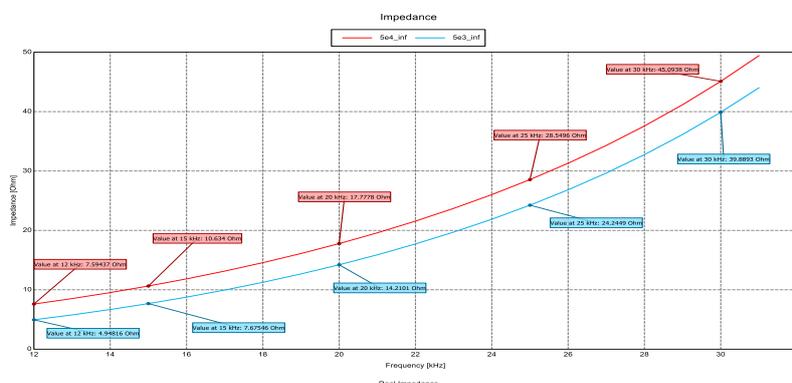


Рис. 1. Активное входное сопротивление тросовой антенны для проводимости почвы 0,005 и 0,0005 См/м

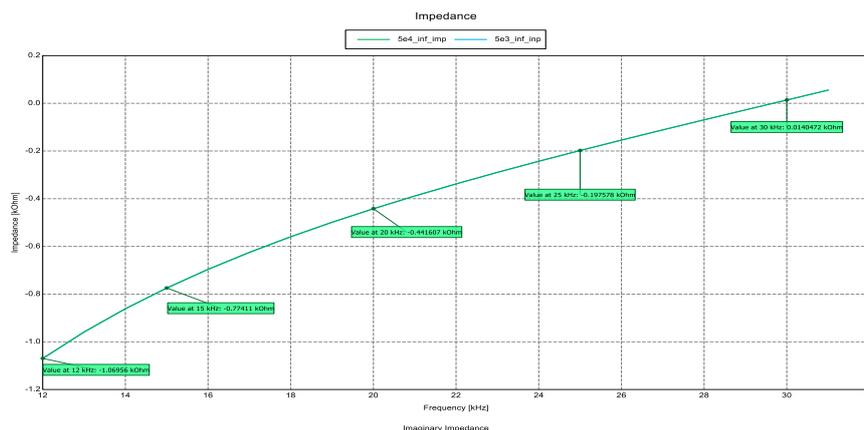


Рис. 2. Реактивное входное сопротивление тросовой антенны для проводимости почвы 0,005 и 0,0005 см/м

Первый способ определения КПД антенны с использованием САПР заключается в использовании модели без потерь. Алгоритм данного метода заключается в моделировании антенны, состоящей из идеально проводящего проводника, расположенной на такой же поверхности, результаты активного входного сопротивления принимают равными сопротивлению излучения. После чего производят моделирование антенны из реального материала и на реальной поверхности земли, получая полное сопротивление антенны. Данный метод крайне прост и легок в реализации, не требует значительных вычислительных мощностей, но он не учитывает изменение распределения тока вдоль излучающей части при изменении свойств земли, тем самым результат, получаемый таким способом рассматриваться как правильный не может.

Следующий метод заключается в способе измерения антенн в реальных условиях. На основании напряженности поля на заданном расстоянии выполняется расчет излученной мощности, формула расчета для СДВ диапазона представлена ниже [4]:

$$P_R = \frac{d^2 \cdot E^2}{90}$$

где d – расстояние до антенны в км,

E – напряженность электрического поля в мВ/м.

После чего выполняется расчет КПД, по известной подводимой мощности антенны.

Используя данный способ можно получить значения КПД антенны только при условии идеально проводящей земли, так как при моделировании реальной земли с диэлектрическими свойствами, программа определяет бесконечно длинную землю, в результате чего напряженность поля под углом к горизонту равна 0. На рис. 3 представлены результаты моделирования диаграммы напряженности поля в дальней зоне для идеально проводящей земли и реальной земли с проводимостью 0.005 См/м соответственно.

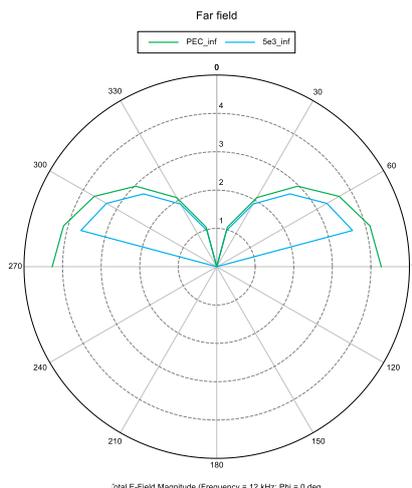


Рис. 3. Диаграмма напряженности поля тросовой антенны

Таким образом были рассмотрены три используемых варианта расчета КПД:

- вариант расчета с использованием идеально проводящей системы без потерь рассматриваться не может, так как в данном случае распределение токов в элементах антенны сильно изменяется, и судить о правильности использования сопротивления такой антенны, как сопротивления излучения, невозможно;

- при использовании реальной земли Feko создает бесконечную землю, вследствие чего напряженность поля под углом к горизонту равно 0;

- на основании предложенных формул возможна оценка основных электрических параметров, но это крайне затруднительный процесс и подходит только для простых вариантов антенн.

Список используемых источников

1. Rudge A. W., Milne K., Olver A. D., Knight P. Handbook of Antenna Design, 1983, Vol. 2. PP. 553–662.

2. Рекомендация МСЭ-R P.368-8. Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц.

3. ОСТ 4.209.001-78, Антенны передающие ДВ и СДВ диапазонов. Методы расчета электрических параметров, 1978.

4. Barr E. E., Raudenbush J. E. Radiation Parameters of the VLF Transmitting Station NPM Lualualei Hawaii, 1972.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры РОС СПбГУТ, кандидатом физико-математических наук, доцентом К. О. Коровиным.

УДК 538.911
ГРНТИ 47.09

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

А. И. Арсирый

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В статье приведены сведения об истории открытия, исследования и возможности применения квазикристаллических структур для нужд нанoeлектроники и других отраслей промышленности. Такие неклассические кристаллы обладают рядом интересных сочетаний свойств. Материалы на основе долгопериодичных кристаллов показывают множество перспективных путей развития и их использования в современной технике и технологиях.

квазикристаллы, свойства, электроника, нанoeлектроника

История кристаллических структур с не классическим распределением частиц началась в 1982 году, когда был обнаружен новый быстро охлажденный сплав алюминия и марганца, кристаллы которого, как показали результаты рентгенографии, имели ось симметрии пятого порядка [1]. Полученные данные противоречили фундаментальным представлениям классической кристаллографии, согласно которым такая симметрия физически невозможна для любых кристаллических веществ.

Сплавы с квазикристаллической структурой представляют собой материалы, атомы в которых упорядочены таким образом, что не формируется традиционная кристаллическая решетка. Эти структуры характеризуются долгопериодичностью и неклассической симметрией, такой как пятикратная, что ранее считалось невозможным для твердых тел. Их открытие и изучение стало одним из прорывов в материаловедении конца XX века, что было отмечено Нобелевской премией по химии в 2011 году [2].

Такая структура приводит к уникальным физическим свойствам, включая низкое трение, высокую прочность и непривычные электрические характеристики, которые делают их привлекательными для применения в различных областях науки и техники.

Одним из ключевых аспектов исследования квазикристаллов является их способность проводить электричество и взаимодействовать с электромагнитными волнами специфическим образом. Эти материалы могут проявлять как металлическую проводимость, так и диэлектрические свойства, что делает их потенциально полезными для создания новых типов электронных устройств, включая транзисторы, солнечные элементы и сенсоры.

Кроме того, уникальные оптические свойства квазикристаллов, такие как способность отражать свет в определенных диапазонах, открывают новые возможности для создания высокоэффективных светодиодов и других оптических устройств. Возможность точного управления световыми волнами делает их идеальными для использования в оптических фильтрах, лазерах и даже в квантовой криптографии.

Помимо электронных свойств, квазикристаллы обладают уникальными тепловыми и механическими характеристиками, что может быть использовано для улучшения производительности электронных устройств. Низкая теплопроводность квазикристаллов может быть использована для создания эффективных теплоизоляционных материалов, важных для устройств, работающих при высоких температурах.

Исследования показывают, что квазикристаллы могут играть ключевую роль в разработке нанoeлектронных устройств. Их уникальные структурные и электронные свойства позволяют создавать устройства с улучшенными характеристиками, такими как повышенная эффективность, меньший размер и улучшенная надежность. В частности, исследования фокусируются на использовании квазикристаллов для разработки наноразмерных электронных компонентов, которые могут быть интегрированы в более крупные электронные системы.

Значительные усилия ученых в последние годы были направлены на понимание тонких механизмов взаимодействия электронов в квазикристаллических структурах. Благодаря прогрессу в области сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии, исследователи получили возможность изучать электронные состояния квазикристаллов с высоким разрешением. Эти методы позволили увидеть уникальное распределение электронных состояний, которое отличается от классических кристаллов и аморфных тел [3].

Квазикристаллы обладают рядом выдающихся характеристик, среди которых высокая твердость, низкое трение, высокая устойчивость к коррозии и уникальные электронные свойства. В электронике и нанoeлектронике эти свойства могут быть использованы для создания новых типов устройств с улучшенными характеристиками. В частности, низкое электрическое сопротивление и необычные электронные переходы, свойственные квазикристаллам, открывают пути для разработки новых полупроводниковых материалов, датчиков, элементов памяти и солнечных панелей. Их использование в качестве наноразмерных проводников, квантовых точек и элементов для нанoeлектромеханических систем (НЭМС) исследуется как способ улучшения производительности и уменьшения размеров электронных устройств.

Интерес к квазикристаллам в современной науке и технике частично обусловлен стремлением к устойчивому развитию и экологически чистым

технологиям. Сплавы на основе квазикристаллов могут предложить альтернативу традиционным материалам, чье производство сопряжено с высоким энергопотреблением и значительным вредом для окружающей среды. Благодаря своим уникальным свойствам, таким как низкая теплопроводность и высокая износостойкость, квазикристаллы могут способствовать снижению энергетических потерь и увеличению эффективности электронных устройств, что важно для экологически устойчивых технологий.

Для расширения функциональности квазикристаллических структур важно исследование их взаимодействия и интеграции с другими материалами, такими как полупроводники, металлы и диэлектрики. Сочетание квазикристаллов с другими материалами может привести к созданию гибридных структур с новыми или улучшенными свойствами, что открывает двери для инновационных применений в электронике, фотонике и энергетике. Например, встраивание квазикристаллических наночастиц в полимерные матрицы может привести к разработке композитных материалов с улучшенной механической прочностью, электропроводностью и термостойкостью.

Несмотря на значительный потенциал, использование квазикристаллов в электронике и нанoeлектронике сталкивается с рядом технических и научных вызовов. Одной из главных задач является разработка методов синтеза квазикристаллических материалов с заданными свойствами, что требует глубокого понимания их структурных особенностей. Кроме того, необходимо разрабатывать новые подходы к интеграции этих материалов в существующие электронные системы.

Помимо вышесказанного, существуют и вызовы, связанные с применением квазикристаллических материалов. Одной из ключевых задач является разработка надежных и экономически эффективных методов производства квазикристаллических материалов в больших масштабах. Сложности в производстве больших объемов материала с высоким качеством и однородностью, а также необходимость разработки новых методов интеграции этих материалов в существующие производственные процессы также замедляют внедрение этих материалов. Тем не менее, продолжающиеся исследования и разработки в этой области обещают преодоление этих препятствий и открытие новых горизонтов для использования квазикристаллических сплавов в современных технологиях. Также важным аспектом является интеграция этих материалов в существующие производственные процессы и устройства.

Несмотря на эти вызовы, перспективы использования квазикристаллов в электронике и нанoeлектронике остаются многообещающими. Продолжающиеся исследования и разработки в этой области могут привести к созданию новых типов устройств, которые будут обладать улучшенными характеристиками и новыми функциональными возможностями. Инновации в этой области открывают двери для следующего поколения электронных

устройств, которые будут более эффективными, надежными и многофункциональными.

В последние десять лет в области материаловедения наблюдается значительный прогресс в изучении и разработке сплавов металлов с долгопериодической структурой для применения в электронике и нанoeлектронике. Особенный интерес представляют квазикристаллические структуры с неклассической симметрией, которые обладают уникальными физическими и химическими свойствами, делающими их перспективными для использования в современных технологиях.

Применение квазикристаллов в электронике не ограничивается исследовательскими лабораториями. Разработки на их основе находят путь в коммерческую продукцию. Одним из примеров является использование квазикристаллов в качестве слоя защиты от коррозии и износа в электронных устройствах. Эти материалы показывают высокую эффективность в защите чувствительных компонентов, увеличивая их срок службы и надежность.

В настоящее время известно несколько примеров, обнаруженных в природе или случайно, наше исследование раскрывает тайну их образования и, что еще важнее, показывает, как мы можем использовать программируемую природу ДНК для целенаправленного проектирования и сборки квазикристаллов [4].

Сплавы металлов с долгопериодической структурой находят применение в различных областях электроники и нанoeлектроники благодаря их уникальным свойствам. Например, использование квазикристаллов в качестве диэлектрических слоев в микроэлектронике может существенно улучшить производительность и надежность полупроводниковых устройств. Также, благодаря высокой химической стойкости и термической устойчивости, эти материалы могут служить защитными покрытиями для компонентов, работающих в экстремальных условиях.

В будущем исследования квазикристаллов в области электроники и нанoeлектроники будут сосредоточены на поиске новых методов синтеза, позволяющих получать материалы с заранее заданными свойствами, разработке устройств на их основе с высокой функциональностью и интеграции этих устройств в существующие технологические процессы. Особенное внимание будет уделено созданию энергоэффективных, экологически безопасных и масштабируемых технологий производства, что позволит квазикристаллическим материалам занять свое место в новом поколении электронных устройств.

Исследования и разработки сплавов металлов с долгопериодической структурой для электроники и нанoeлектроники в последнее десятилетие демонстрируют огромный потенциал квазикристаллических материалов. Уникальные свойства этих материалов открывают новые возможности для создания более эффективных, надежных и долговечных электронных

устройств. Продолжающиеся исследования и разработки в этой области обещают дальнейшее расширение границ применения квазикристаллов в электронике и нанoeлектронике, что будет способствовать развитию современных технологий и улучшению качества жизни.

Квазикристаллические структуры с не классической симметрией представляют собой уникальное направление в материаловедении и нанотехнологии, обладающее большим потенциалом для электроники и нанoeлектроники. Их исследования и разработки последнего десятилетия показали обширные возможности для создания новых типов устройств с улучшенными или совершенно новыми функциональными возможностями. Вопреки существующим вызовам, будущее квазикристаллов в области высоких технологий кажется многообещающим, предвещая новые открытия и инновации в электронике, нанoeлектронике и за их пределами.

Список используемых источников

1. Kleinert H., Maki K. Lattice Textures in Cholesteric Liquid Crystals // Fortschritte der Physik, 1981. Т. 29. PP. 219–259.
2. Shechtman D. Mettalic phase with long range orientational order and no translational symmetry / D. Shechtman, L. Blech, D. Gratias et al. // Phys. Rev. Lett. 1984. Vol. 53. PP. 1951–1954.
3. Векилов Ю. Х. Квазикристаллы / Ю. Х. Векилов, М. А. Черников // УФН, 2010. Т. 180. С. 561—586.
4. Christine R. Laramy, Matthew N. O'Brien & Chad A. Mirkin // Crystal engineering with DNA Nature Reviews Materials, 2019. V. 4. PP. 201–224.

УДК 355.58
ГРНТИ 81.93. 21

ПРОБЛЕМЫ ЗАСОРЕНИЯ НИЗКИХ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОРБИТ

Н. Н. Бабин, С. А. Панихидников

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

При всей привлекательности низких околоземных орбит, их активное освоение ограничивается значительным техногенным засорением. В связи с этим возрастает возможность взаимных столкновений, падения объектов на Землю, создания помех для средств наблюдения. Решение этих проблем связано с предупреждением об опасных ситуациях, защитой космических аппаратов от техногенного мусора и ограничением масштабов засорения. Важной задачей является очистка от мусора низких орбит таким образом, чтобы срок его существования не превышал 25 лет.

низкие околоземные орбиты, космический мусор, методы решения проблем космического мусора

Широкое использованное низких околоземных орбит связано с рядом преимуществ, среди которых можно выделить меньшее влияние солнечной радиации на технику, снижение задержки передаваемых сигналов с меньшей мощностью, использование компактных ракет-носителей при значительной полезной нагрузке.

С другой стороны, к недостаткам можно отнести высокую степень загрязнения околоземного космического пространства. Можно с уверенностью сказать, что техногенное засорение околоземных орбит существенно снижает эффективность их использования. Самая высокая степень загрязнения наблюдается в области низких орбит с высотами до 2000 км. Согласно подсчетам, эта область содержит до 77 % от общего числа каталогизированных объектов [1]. Кроме этого, не стоит забывать про такие проекты как Starlink и OneWeb – создаваемые в их рамках космические аппараты (КА) способствуют дальнейшему росту загрязнения.

Космическим мусором называют находящиеся на околоземной орбите космические объекты (КО) искусственного происхождения (фрагменты или части таких объектов), которые закончили свое активное функционирование [1]. На рис. 1 представлена классификация космического мусора.

Межагентский координационный комитет по космическому мусору выделил две защищаемые области в околоземном космическом пространстве: низкоорбитальные и геостационарные [2]. Это положение закреплено в «Руководящих принципах предупреждения образования космического мусора», опубликованных 28 февраля 2003 года.

Согласно данным принципам, для низкоорбитных и геостационарных областей «любая деятельность человека в космосе должна проводиться с учетом уникальности защищаемых областей таким образом, чтобы гарантировать их безопасное и непрерывное использование в будущем. Эти области должны быть защищены в отношении образования космического мусора». Кроме этого, документ предусматривает, что космические аппараты, выполняющие свою миссию на низких орбитах, после ее завершения должны быть переведены на более низкие орбиты. Срок орбитального существования при этом для них должен составлять не более 25 лет [2].

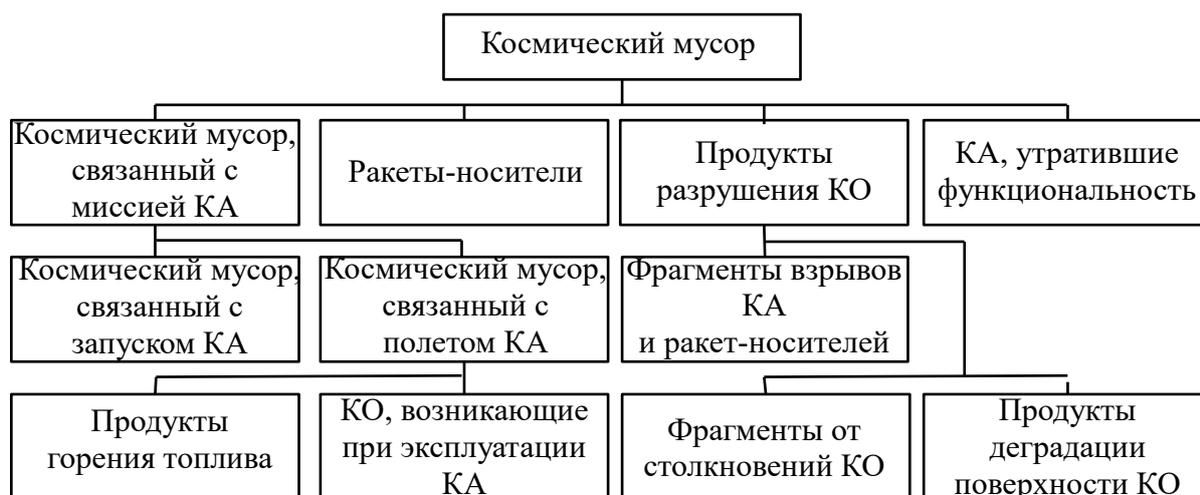


Рис. 1. Классификация космического мусора

К основным проблемам, связанным с космическим мусором, можно отнести [3]:

1. Возможность взаимных столкновений, приводящих к полной или частичной потере функций действующих КА, а также к образованию новых фрагментов космического мусора.

2. Угрозу падения несгоревших в атмосфере объектов на Землю.

3. Создание помех для средств наблюдения, что может приводить к получению искаженной информации, а также возможности появления ложных целей.

Решение проблем космического мусора связано с тремя взаимосвязанными задачами (рис. 2):

- предупреждение об опасных ситуациях;
- защита КА от космического мусора;
- ограничение и снижение техногенного засорения.

В этих условиях фундаментальными средствами управления состоянием техногенного засорения являются предотвращение образования и активное удаление космического мусора.

Национальным механизмом решения задачи ограничения техногенного засорения является введенный в действие с 1 января 2009 г. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52925-2008 «Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства» [4].

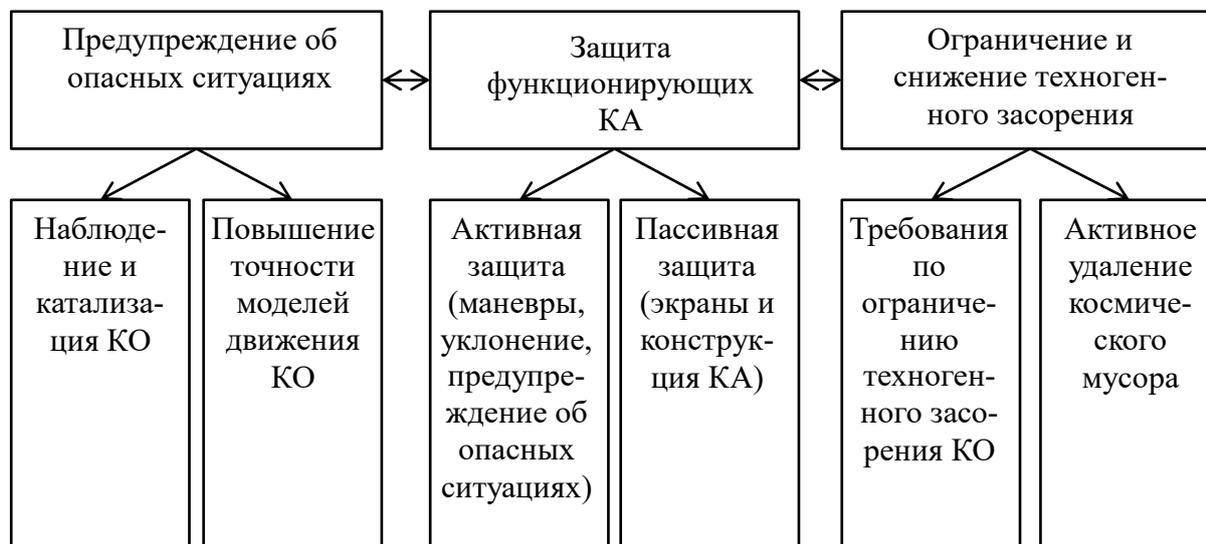


Рис. 2. Методы решения проблем космического мусора

В стандарте разработаны основные требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства:

- требования по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства при выполнении штатных операций;
- требования по предотвращению разрушений космических средств;
- требования по предотвращению столкновений космических средств с космическими объектами;
- требования к уводу космических средств после завершения их функционирования в зоны захоронения или на орбиты с ограниченным сроком баллистического существования.

Однако последние исследования отечественных и зарубежных специалистов [5] позволяют прийти к выводу, что указанные ранее методы борьбы с техногенным загрязнением околоземного космического пространства недостаточны, поскольку лишь замедляют темпы загрязнения, а не останавливают его. По этой причине важной задачей становится разработка комплекса мер, позволяющих обеспечить «очистку» околоземного космического пространства.

Стоит отметить, что уже сейчас существуют проекты, в рамках которых проработаны механизмы очистки от мусора низких орбит. Этим проектам уделяется повышенное внимание, поскольку переоценить их важность

сложно: данные проекты, при относительно простой реализации, позволяют защищать работу Международной космической станции. В основе данных проектов лежит идея создания искусственных зон с высокой плотностью вещества или силовых полей – газовых или пылевые облаков, магнитных или электростатических полей. В этих полях концентрируются объекты космического мусора, благодаря чему остальное пространство остается относительно свободным от загрязнения. Существует и иной подход к решению данной проблемы – ряд проектов предлагает создание «мусоросборщиков», выполненных в виде сервисных КА, оборудованных специальными устройствами, которые бы позволяли собирать космический мусор [5].

Такие проекты имеют два неоспоримых преимущества – простоту технической реализации и относительную дешевизну. Так, применение пассивных, то есть неуправляемых средств воздействия на объекты позволяет существенно упростить техническую составляющую проектов. Относительная их дешевизна достигается за счет того, что целевая орбита имеет небольшую высоту, благодаря чему в проекте можно использовать ракеты-носители легкого и среднего классов.

Важной проблемой является предупреждение об опасных ситуациях, связанных с космическим мусором. Это влияет на решение задач наблюдения и каталогизации космических объектов, совершенствования и повышения точности моделей их движения и методик оценки опасных сближений.

Для этих целей в Российской Федерации создана система контроля космического пространства [6]. Основными задачами системы контроля являются:

- достоверное высокоточное сопровождение малоразмерных объектов во избежание столкновений с космическим мусором крупных КА;
- сопровождение запусков КА для контроля соблюдения договорных обязательств по минимизации элементов запуска, которые становятся космическим мусором.

В данный момент радиолокационные космические станции (РЛС) являются основным инструментом, с помощью которого решается задача сопровождения космических объектов. На данном этапе развития РЛС позволяют осуществлять работу по объектам, чей размер превышает 5 см, но уже ведется работа по созданию нового типа мощных радаров, которые бы позволили осуществлять контроль объектов меньшего размера.

В конце хотелось бы сказать, что, несмотря на предпринимаемые меры, степень техногенного засорения низких орбит растет. Это связано с ростом объема запусков малых космических аппаратов и развертывания больших орбитальных группировок. Так как нынешнее состояние развития технологий не позволяет решить проблему загрязнения посредством активного уда-

ления космических объектов, представляющих собой мусор, активно продвигаются меры, призванные предотвратить появление нового космического мусора.

Список используемых источников

1. Космический мусор. Кн. 1. Методы наблюдения и модели космического мусора / Под науч. ред. Райкунова Г.Г. М.: Физматлит, 2014. 244 с.
2. Руководящие принципы Комитета ООН по космосу по предупреждению образования космического мусора. Резолюция 62-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН, A/RES/62/217 от 10.01.2008. 94 с.
3. Мониторинг техногенного засорения околоземного пространства и предупреждение об опасных ситуациях, создаваемых космическим мусором / Под ред. Макарова Ю. Н. ЦНИИмаш, 2015. 243 с.
4. ГОСТ Р 52925-2008. Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства. М.: Стандартиформ, 2008. 6 с.
5. Вениаминов С. С., Червонов А. М. Космический мусор – угроза человечеству. М.: ИКИ РАН, 2012. 169 с.
6. Зверева М. А., Нароенков С. А., Шустов Б. М., Шугаров А. С. Космическая система обнаружения опасных небесных тел, приближающихся к Земле с дневного неба (“СОДА”) // Космич. исслед. 2018. Т. 56. № 4. 300–310.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.37.33

ОЦЕНКА МЕТОДОВ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ КОРПУС

И. И. Бабичева, О. В. Воробьев, А. В. Качнов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Донные регистраторы (станции) используются для морской сейсмической разведки и мониторинга залежей углеводородного сырья в зоне арктического шельфа. С учетом агрессивных условий эксплуатации необходимо устранить влияние человеческого фактора на обеспечение герметичности соединителей, расположенных на корпусе прибора. Исходя из вышесказанного, необходимо провести исследования возможности обеспечения одновременной беспроводной передачи информации и потока электроэнергии через металлический корпус станции. В настоящей статье приведены результаты обзора литературы, в которой анализируются последние достижения в области беспроводной передачи энергии и информации через металлические перегородки.

бесконтактное зарядное устройство, донные станции, электромагнитная индукция, магнитно-резонансная индукция, магнитострикция, лазер, пьезоэлектрики

В настоящее время активно осваивается территория Арктического региона РФ с целью добычи энергоносителей континентального шельфа. Основную роль в разведке и оценке запасов углеводородов играют специальные устройства – донные станции, которые обеспечивают регистрацию, сбор и предварительный анализ данных.

Донная станция должна обеспечивать герметичность на глубинах до 200 метров. Для подключения к комплексу сейсморазведки станция оснащена разъемом с герметичной заглушкой. Ручное подключение станции может быть причиной того, что заглушка не обеспечит герметичность, и в условиях морской соленой воды будет происходить коррозия соединителя. Решением проблемы может являться переход на беспроводную систему передачи информации и электроэнергии.

В настоящей работе представлен обзор и анализ современного состояния вопроса различных систем, способных обеспечить одновременную передачу информации и электроэнергии, такие как метод электромагнитной индукции, магнитострикционный и магнитно-резонансный методы, а также с использованием лазера и пьезоэлектрических преобразователей.

В 2002 году Лор Георг получил патент [1] за разработку устройства для бесконтактной передачи электрических сигналов и/или энергии между двумя подвижными относительно друг друга деталями. Устройство наряду

с обеспечением широкой полосы пропускания, соответственно передачи данных с максимально возможной скоростью, должно обладать низкой чувствительностью к помехам. Позже, в 2008 году продолжили изучение одновременной передачи данных и энергии [2, 3]. Авторы доказали возможность одновременной передачи энергии и информации, однако численных данных не приведено. В 2018 году российские ученые Лаборатории подводной связи и навигации получили патент в области электротехники под названием «Способ и система беспроводной передачи энергии и информации» [4]. По результатам эксперимента авторы определили коэффициент полезного действия, он составил 30...35%.

В 2009 году опубликована статья «Моделирование системы связанных катушек индуктивностей для устройства чрезкожной беспроводной передачи энергии» [5], с целью зарядки элементов питания имплантатов, в частности кардиостимуляторов, непосредственно через тело человека. Авторам удалось создать математическую модель системы передачи энергии и математический аппарат для её расчета. Возможность применения метода магнитной индукции для передачи данных подтвердили авторы статьи 2021 года «Подводная связь на основе использования магнитной индукции: фундаментальные проблемы, достижения и вызовы» [6]. Кроме того, в статье сказано, что данный вид связи имеет большую пропускную способность, но численные данные не приведены. Оба приведенных метода, позволяют осуществлять передачу электроэнергии, либо передачу данных, однако нет источников, в которых передача производилась бы одновременно с помощью электромагнитной индукции.

В 2017 году была опубликована статья под названием «Повышение эффективности системы бесконтактного заряда аккумуляторных батарей автономного необитаемого аппарата» [7]. В ней бесконтактная передача электроэнергии осуществляется с помощью трансформатора, первичная обмотка которого помещается на базе, а вторичная – на борту подводного аппарата. Метод магнитно-резонансной индукции (МРИ) нашел применение в бесконтактной зарядке транспортных средств. Приводятся данные, что компания Momentum Dynamics Corporation может обеспечить 50, 75 и 200 кВт энергии с целью беспроводной зарядки всех типов электромобилей [8]. В статье «Численное компьютерное моделирование и оптимизация схемотехнических решений бесконтактных зарядных устройств для электроприводных транспортных средств» [9] 2019 года моделируется система беспроводной зарядки, способная передавать 13 кВт мощности. При этом эффективность трансляции энергии составляет 99 %. Источников, в которых приводилась бы информация о передаче энергии с помощью МРИ, в открытом доступе не найдено.

В статье 2021 года под названием «Твердотельные устройства сбора энергии» [10] довольно полно описаны устройства сбора энергии, разработанные из специального магнестрикционного материала. Генератор отличается высокой эффективностью и надежностью, а также низким электрическим сопротивлением. Подобное устройство демонстрирует максимальную мощность 0,73 Вт [11]. Магнестрикционные материалы также применяются в передаче ультразвуковых данных, в которой используются электромагнитно-акустические преобразователи для возбуждения ультразвуковых волн посредством магнестрикции и силы Лоренца на поверхности металлического барьера [12, 13].

В работе [14] представлены результаты разработки технологии дистанционного электроснабжения лазерным инфракрасным излучением между космическими аппаратами. Результаты эксперимента показывают возможность передачи до 1800 Вт мощности. В статье [15] рассмотрены перспективы применения способа беспроводной подводной связи с длиной волны, лежащей в видимом оптическом спектре. Такие системы способны обеспечить высокую скорость передачи данных (вплоть до нескольких Гб/с на дальностях до 10 м и порядка Мб/с на дальностях до 150 м), имеют низкое энергопотребление, мобильны и компактны.

Обзор перечисленных выше систем показывает, что одним методом мы можем достичь передачу либо энергии, либо данных, но не одна из них не смогла успешно достичь того и другого одновременно. В 2011 году группой ученых представлена первая система для одновременной передачи большой мощности (50 Вт) и высокоскоростной однонаправленной передачи данных (12,4 Мбит/с) с использованием пьезоэлектрических преобразователей (ПТ) [16]. Между 2008 и 2010 годами группы Air Vehicles Division, Defence Science and Technology Organisation, Commonwealth of Australia опубликовали ряд статей и технических отчетов по моделированию и разработке устройства для передачи энергии и данных через алюминиевую обшивку самолета с использованием многослойных ПТ [17]. Разработанное устройство способно передавать 420 мВт [17] или 340 мВт энергии, а пропускная способность достигла значения 115 Мбит/с.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что использование ПТ позволяет одновременно передавать энергию большой мощности и данные с высокой скоростью через металлические стенки беспроводным способом. Данный метод обладает большим потенциалом коммерческого применения по сравнению с остальными системами передачи, которые не позволяют осуществлять передачу электроэнергии и информации одновременно, или вовсе не предназначены для передачи данных. Поэтому пьезоакустический метод требует дальнейшего рассмотрения, изучения, реализации и применения на практике. Применимость технологий для

передачи энергии либо данных представлена в таблице 1. В таблице 2 отражены технические характеристики рассмотренных систем передачи.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная таблица возможностей технологий к передаче энергии или данных

Технология	Энергия	Данные	Источник
Электромагнитная индукция	Да	Нет	[5]
	Нет	Да	[6]
Магнитно-резонансная индукция	Да	Нет	[7]
	Да	Нет	[8]
	Да	Нет	[9]
Магнитострикционная	Да	Нет	[10]
Оптическая (лазер)	Да	Нет	[14]
	Нет	Да	[15]
Пьезоэлектрическая	Да	Да	[16]
	Да	Да	[17]

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики рассмотренных систем передачи

Технология	Мощность, Вт	КПД, %	Скорость передачи, Мбит/с	Источник
Электромагнитная индукция	1,65	66	Не реализована	[5]
	Не реализована	-*	-*	[6]
Магнитно-резонансная индукция	570	-*	Не реализована	[7]
	50 000; 75 000; 200 000	-*	Не реализована	[8]
	13 000	96...99	Не реализована	[9]
Магнитострикционная	0,73	-*	Не реализована	[10]
Оптическая (лазер)	До 1800	20...25	Не реализована	[14]
	Не реализована	-*	От 1	[15]
Пьезоэлектрическая	50	-*	12,4	[16]
	0,34; 0,42	-*	До 115	[17]

Примечание: *- информация в источнике отсутствует.

Список используемых источников

1. Лор Г. Устройство для бесконтактной передачи электрических сигналов и/или энергии. Пат. 2192099 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Германия, Шлейфринг унд аппаратебау ГМБХ. – № 99116369/09; заявл. 05.01.98; опубл. 27.10.02. С. 1–18.
2. Брюн. А. Устройство и способ беспроводной передачи энергии и/или данных между устройством-источником и по меньшей мере одним целевым устройством. Пат. 2419945 Российская Федерация; патентообладатель Германия Маквет ГМБХ унд КО.КГ. – № 200835269/07; заявл. 29.08.08; опубл. 27.05.11. С. 1–23.
3. Вёрле М., Варкнинг М. Устройство для передачи электрической энергии и информации. Пат. 2440634 Российская Федерация; патентообладатель Германия Эндер+Хаузер Ветцер ГМБХ+ КО.КГ. – № 2010128938/28; заявл. 09.12.08; опубл. 20.01.12. С. 1–10.
4. Васиенко А. В., Дикарев А. В., Дмитриев С. М., Кубкин В. А. Способ и система беспроводной передачи энергии и информации. Пат. 2693536 Российская Федерация; патентообладатель Москва, ООО «Лаборатория подводной связи и навигации». – №2018143899; заявл. 11.12.18; опубл. 03.07.19. С. 1–12.
5. Лепетаев А. Н., Клыпин Д. Н. Моделирование системы связанных индуктивностей для устройства чрезкожной беспроводной передачи энергии // Омский научный вестник, 2009. № 3(83). С. 280–284.
6. Дронин Я. С., Манышев В. С., Петров И. О., Севостьянов В. Р., Щербача Н. К. Подводная связь на основе использования магнитной индукции: фундаментальные проблемы, достижения и вызовы // Электротехника, электронная техника, информационные технологии: материалы X междунар. науч.-техн. конф., Москва, 14 декабря 2023 г. М.:ОАО ВТИ, 2023. С. 75–83.
7. Герасимов В. Г., Красковский М. В., Филоженко А. Ю. Повышение эффективности системы бесконтактного заряда аккумуляторных батарей автономного необитаемого подводного аппарата // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. 2017. №1 (186). С. 108–120.
8. Colabro A. [и др.]. Performance of 200-kW Inductive Charging System for Range Extension of Electric Transit Buses // IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2019. PP. 1–5.
9. Куркова О. П., Ефимов В. В. Численное компьютерное моделирование и оптимизация схемотехнических решений бесконтактных зарядных устройств для электроприводных транспортных средств // Системы управления, связи и безопасности, 2019. № 3. С. 64–85.
10. Кузьмин Е. В., Леонтьев В. С., Чуланов А. А., Коваленко Д. В., Усик Д. А., Петров Р. В. Твердотельные устройства сбора энергии // Вестник Новгородского государственного университета, 2021. № 4 (125). С. 33–37.
11. Kita S., Ueno T., Yamada S. Improvement of force factor of magnetostrictive vibration power generator for high efficiency // J. Appl. Phys. 2015. Vol. 117. PP. 17B508-1 – 17B508-8.
12. Graham D. J., Neasham J. A., Sharif B. S. High bit rate communication through metallic structures using electromagnetic acoustic transducers // OCEANS 2009-EUROPE, Bremen, Germany, May 2009. PP. 1–6.
13. Graham D. J., Neasham J. A., Sharif B. S. Investigation of Methods for Data Communication and Power Delivery Through Metals // IEEE Trans. Ind. Electron, 2011. №. 99. PP. 1–8.

14. Евдокимов Р. А., Тугаенко В. Ю., Щербенко Н. В. Перспективы применения и отработка технологии беспроводной передачи электрической энергии между космическими аппаратами // Инженерный журнал: наука и инновации, 2022. № 7(127). С. 1–11.

15. Павлов С. А., Беличева К. В. Подводная беспроводная оптическая связь. Потенциал развития и направления исследования // Фотон-экспресс-наука. 2023. № 6(190). С. 57–58.

16. Lawry T. J., Saulnier D. J., Ashdown J. D., Wilt K. R., Scarton H. A., Pascarelle S., Pinezich J. D. Penetration-Free System for Transmission of Data and Power Through Solid Metal Barriers // Military Communications Conference, 2011. PP. 389–395.

17. Moss S., Slippen J., Konak M., Powlesland I. Footprint Reduction for the Acoustic Electric Feedthrough Technique // Air Vehicles Division, Defence Science and Technology Organisation, Commonwealth of Australia, Tech. Rep. DSTO-TR-2395, 2010. PP.19–21.

УДК 623.746.-519
ГРНТИ 49.29.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ НАХОЖДЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОСИГНАЛА БПЛА

Е. С. Багаев, А. А. Прасолов, Д. Р. Сидоркович, Д. А. Сопов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Повсеместная доступность малогабаритных БПЛА, несомненно, породила ряд проблем, связанных с несанкционированным мониторингом объектов и территорий государственной важности, а также случаями шпионажа и террористической деятельности. Для успешного противодействия БПЛА необходимо своевременно его обнаружить.

беспилотные летательные аппараты, радиоканал, идентификация радиоканалов

Радиолокационный, акустический или радиочастотный контроль позволяет эффективно обнаружить на открытой или малозастроенной области БПЛА, однако для городской местности высокоэффективным методом будет только радиочастотный контроль [1]. Основными этапами радиочастотного контроля являются:

- сканирование и обнаружение радиосигналов в требуемом диапазоне частот;
- определение параметров и вида модуляции обнаруженных сигналов;
- демодуляция заданных типов сигналов;
- определение вида и структуры (протоколов);
- декодирование и выделение сообщений [1].

Первым этапом обнаружения сигнала БПЛА – это сканирование радиочастотного диапазона. Данное действие возможно реализовать с помощью анализатора спектра в связке с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), или использовании (SDR) приемника [2]. Так как частотный диапазон, в котором можно обнаружить сигнал БПЛА, варьируется от 0.3 до 5,8 ГГц, то система должна быть широкополосной и иметь высокую чувствительность не менее 130 дБ. Применение пространственной избирательности позволит уменьшить уровень принимаемых нежелательных сигналов.

Радиоканалы БПЛА можно разделить на два вида: канал управления и видео канал. В основном данные радиоканалы располагаются в нелицензированном диапазоне 433, 868 МГц или 2.4, 5.8 ГГц, однако могут располагаться и в лицензируемом УВЧ диапазоне [3]. Так как нелицензированный диапазон частот, особенно в городской местности, заполнен различными

устройствами малого радиуса действия, то сперва необходимо выявить признаки, по которым можно распознать сигнал БПЛА среди различных сигналов.

Первым признаком, по которому можно выявить сигнал дрона среди различных сигналов – тип модуляции сигнала. В таблице 1 представлены технологии, использующие нелицензированный диапазон часто и используемые типы модуляции [4, 5, 6].

ТАБЛИЦА 1. Технологии, использующие нелицензированный диапазон

Тип технологии	Используемая модуляция
IEEE 802.11	OFDM, BPSK, QPSK, QAM
IEEE 802.15.1	GFSK, DQPSK
IEEE 802.15.4	OQPSK, BPSK, GFSK, MSK
LoRaWan	LoRa
LPWAN - XNB («СТРИЖ»)	DBPSK
RFID (433 МГц)	FSK
Радиостанция (433 МГц)	FM

Таким образом, вторым этапом нахождения и идентификации сигнала БПЛА является определение типа модуляции. Одни из критериев, предъявляемым к радиоканалам видео и управления – высокая помехоустойчивость. Исходя из этого, в основе видеоканала лежат аналоговые стандарты PAL и NTSC, использующие квадратурную модуляцию, SECAM [7]. В таблице 2 представлены протоколы управления FPV дронов, и используемые модуляции [8, 9, 10].

ТАБЛИЦА 2. Протоколы управления БПЛА

Протокол управления	Используемая модуляция
ACCST (ACCESS)	FSK
DSM (DSM 2, DSMX)	FM
DSMX	FSK
AFHDS	FMSK
FASST	GFSK

Исходя из таблицы выше, модуляция видеосигнала и канала управления может совпадать с радиосигналом какого-либо устройства. Для того, чтобы определить является ли сигнал сигналом БПЛА, проанализировав

спектр, необходимо выделить признаки, по которым можно его идентифицировать. В качестве такого признака можно использовать ширину спектра сигнала. В системах PAL, NTSC и SECAM максимальная ширина спектра составляет 8 МГц [4], а в протоколе DSM 500 кГц.

Стоит отметить, что точки доступа технологий Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth располагаются стационарно, если присутствует малое многолучевое распространение, то соответственно уровень их сигнала может только уменьшаться. Используя анализатор спектра, и получив выборку уровней мощностей в определенном диапазоне частот, можно на раннем этапе обнаружить БПЛА при превышении стандартного порога.

Для исследования радиочастотного метода обнаружения БПЛА использовался анализатор спектра, SDR приемник и пульт управления БПЛА с неизвестными параметрами. На рисунке 1 представлен спектр исследуемого сигнала, по полученным данным можно определить, что используется частотная модуляция.

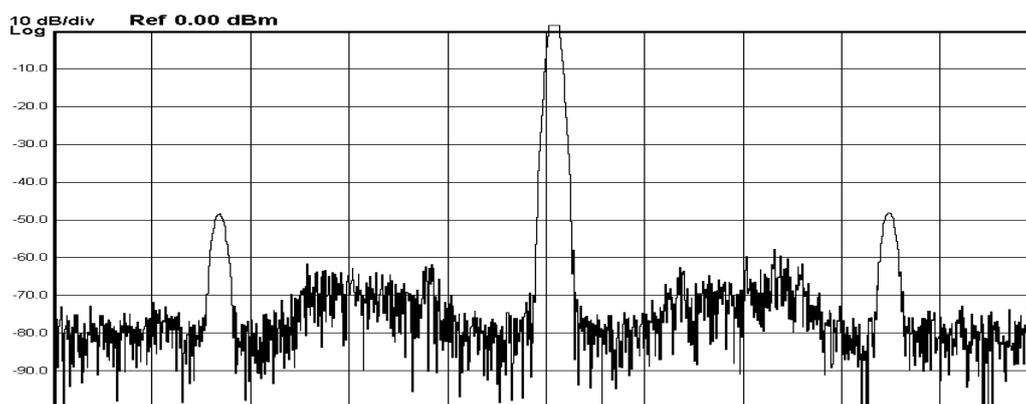


Рис. 1. Спектр сигнала управления БПЛА

Данная спектрограмма была получена в лабораторных условиях, что в действительности маловероятно. На рисунке 2 изображен спектр сигнала канала БПЛА при наличии четвертого канала Wi-Fi, диапазона 2.4 ГГц.

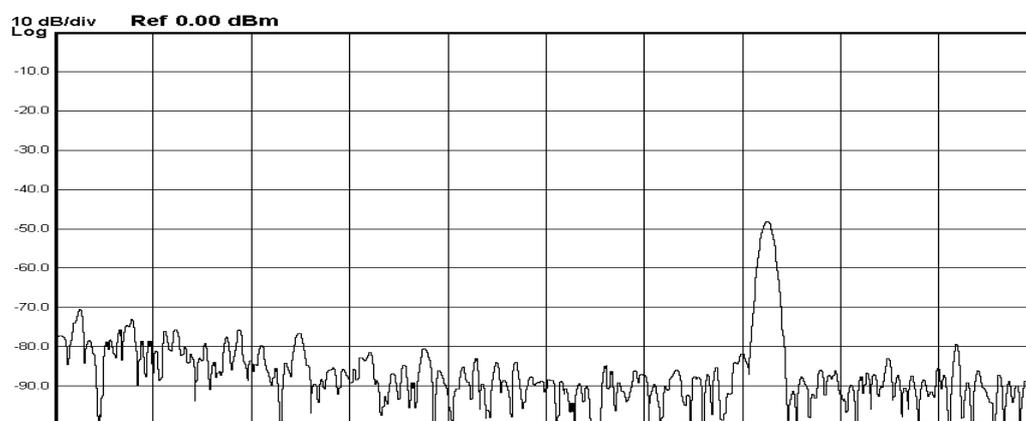


Рис. 2. Спектр сигнала управления БПЛА при наличии сигнала Wi-Fi

Следующим этапом является демодулирование сигнала. Демодуляция сигнала было реализована в ПО Matlab. На рисунке 3 представлен записанный сигнала SDR приемником, далее с помощью встроенной функции `fskdemod`, демодулируем сигнал.

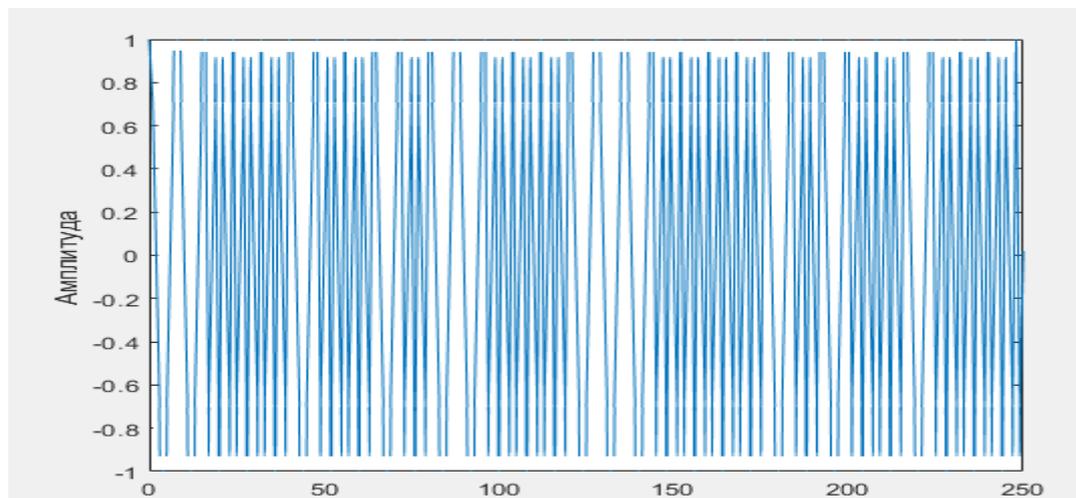


Рис. 3. Сигнал, записанный SDR приемником

Для демодуляции необходимо указать параметры сигнала. Поскольку из рассмотренных выше протоколов только ACCST и DSMX используют частотную манипуляцию, то можно исключить остальные протоколы. Из этих двух протоколов только ACCST работает на частоте 2.4 ГГц. ACCST использует 8 бит на символ. Частота дискретизации 20 МГц, отклонение частоты в 180 кГц. На рисунке 4 представлен демодулированный сигнал БПЛА.

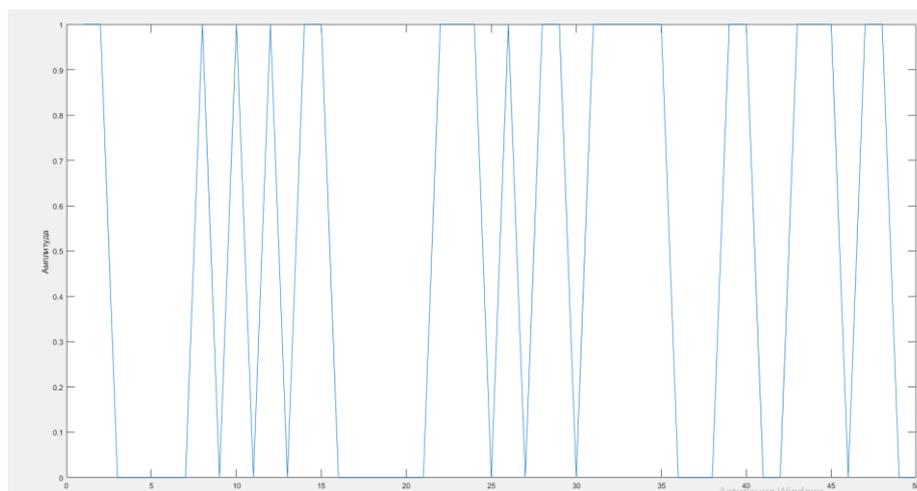


Рис. 4. Демодулированный сигнал БПЛА

Далее, зная специфические особенности структуры сообщения, возможно дешифровать команды управления. Так как протокол ACCST является закрытым протоколом, то в данной работе дешифровка не производилась. В случае, если при дешифровании сообщения не совпадают с известными, то возможно не правильное определение типа модуляции, параметров демодуляции или типа протокола.

Список используемых источников

1. Филин Е. Д., Киричек Р. В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра // Российские беспилотники, 2018. URL <https://russiandrone.ru/publications/metody-obnaruzheniya-malorazmernykh-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-na-osnove-analiza-elektromagn/>.
2. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Надежность и качество сложных систем, 2014. № 2 (6). С. 62–70.
3. Макушин М. Г. Системы обнаружения радиуправляемых БПЛА // Радиотехнические системы 2017. URL: https://www.electronics.ru/files/article_pdf/6/article_6167_169.pdf
4. Власюк И. В., Врагов М. В. Исследование PAL кодера: методические указания // Московский технический университет связи и информатики. М.: МТУСИ, 2010. С. 144.
5. Пролетарский А. В. Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi // А. В. Пролетарский. М.: издательство МГТУ им. Н.М. Баумана, 2017. С. 68.
6. Институт инженеров электротехники и электроники. IEEE Std 802.15.1-2016, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs) // Институт инженеров электротехники и электроники, 2016. URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2016.pdf>.
7. Институт инженеров электротехники и электроники. IEEE Std 802.15.4-2019, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs) // Институт инженеров электротехники и электроники, 2005. URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2019.pdf>.
8. FPV Protocols Explained (CRSF, SBUS, DSHOT, ACCST, PPM, PWM and more // oscarliang.com, 2021. <https://oscarliang.com/rc-protocols>
9. Manual AFHDS FLYSKY // flysky-cn.com 2018. URL: <https://static1.squarespace.com/static/5bc852d6b9144934c40d499c/t/5c1a07ad2b6a284e2bed3312/1545209816623/Nirvana+20181127.pdf>
10. INSTRUCTION MANUAL for Futaba 7C-2.4GHz 7-channel FASST Radio control system for Airplanes/Helicopters // futaba.com 2007 URL: https://multicopterwiki.ru/downloads/futaba/7c-2_4ghz-manual.pdf

УДК 621.396.721
ГРНТИ 49.43.29

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ С ОГРАНИЧЕННЫМ УРОВНЕМ ПОМЕХ

Е. С. Багаев, Д. Р. Сидоркович, Д. А. Сопов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье приведены результаты расчета и симуляции модели распределения мощности в беспроводной мобильной сети с помощью алгоритма Q -Cooperative Power Allocation. Отмечено, что в сети с ограниченным уровнем помех регулировка мощности происходит только при наличии информации об отношении сигнал/шум. Приведены результаты расчета глобальной Q -функции для сети с ограниченным уровнем помех. Показано условие, при котором Q -функция принимает максимальное значение.

сеть связи, искусственный интеллект, машинное обучение, базовые станции, управление мощностью

Уплотнение сети за счет использования малых базовых станций является многообещающей технологией в сетях сотовой связи. Однако размещение большого количества базовых станций на небольшой площади неизбежно приведет к росту внутриканальной и межканальной интерференции. Проблема распределения мощности в сетях с ограниченным уровнем помех широко исследовалась в литературе. В [1] и [2], распределение мощности для помехового канала с двумя пользователями получено для суммарных и индивидуальных ограничений мощности. В [3], напротив, получено общее решение для систем с несколькими передатчиками с индивидуальными ограничениями по мощности. Решение таких задач зависит от значения отношения сигнал/помеха плюс шум (Signal to Interference + Noise Ratio, SINR). Стоит отметить, что такие задачи требуют централизованного подхода к управлению сети, что может быть невозможно в высокоплотных сетях. В [3] предложен метод, основанный на декомпозиции проблемы на более мелкие, локальные задачи.

В сверхплотных сетях архитектура сети будет неизменно меняться, при этом метод самоорганизации является эффективным решением для управления сетевыми ресурсами. Для таких случаев были использованы методы многоагентного обучения с подкреплением (Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL), это продемонстрировано в работах [4–8]. Преимуществом такого подхода является использование измеренных значений SINR, которые являются частью больших данных в мобильных сетях.

1. Модель сети

В статье рассматривается передача по нисходящей линии связи при плотном развертывании N числа малых базовых станций (БС). Предполагается, что каждая базовая станция поддерживает одно пользовательское устройство, при этом все базовые станции работают на одном и том же блоке частотных ресурсов. Такая система может представлять собой единый кластер в большой сети, в которой каждый кластер будет использовать разную частоту для исключения межканальной интерференции. Также предполагается, что базовые станции соединены между собой с помощью канала обратной связи. При этом модель помех используется та же, что и в [1]. Таким образом, принятый пользовательским устройством сигнал можно задать следующим образом:

$$r_i = \sqrt{g_i P_i} d_i + \sum_{j \in D_i} \sqrt{g_i P_j \beta_{ji}} d_j + n_i,$$

где g_i – коэффициент усиления между i -й БС и пользовательским устройством, которое она обслуживает, d_i – передаваемый от i -й БС сигнал, P_i – мощность передаваемого сигнала, D_i – набор помеховых БС для пользовательского устройства, β_{ji} – суммарная мощность помеховых сигналов для пользовательского устройства, n_i – среднее значение аддитивного белого гауссова шума (АБГШ).

Исходя из приведенного выше выражения, отношение SINR может быть выражено как:

$$\text{SINR}_i = \frac{g_i P_i}{\sum_{j \in D_i} g_i P_j \beta_{ji} + \sigma^2}.$$

2. Распределение мощности в сети с ограниченным уровнем помех с помощью скоординированного обучения

Чтобы исследовать скоординированное многоагентное обучение в беспроводной сети связи, предположим, что БС выступают в качестве агентов, а вся сеть представляет собой многоагентную структуру. Цель агентов – максимизировать общую пропускную способность сети в рамках действия алгоритма.

Для каждого агента в сети имеется свое пространство действий. Агенты обновляют свои Q-функции скоординированно. Метод взаимодействия между агентами заключается в максимальном суммировании локальных Q-функций путем выбора подходящего совместного действия. Этот процесс выбора действия реализуется за счет передачи информационных пакетов, содержащих информацию об актуальном значении SINR. Для этого используется канал обратной связи.

3. Исходные данные для симуляции

Обозначим коэффициенты усиления как $g_1 = 2,5$ и $g_2 = 2,5$. Максимальная мощность передачи для первой точки доступа $P_{1,max} = 10$ дБм, для второй – $P_{2,max} = 13$ дБм. Дисперсия $\sigma^2 = 0$ дБм. Т.к. модель системы связи является симметричной, т.е. исследуемое устройство выступает как в роли приемника, так и в роли передатчика, то можем обозначить $\beta_{1,2} = \beta_{2,1} = \beta$. Цель оптимизации состоит в максимизации суммарной пропускной способности сети при наличии помеховых сигналов за счет распределения мощностей излучения приемопередающих устройств.

При выполнении алгоритма Q-CoRA, каждая Q-функция задается как Q-таблица. Скорость обучения составляет $\alpha = 0,5$; коэффициент дисконтирования $\gamma = 0,9$; количество уровней мощности $N_{power} = 100$; максимальное количество итераций для обучения в 50 раз превышает размеры Q-таблицы.

В данной модели приемопередатчики являются агентами. Их действиями являются изменения уровней излучаемых мощностей, для первого устройства – $a_1 = P_1$; для второго – $a_2 = P_2$. Q-функции для этих устройств обозначены как $Q_1(P_1; P_2)$ и $Q_2(P_1; P_2)$. При этом глобальная Q-функция для всей системы задается как $Q_1(P_1; P_2) = Q_1(P_1; P_2) + Q_2(P_1; P_2)$.

4. Результаты симуляции

Для начала, проведем симуляцию при $\beta = 0,3$. Следуя описанному выше условию, оптимальным решением будет $(0; P_{2,max})$. Согласно Q-CoRA, приемопередатчик выберет мощность излучения, которая максимизирует Q-функцию. Глобальная Q-функция, полученная в результате моделирования, представлена на рисунке 1.

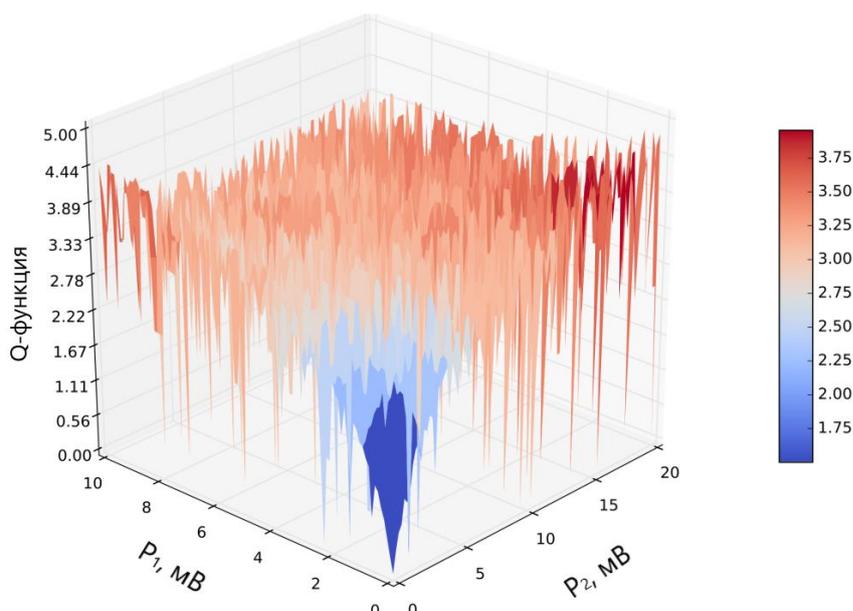


Рис. 1 Общая Q-функция для Q-CoRA

Из представленного графика видно, что максимальное значение достигается при уровнях излучаемой мощности $P_1 = 0$ и $P_2 = P_{2,max}$.

На рисунке 2 представлены результаты сравнения методов распределения мощности при различных коэффициентах помех $\beta = [0; 1]$.

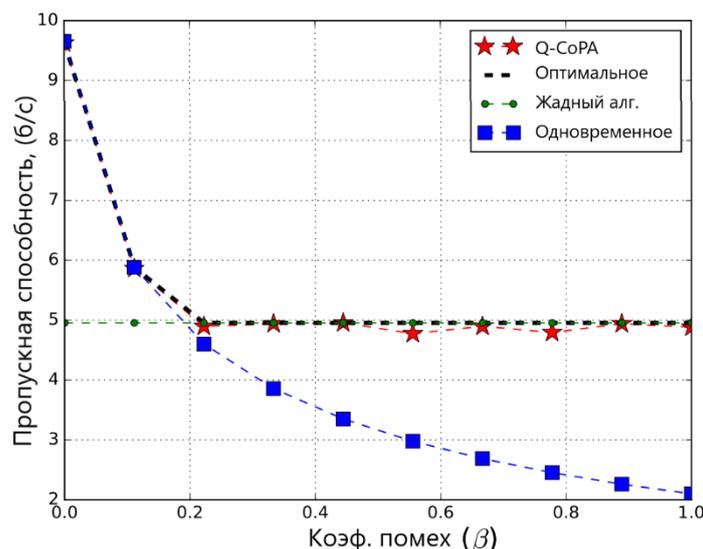


Рис. 2 Пропускная способность при различных коэффициентах помех для исследуемых методов распределения мощности

Жадный алгоритм устанавливает полную мощность для БС с более высокой пиковой мощностью. Одновременное распределение устанавливает максимально возможную мощность на обоих передатчиках.

Как видно из рисунка, распределение мощности с помощью Q-CoPA позволяет добиться оптимальных значений пропускной способности при всех значениях β .

По итогам проведения симуляции можно сделать вывод о том, что распределение мощности в беспроводных сетях с ограниченным уровнем помех с помощью Q-CoPA показывает лучшие результаты по сравнению с другими алгоритмами. Также стоит отметить, что преимуществом этого метода является то, что формирование Q-функций происходит путем простого измерения значения SINR для каждого узла в сети, при этом оптимальное решение зависит от параметров канала, например g_1 и g_2 .

Список используемых источников

1. Park E., Jang J., Shin O.-S., and Lee K. B. Transmit power allocation for a downlink two-user interference channel, IEEE Commun. Lett., 2005. Vol. 9, № 1. PP. 13–15.
2. Park D. Optimal power allocation in two-user interference channel under individual power constraint, ICTC, 2016. PP. 530–532.
3. Chiang M., Tan C. W., Palomar D. P., O’neill D., and Julian D. Power control by geometric programming, IEEE Trans. Wireless Commun., 2007. Vol. 6, № 7. PP. 2640–2651.

4. Chen M., Hua Y., Gu X., Nie S., and Fan Z. A self-organizing resource allocation strategy based on Q-learning approach in ultra-dense networks, in IC-NIDC, 2016. PP. 155–160.
5. Lin S., Yu J., Ni W., Liu R. Radio resource management for ultradense small cell networks: A hybrid spectrum reuse approach, Proc. IEEE Veh. Technol. Conf., 2017. PP. 1–7.
6. Mehrpouyan H., Fridman L., Mallik R. K., Nallanathan A., and Matolak D. A machine learning approach for power allocation in HetNets considering QoS, in Proc. IEEE ICC, 2018. PP. 1–7.
7. Amii R. Self-organizing mm wave networks: A power allocation scheme based on machine learning, Proc. IEEE GSM, 2018. PP. 1–4.
8. Galindo and Giupponi L. Self-organized femtocells: A fuzzy Q-learning approach, Wirel. Netw., 2014. Vol. 20. № 3. PP. 441–455.
9. Imran A., Abu-Dayya A. Challenges in 5G: how to empower SON with big data for enabling 5G, IEEE Network, 2014. Vol. 28. № 6. PP. 27–33.

Статья представлена доцентом кафедры PCuB, кандидатом технических наук, доцентом О. А. Симониной.

УДК 621.371.34
ГРНТИ 49.43.01

ОБОБЩЕННАЯ ПРОЦЕДУРА МИЛЛИНГТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОЛЯ ЗЕМНОЙ ВОЛНЫ НА ТРАССЕ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ОДНОРОДНЫХ УЧАСТКОВ

С. В. Белков, Д. С. Потапов, А. А. Типикин

Научно-исследовательский институт оперативно-стратегических обоснований строительства
ВМФ Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия»

Несмотря на детальную теоретическую проработку методик расчета земных волн, их известные программные реализации не позволяют учитывать на трассе распространения произвольное количество участков с заданными характеристиками подстилающей поверхности. Целью исследования является обобщение известных теоретических работ по прогнозированию напряженности поля земной волны и разработка прикладной автоматизированной методики, позволяющей проводить расчеты на трассах с произвольным количеством однородных участков на основе данных, вводимых из соответствующих цифровых карт.

напряженность электрического поля, земная волна, подстилающая поверхность, прогнозирование, очень низкие частоты

Прогнозирование энергетических параметров радиотрасс ОНЧ диапазона является неотъемлемой частью планирования связи и является предметом особого внимания, что подтверждается в соответствующих исследованиях [1–3]. В связи с этим, в исследованиях [4–8] внедрены специальные методики, с помощью которых удалось усовершенствовать скачковый метод прогнозирования напряженности электрического компонента поля электромагнитной волны. В статье [9] уделяется внимание точности этого скачкового метода и его верификации на опытных данных.

Как показано в [10, 11], суммарное поле в точке приема формируется не только напряженностью ионосферной волны, но и земной волной. Значительное влияние на прогнозируемое значение оказывает земная волна на дальностях примерно до 1000 км [11]. В трудах Ротерема [12, 13] изложен порядок расчета напряженности поля земной волны, распространяющейся над однородной сферической поверхностью.

Методика, учитывающая неоднородное строение трассы, которая может состоять из участков с различной проводимостью σ и диэлектрической проницаемостью ϵ , была разработана Миллингтоном [14, 15]. Несмотря на то, что она основана на относительно простых принципах, известные источники не предоставляют методику расчета, обобщенную на произвольное количество участков с заданными характеристиками подстилающей поверхности. Поэтому цель данного исследования заключается в разработке подобной методики для дальнейшего использования при прогнозировании

энергетических параметров радиотрасс с применением скачкового метода. Таким образом, в процессе вычислений напряженности поля земной волны становится возможным использовать автоматическое профилирование параметров подстилающей поверхности на основе глобальных цифровых карт [16].

Основные подходы к расчету поля на однородной радиотрассе в зависимости от положения точки приема относительно радиогоризонта изложены в работах [12, 13]. Однако в большинстве практических случаев радиотрасса не является однородной, поэтому в соответствии с подходами, разработанными Миллингтоном требуется разбить трассу на однородные участки [14; 15]. После этого для каждого из этих участков применяется формула [17]:

$$E_i = \frac{1}{2}(E_i^r + E_i^t), \quad (1)$$

где i – номер однородного участка трассы;

$E_i^r = E_{i-1}^r(d_{i-1}^2) - E_i^r(d_i^1) + E_i^r(d_i^2)$ – напряженность поля в конце i -го участка трассы, где d_i^1 – начальная точка i -го участка, d_i^2 – конечная точка i -го участка;

E_i^t – напряженность поля в конце i -го участка при перемене приемника и передатчика местами, рассчитывается аналогично E_i^r .

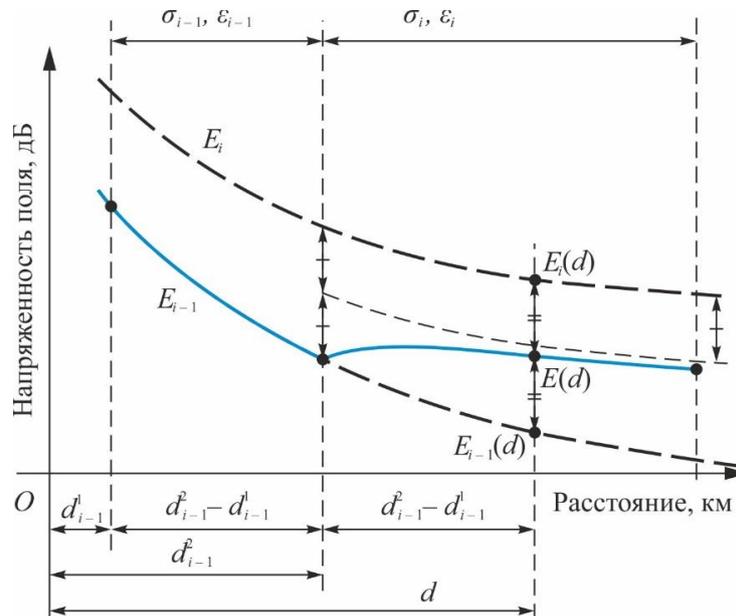


Рис. 1. Экспоненциальное сглаживание на неоднородной трассе

Хотя при расчете электрического поля в конце неоднородной радиотрассы удобно использовать уравнение (1), целесообразнее выполнять серию расчетов и строить график зависимости напряженности поля земных волн от расстояния, применив сглаживание экспоненциальной функцией, описанное в [17]. Для этого к i -му участку ($i \geq 2$) неоднородной трассы применяется экспоненциальная функция вида $1/\exp[(x-a)/b]$, где коэффициенты

a и b выбираются такими, чтобы выполнялось условие $E(d) = 1/2(E_{i-1}(d) - E_i(d))$, где E_i – рассчитывается исходя из однородности оставшихся участков трассы с параметрами σ_i и ϵ_i , а E_{i-1} берется с предыдущей итерации цикла, $d = d_{i-1}^2 + 2(d_{i-1}^1 - d_{i-1}^1)$ (рис. 1).

Методика реализована в виде скрипта на языке Matlab, блок-схема представлена на рис. 2.

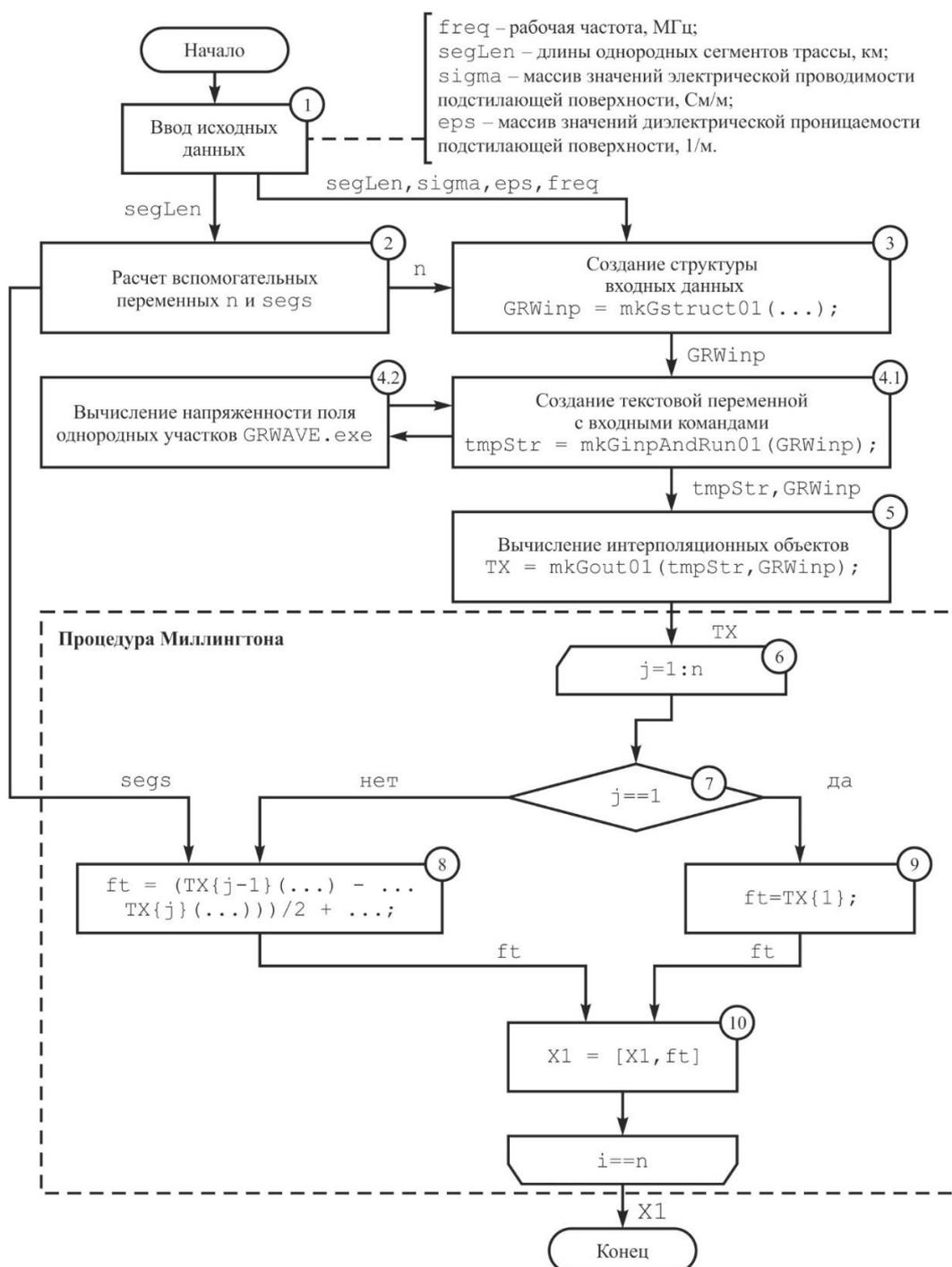


Рис. 2. Блок-схема обобщенной методики расчета напряженности поля

На рисунке 3 приведен пример расчета напряженности поля на радиотрассе, состоящей из шести участков длиной $d = [300, 200, 300, 400, 500, 200]$ км, характеристиками $\sigma = [0.0001, 4, 0.001, 5, 0.005, 2]$ См/м, $\varepsilon = [5, 80, 10, 80, 15, 60]$ 1/м на частоте 150 кГц. Рисунок иллюстрирует явление «восстановления» электрического поля при переходе от области с низкой проводимостью к области с высокой проводимостью подстилающей поверхности и тенденцию кривой напряженности поля стремиться к асимптоте, параллельной соответствующей линии, рассчитанной для однородной трассы.

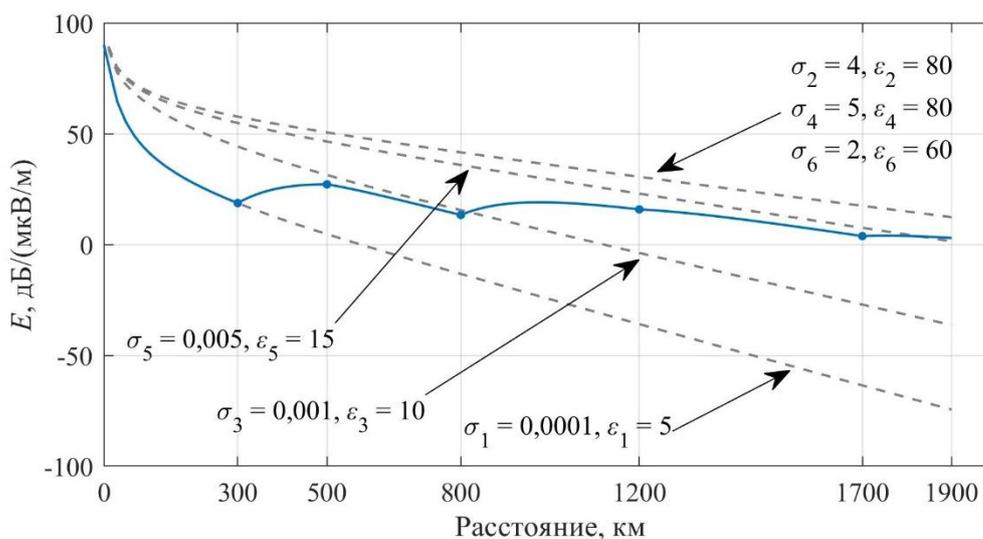


Рис. 3. Графики напряженности поля земной волны: сплошная линия – поле над разнородной трассой; штриховые линии – поле над соответствующими однородными трассами

Таким образом, разработана методика расчета напряженности поля земных волн на трассе, состоящей из любого количества однородных участков с произвольными электрическими характеристиками. Разработанная методика может использоваться совместно с методикой расчета напряженности поля пространственных волн для определения суммарного поля в точке приема. Вместе с тем, дополнительно необходимо разработать методику профилирования радиотрасс, позволяющую обоснованно разделять неоднородные трассы на однородные участки и присваивать им значения электрических параметров.

Список используемых источников

1. Bradley P. A. IRI and VLF/LF radio service planning // *Advances in Space Research.*, 2001. № 27. PP. 145–152. DOI:10.1016/S0273-1177(00)00150-2.
2. Cohen M. B., Inan U. S., Paschal E. W. Sensitive Broadband ELF/VLF Radio Reception with AWESOME instrument // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010. Vol. 48. № 1. PP. 3–17. DOI:10.1109/TGRS.2009.2028334.

3. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого доведения команд управления до удаленных исполнительных звеньев // *Техника средств связи*, 2022. № 1(157). С. 2–24. DOI: 10.24412/2782-2141-2022-1-2-24.
4. Типикин А. А., Пыков Е. В. Уточненная модель высоты точки отражения для методики прогнозирования энергетических параметров радиотрасс в диапазоне очень низких частот // *Труды всеармейской научно-практической конференции «Инновационная деятельность в ВС РФ»*. СПб.: ВАС, 2023. С. 15–23.
5. Типикин А. А., Пыков Е. В., Розанов А. А. Модифицированная методика расчета дифференциальных временных задержек лучей в лучевой модели распространения радиоволн ОНЧ диапазона // *Сборник трудов НТК НИИ ОСИС ВМФ «Интеллектуальные разработки в интересах строительства и развития Военно-морского флота»*. СПб.: НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2022. С. 47–56.
6. Типикин А. А., Пыков Е. В. Методика определения траекторных параметров радиотрассы ОНЧ диапазона на основе уточненной модели высоты точки отражения // *Сборник научных трудов ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»*, 2022. С. 73–81.
7. Типикин А. А. Учет параметров подстилающей поверхности при прогнозировании распространения радиоволн ОНЧ диапазона с помощью скачковых методов // *Восточно-европейский научный журнал*, 2023. Т. 1. № 4(89). С. 31–40. DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2023.1.89.356.
8. Типикин А. А., Потапов Д. С. Методика учета влияния параметров сферической подстилающей поверхности с конечной проводимостью на характеристики антенн ОНЧ-диапазона // *Труды учебных заведений связи*, 2023. Т. 9. № 3. С. 23–29. DOI: 10.31854/1813-324X-2023-9-3-60-66.
9. Типикин А. А. Методика расчета напряженности поля ионосферной волны в диапазоне очень низких частот на основе скачкового метода // *Информационно-управляющие системы*, 2023. № 5. С. 12–21. DOI:10.31799/1684-8853-2023-5-12-21.
10. Рекомендация МСЭ-R P.684-7. Прогнозирование напряженности поля на частотах ниже приблизительно 150 кГц. Женева: МСЭ, 2016.
11. Макаров Г. И., Новиков В. В., Рыбачек С. Т. Распространение радиоволн в волноводном канале Земля–ионосфера и в ионосфере. М.: Наука, 1994. 152 с.
12. Rotheram A. S. Ground-wave propagation. Part 1. Theory for short distances. // *IEE Proc. F*. 1981. № 128. PP. 275–284.
13. Rotheram A. S. Ground-wave propagation. Part 2. Theory for medium and long distances and reference propagation curves // *IEE Proc. F*. 1981. № 128. PP. 285–295.
14. Millington G. Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth // *Proc. IEE*. 1949. № 96. PP. 53.
15. Millington G., Isted G. A. Ground-wave propagation over an inhomogeneous Earth. Part 2. Experimental evidence and practical implications // *Proc. IEE*. 1950. № 97. PP. 209.
16. Типикин А. А. Методика формирования глобальных цифровых карт электрических характеристик подстилающей поверхности в диапазоне очень низких частот // *Информатика, телекоммуникации и управление*, 2022. Т. 15. № 1. С. 7–18.
17. Рекомендация МСЭ-R P.368-9. Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц. МСЭ, 2007.

УДК 621.397
ГРНТИ 47.51.39

ОСОБЕННОСТИ КОЛОРИМЕТРИИ СОВРЕМЕННЫХ 2D – 3D ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ

Н. Н. Беляева, В. В. Дуклау, Т. Г. Смаглиенко, С. Л. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Колориметрия современных систем цифрового телевизионного вещания строится на основе формирования спектральных характеристик цветоанализа, обусловленных первичными цветами приемного устройства. В работе рассматривается методика согласования параметров цветоделения телевизионных камер с основными цветами дисплеев, обеспечивающая повышение точности цветопередачи телевизионной системы. Данные материалы будут полезны при проведении курсового и дипломного проектирования у студентов, обучающихся по направлениям 11.03.02, 11.04.02 11.05.02.

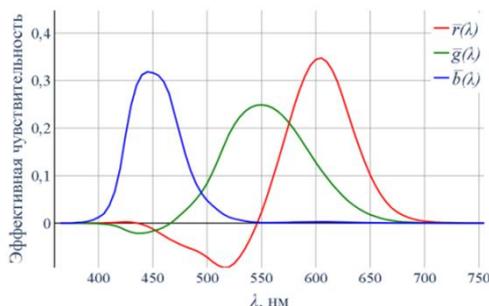
воспроизводящее устройство, цветовой охват, цветоделенные сигналы

Воспроизведение цвета, обеспечиваемое телевизионной системой, зависит как от возможностей воспроизводящего устройства, так и от согласованности параметров цветоделения с треугольником цветового охвата этого устройства. Современные воспроизводящие устройства позволяют расширить номенклатуру воспроизводимых цветностей благодаря использованию в них первичных цветов, обладающих большей насыщенностью, чем ранее применяемые. Однако это обстоятельство не гарантирует точность цветопередачи. Известно, что колориметрически верное отображение цвета обеспечивается, если цветоделенные сигналы, сформированные камерой, линейно связаны с колориметрической системой МКО, например, системой XYZ.

Тогда цветности оригинала, попадающие внутрь треугольника цветового охвата приемного устройства, совпадут с цветностями, воспроизводимыми на его экране.

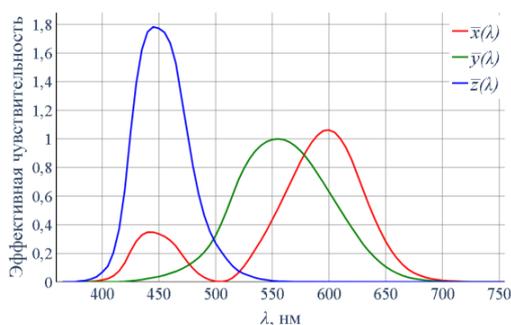
Если такое цветоделение обеспечено, то при изменении основных цветов воспроизводящего устройства точность воспроизведения цветов в системе будет поддерживаться путем линейного преобразования исходных сигналов.

Однако, формирование сигналов U_R , U_G , U_B , отвечающих указанным условиям, с помощью преобразователей с кривыми спектральной чувствительности, повторяющими кривые сложения цветовой системы приемника $\bar{r}_П(\lambda)$, $\bar{g}_П(\lambda)$, $\bar{b}_П(\lambda)$ невозможно, так как данные кривые должны содержать отрицательные ординаты (рис. 1).

Рис. 1. Кривые сложения системы *RGB* приемника для основных цветов *sRGB*

На практике используются кривые чувствительности, содержащие только положительные ординаты (главные ветви кривых сложения), что приводит к цветовым ошибкам при воспроизведении цветов. Возникшие таким образом искажения цветопередачи обычно корректируются с помощью матричной цветокоррекции, однако данная методика не исключает ошибки, а только уменьшает их.

Для того, чтобы добиться колориметрически точного цветоделения, необходимо использовать такую цветовую систему, в которой кривые сложения не имели бы отрицательных ординат. Такой системой является колориметрическая система МКО *XYZ* (рис. 2).

Рис. 2. Кривые сложения системы МКО *XYZ*

Если использовать в качестве кривых спектральной чувствительности телевизионной камеры кривые сложения этой системы, такая камера будет считаться колориметрической, поскольку сигналы на ее выходе будут пропорциональны координатам цветов в колориметрической системе [1].

При использовании для цветоделения кривых сложения колориметрической системы *XYZ* возникает сложность с реализацией двугорбой кривой $\bar{x}(\lambda)$.

Данная проблема может быть решена с помощью преобразования, предложенного Шкловером в 1954 г. [2]. Он предложил преобразование вида:

$$\bar{x}_{III}(\lambda) = 0,833 \bar{x}(\lambda) + 0,333 \bar{y}(\lambda) - 0,167 \bar{z}(\lambda),$$

в результате которого функция $\bar{x}(\lambda)$ становится одногорбой.

Очевидно, что сигналы U_X, U_Y, U_Z , сформированные камерой с такими характеристиками цветodelения, не могут быть непосредственно использованы для модуляции световых потоков в воспроизводящих устройствах. Поэтому в канале обработки сигналов должно быть предусмотрено их преобразование в сигналы U_R, U_G, U_B , соответствующие координатам основных цветов, в которых будет производиться отображение.

Структурная схема алгоритма преобразования приведена на рис. 3.

Для упрощения схемы вместо соответствующих сигналов используются обозначения координат X, Y, Z и R, G, B .

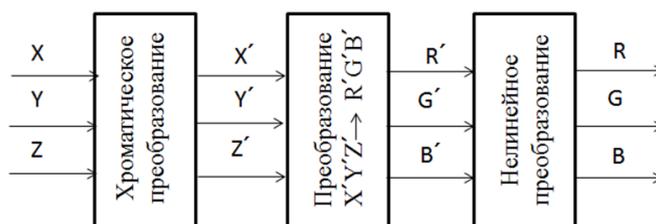


Рис. 3. Структурная схема алгоритма преобразования сигналов

Первой операцией выполняется хроматическое преобразование сигналов XYZ в сигналы $X'Y'Z'$, необходимое, если при отображении происходит смена источника освещения (точка белого формирования сигналов не совпадает с точкой белого их отображения). Преобразование осуществляется с помощью одной из рекомендованных матриц [3]. Если точки белого совпадают, матрица хроматического преобразования принимает вид:

$$[M_C] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Далее выполняется преобразование координат системы XYZ в линейную систему $R'G'B'$ в соответствии с матрицей (1).

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Здесь $X_R...Z_B$ – координаты основных цветов цветовой системы отображающего устройства.

Последний этап – нелинейное преобразование координат $R'G'B'$ в RGB в зависимости от типа цветового пространства RGB , в которое производится преобразование.

Преобразованные таким образом сигналы обеспечат точное отображение цветов, цветности которых попадают в область цветового охвата при-

емного устройства. Для цветов, цветности которых находятся вне этого треугольника, одна из координат окажется отрицательной. В этом случае необходимо приравнять ее нулю, тогда на экране отобразится цвет, находящийся на кратчайшем расстоянии от стороны треугольника цветового охвата приемника.

Рассмотренная в докладе методика позволяет обеспечить поддержание высокого качества цветопередачи для широкой номенклатуры воспроизводящих устройств, как существующих, так и перспективных.

Список используемых источников

1. Ложкин Л. Д., Неганов В. А. Искажения цветности в телевидении и метод их уменьшения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2016, том 19, № 3. С. 33–39.
2. Шкловер Д. А., Иоффе Р. С. Универсальный фотоэлектрический колориметр // Известия АН СССР, ОТН, ВЭИ, 1951. № 5. С. 667–681.
3. Домасев М. В., Гнатюк С. П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. СПб.: Питер, 2009. 224 с. ISBN 978-5-388-00341-6.

УДК 537.86
ГРНТИ 29.35.19

ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А. В. Бобровский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Цель исследования – провести анализ существующих методов распространения радиоволн УВЧ и СВЧ диапазонов для закрытых помещений. В данной статье рассматриваются вопросы актуальности старых моделей и направления развития новых моделей. Определяются требования к моделям УВЧ и СВЧ диапазонов и особенностей их применения внутри помещений. Так же приведено сравнение нескольких моделей по вопросу актуальности их применения для УВЧ и СВЧ диапазонов внутри помещений. В результате приведено несколько предложений для дальнейшего развития моделей распространения для выбранного сценария.

беспроводная связь, модель распространения радиоволн, УВЧ, СВЧ

Широкое распространение мобильной связи, с его зарождения в начале 1980-ых, привело к появлению множества разных технологий, занимаемых различные участки радиочастотного спектра. С каждым годом требования к этим технологиям возрастают, будь то пропускная способность или зона покрытия.

В то время, как чтобы провести оценку пропускной способности, необходимо найти наиболее слабое звено в цепи передачи данных, то для оценки покрытия есть несколько методов, различающихся между собой по области применения, точности и сценария передачи данных. Например, для передачи данных вне помещений и внутри помещений необходимо использовать разные модели.

Основными метриками, по которым оценивают карту покрытия, можно назвать уровень принимаемого сигнала и задержку. Тогда как уровень сигнала, в свою очередь, зависит от множества факторов, основными можно назвать усиления в трактах приемника и передатчика и потери на распространение. Так как усиление на приемнике и передатчике заранее известно, то модели распространения радиоволн оценивают не столько мощностные характеристики всего тракта передачи, а именно потери на распространение в среде.

Существуют множество факторов, влияющих на потери на распространение, которые в той или иной степени должны быть учтены в модели. Их

влияние может различаться в зависимости от сценария и используемой технологии.

Согласно рекомендации ITU-R P.1238-12 [1] нарушения в распространении радиоволн в радиоканале в основном за счет:

- Отражения от объектов и дифракции вокруг них (включая стены и двери) внутри помещений.
- Потери при передаче через стены, полы и другие препятствия.
- Передвижения людей и предметов в помещении, в том числе приемника и передатчика
- Временных и пространственных вариаций потерь на распространение
- Эффектов многолучевого распространения от отраженных и дифрагированных компонентов волны.
- Несоответствия поляризации из-за случайного пространственного положения мобильного устройства.

Все эти факторы необходимо учитывать в модели для наиболее точного анализа карты покрытия, но в силу сложности некоторых факторов, или малой значимости для определенных сценариев, некоторые модели фокусируются только на части из них.

Классифицировать методы моделирования можно по нескольким параметрам.

Первым следует обозначить подход к моделированию. Выделяют три типа моделей:

1. Эмпирические.

Эти модели основаны на измерениях и наблюдениях работы реальных устройств в специализированных условиях для получения ценных данных. После чего на основе этих данных создаются модели распространения радиоволн. Их точность напрямую зависит от схожести исследуемых условий с условиями, в которых были получены данные для создания модели. Ошибки у старых моделей в современных условиях могут достигать от 12 % до 27% в разных моделях [2]. Соответственно, чем ближе текущая исследуемая окружающая среда к измеренной в модели, тем меньше будет ошибка предсказания. Эти модели рассчитывают потери на распространения с помощью таких параметров как расстояние, рабочая частота, высота и углы подвеса антенн, количество стен и этажей и др.

2. Физические.

Физические модели основаны на уравнениях Максвелла для описания поведения электромагнитного поля, учитывая задействованные механизмы распространения. Представленные результаты физических моделей являются детерминированными, т. е. если характеристики моделирования остаются неизменными, прогнозы дают одинаковые или очень похожие результаты. Хотя физические модели имеют более высокую точность, чем

эмпирические, их недостатком является большая вычислительная нагрузка. Более того, это высокая точность сильно зависит от точности и доступности построения баз данных моделируемых сценариев.

3. Гибридные.

Гибридные модели используют преимущества точности физических моделей и тщательно калиброванные радиоизмерения, проведенные в эмпирических моделях, объединяя тем самым лучшее из обоих подходов. На этой основе модели распространения, сочетающие в себе измерения для корректировки параметров, которые зависят от характеристик конкретных строений, и рассматривают физические принципы для моделирования распространения радиоволн известны как гибридные модели.

Вторым можно выделить сценарий применения.

Модель может использоваться либо в общем случае, то есть подходить для любой ситуации, но в таком случае может пострадать точность предсказания, либо модель изначально разрабатывалась для специальных условий, в которых у этой модели ошибка предсказания будет меньше, чем у моделей общего случая, но вне этих условий ошибка значительно возрастет и использование такой модели для такого случая будет сомнительным.

К таким специальным случаям можно отнести outdoor-to-indoor (O2I) модели.

Модели O2I характеризуют распространение сигнала внутри зданий, исходящего от внешней базовой станции. Моделирование O2I становится очень актуальным, особенно в ситуациях, когда требуется покрытие внутри здания при меньших затратах, а требования к пропускной способности низки и не оправдывают развертывание внутренней соты.

Так же к специальному случаю выделяют и противоположную ситуацию, indoor-to-outdoor (I2O).

В связи с тем, что размещение фемтосот над макросотами в настоящее время рассматривается как привлекательное решение для расширения зоны покрытия для пользователей внутри помещений, помехи абонентам макросоты являются ключевым параметром, который следует учитывать при развертывании этих систем. Чтобы оценить эти помехи и, следовательно, обеспечить оптимальную конструкцию и работу сети, необходимы исследования моделей распространения I2O.

Моделирование распространения радиоволн с помощью излучающих кабелей тоже стоит относить к специальному случаю.

Излучающие кабели являются альтернативным решением для обеспечения покрытия в сложных закрытых пространствах, таких как туннели, большие коридоры или подземные шахты. Кабель негерметичный, в его внешнем проводнике имеются зазоры или прорези, позволяющие радиосигналу проникать в кабель или выходить из него по всей его длине, действуя как расширенная антенна, что делает его хорошо адаптированным к длинным узким помещениям, таким как коридоры, лифты или туннели [3, 4].

В результате можно выделить 2 самых важных параметра у модели, точность и сложность, которые зачастую зависят друг от друга: точность реализуется повышенной сложностью. И если посмотреть на известные старые эмпирические модели, такие как ITU-R Indoor Model (1997) [1] или Tuan Empirical Indoor Model [5], то можно увидеть, что они допускают среднюю ошибку в 6-10 дБ, что может быть крайне значительной ошибкой в определенных сценариях. Так же при анализе старых моделей можно заметить, что лишь малая часть из них поддерживает самый используемый диапазон в indoor связи – 2.4 ГГц, причём те модели, которые поддерживают его, были созданы для общего случая и в результате имеют значительную среднюю ошибку.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что на данный момент модели, которые используются для прогнозирования распространения радиоволн внутри помещения, имеют либо крайне низкую точность, либо не учитывают специфику современного распространения технологий для передачи данных внутри помещений. Объяснить это можно тем, что окружающая среда, для которой необходимо обеспечить моделирование, крайне комплексна в силу наличия множества препятствий разного рода и динамична в силу наличия множества подвижных объектов значительного размера относительно размера помещения.

Соответственно от будущих моделей будет требоваться поддержка наиболее часто используемых indoor диапазонов, таких как 900 МГц, 2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц и др. Так же необходимо повышать точность предсказания с помощью создания инструментов для предсказания в условиях среды с множеством помех разного характера, статичных и подвижных с разных параметрами ослабления и искажения сигнала.

Список используемых источников

1. Propagation Data and Prediction Methods for the Planning of Indoor Radiocommunication Systems and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 300 MHz to 450 GHz, International Telecommunication Union, ITU-R, 2023. P. 1238-12.
2. Morocho-Yaguana M. et al. An optimized propagation model based on measurement data for indoor environments // Journal of Telecommunications and Information Technology, 2018. №. 2. С. 69–75.
3. Zhang J., de la Roche G. Indoor coverage techniques, 2010.
4. Мартынов В. И. Оценка размеров зоны радиопокрытия, создаваемой излучающим кабелем // Электросвязь, 2009. №. 12. С. 24–27.
5. Tuan S. C. et al. Optimization of propagation models for the radio performance evaluation of wireless local area network //IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Digest. Held in conjunction with: USNC/CNC/URSI North American Radio Sci. Meeting (Cat. No. 03CH37450). IEEE, 2003. Т. 2. С. 146–149.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры РСiB СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом О. А. Симоновой.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 49.03.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ АДАПТИВНЫХ БИХ-ФИЛЬТРОВ

И. А. Бойко, Е. И. Глушанков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Целью данной работы является исследование адаптивных БИХ-фильтров на основе алгоритмов LMS и RLS. Преимуществом БИХ-фильтров является обеспечение меньшей вычислительной сложности при достижении желаемого уровня эффективности по сравнению с КИХ-фильтрами. Однако проблема адаптивных БИХ-фильтров связана с получением устойчивого и оптимального поведения алгоритмов. В данной работе рассматриваются два метода синтеза адаптивных БИХ-фильтров: метод выходной ошибки и метод приравнивания ошибок – для расчета устойчивых фильтров на базе алгоритмов LMS и RLS. Приведено математическое описание адаптивных БИХ-фильтров, полученных на базе алгоритмов LMS и RLS. Представлены результаты сходимости алгоритмов, а также сравнения параметров адаптивных КИХ и БИХ фильтров на базе алгоритмов LMS и RLS. В конце приведены рекомендации к настройке адаптивных БИХ-фильтров.

адаптивный фильтр, адаптивный БИХ фильтр, LMS, RLS, оценка сигнала, метод выходной ошибки, метод равенства ошибок

Адаптивные фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) – это рекурсивные фильтры, в которых могут быть адаптированы как нули, так и полюса. Сравнивая с адаптивными фильтрами с конечной импульсной характеристикой (КИХ), БИХ-фильтры имеют ряд преимуществ относительно с ними. При одинаковом требуемом уровне среднеквадратической ошибки (СКО) на выходе адаптивного фильтра, БИХ-фильтры требуют гораздо меньшего количества коэффициентов, что снижает вычислительную сложность. Также при одинаковом порядке адаптивный БИХ-фильтр может гораздо лучше аппроксимировать желаемую характеристику, более того, он способен синтезировать амплитудно-частотную характеристику с плоской полосой пропускания и монотонной полосой заграждения и нелинейную фазо-частотную характеристику [1].

В связи с указанными преимуществами адаптивные БИХ-фильтры целесообразно использовать в системах спутниковой и мобильной связи для выравнивания частотной характеристики с наименьшей вычислительной сложностью [2]. Основными недостатками адаптивных БИХ-фильтров являются: возможная неустойчивость, медленная сходимость и поверхность

ошибки с локальными минимумами или смещенным глобальным минимумом в зависимости от целевой функции. В данной работе рассматриваются методы, обеспечивающие устойчивость синтезированных алгоритмов.

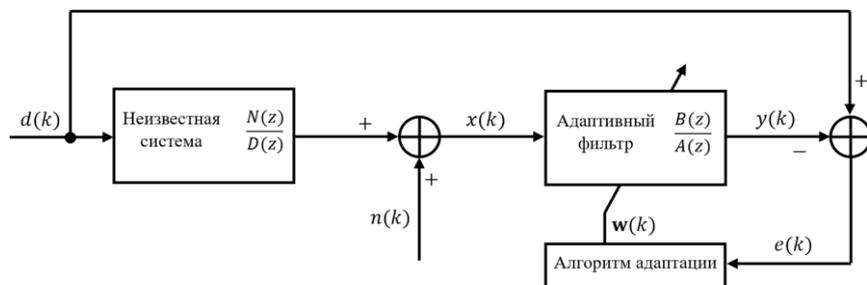


Рис. 1. Структурная схема модели системы

Для адаптивного КИХ-фильтра существует оптимальный фильтр (Винера), минимизирующий СКО. Тогда целевая функция примет вид [3]:

$$F_1 = M[e^2(k)] = M[d^2(k)] + \mathbf{w}^T \mathbf{R}_{xx} \mathbf{w} - 2\mathbf{w}^T \mathbf{r}_{dx},$$

где \mathbf{R}_{xx} – матрица автокорреляции входного сигнала, \mathbf{r}_{dx} – вектор взаимной корреляции между входным сигналом и образцовым, тогда вычислив градиент, получим оптимальный ВВК:

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{r}_{dx}$$

Градиент целевой функции ∇F_1 – линеен, а поверхность СКО представляет собой гиперboloиду.

Для адаптивного БИХ-фильтра целевая функция СКО будет выглядеть:

$$F_2 = M[e^2(k)] = M[d^2(k)] + \mathbf{w}^T \mathbf{R}_{zz} \mathbf{w} - 2\mathbf{w}^T \mathbf{r}_{dz},$$

$$\mathbf{z}(k) = [x(k), \dots, x(k - N), y(k - 1), \dots, y(k - M)] = [\mathbf{x}^T(k), \mathbf{y}^T(k)].$$

Решение ∇F_2 является нелинейным, поскольку ВВК зависит от $y(k)$, а поверхность СКО является мультимодальной [4].

В связи с этим широкое применение получили итерационные алгоритмы, такие как IIR LMS и IIR RLS. Основными методами итерационных алгоритмов устойчивых адаптивных БИХ-фильтров является метод выходной ошибки и метод равенства ошибок.

Рассмотрим для начала алгоритм LMS. Для КИХ-фильтра рекуррентная формула ВВК имеет вид:

$$\mathbf{b}(k) = \mathbf{b}(k - 1) + \mu e(k) \mathbf{x}(k)$$

Метод выходной ошибки БИХ-фильтра LMS (полный градиентный метод) [5]:

$$y(k) = \mathbf{w}^T(k) \mathbf{z}(k),$$

$$\mathbf{z}(k) = [x(k), \dots, x(k - N), y(k - 1), \dots, y(k - M)],$$

$$\mathbf{w}(k) = [b_0(k), \dots, b_{N-1}(k), a_1(k), \dots, a_{M-1}(k)].$$

$$\nabla F_3 = \frac{\partial F[e(k)]}{\partial e(k)} \cdot \frac{\partial e(k)}{\partial \mathbf{w}(k)}.$$

Вычислив градиент ∇F_3 получим:

$$\mathbf{w}(k) = \mathbf{w}(k-1) + \mu e(k) \boldsymbol{\eta}(k), \boldsymbol{\eta}(k) = \left[\frac{\partial e(k)}{\partial \mathbf{b}(k)}, \frac{\partial e(k)}{\partial \mathbf{a}(k)} \right] = [\boldsymbol{\beta}^T(k), \boldsymbol{\alpha}^T(k)],$$

$$\beta_n(k) = x(k-n) + \sum_{l=1}^{M-1} a_l(k) \beta_n(k-l),$$

$$\alpha_m(k) = y(k-m) + \sum_{l=1}^{M-1} a_l(k) \alpha_m(k-l).$$

Недостатком полного градиентного метода является его вычислительная сложность. На практике оказалось, что если ВВК медленно адаптируется (если шаг адаптации мал), то суммы $\sum_{l=1}^{M-1} a_l(k) \beta_n(k-l)$ и $\sum_{l=1}^{M-1} a_l(k) \alpha_m(k-l)$ стремятся к нулю. Тогда можно получить БИХ LMS, синтезированного методом Фейнтуча [6]:

$$\mathbf{w}(k) = \mathbf{w}(k-1) + \mu e(k) \boldsymbol{\eta}(k), \boldsymbol{\eta}(k) = [\boldsymbol{\beta}^T(k), \boldsymbol{\alpha}^T(k)],$$

$$\beta_n(k) = x(k-n), \alpha_m(k) = y(k-m)$$

Данный метод избавляет от трудоемких процедур вычисления частных производных. Раньше предполагалось, что сходимость данного алгоритма обеспечивается лишь при определенных условиях, однако, как оказалось на практике, данный алгоритм является даже более устойчивым по сравнению с методом полного градиента за счёт псевдолинейной регрессии.

Другим методом синтеза адаптивных БИХ-фильтров является метод равенства ошибок, который предполагает, что выход фильтра является образцовым сигналом. Такой класс фильтров называют псевдо-БИХ-фильтрами, поскольку адаптивный фильтр фактически состоит из двух КИХ-фильтров, а образцовый сигнал используется для аппроксимации [4]:

$$e_k = d(k) - \mathbf{w}^T(k) \mathbf{z}(k),$$

$$\mathbf{z}(k) = [x(k), \dots, x(k-N), d(k-1), \dots, d(k-M)],$$

$$\mathbf{w}(k) = \mathbf{w}(k-1) + \mu e(k) \mathbf{z}(k).$$

Данный алгоритм используют при больших значениях отношения сигнал/шум (ОСШ), где БИХ-фильтр равенства ошибок даёт хорошие показатели СКО. При малых же значениях ОСШ его устойчивость не гарантируется.

На рис. 2 приведены зависимости СКО от шага адаптации μ для фильтров LMS: КИХ порядок 10, КИХ порядок 20, КИХ порядок 30, БИХ полный

градиентный метод порядок 10, БИХ метод Фейнтуча порядок 10, БИХ метод равенства ошибок порядок 10.

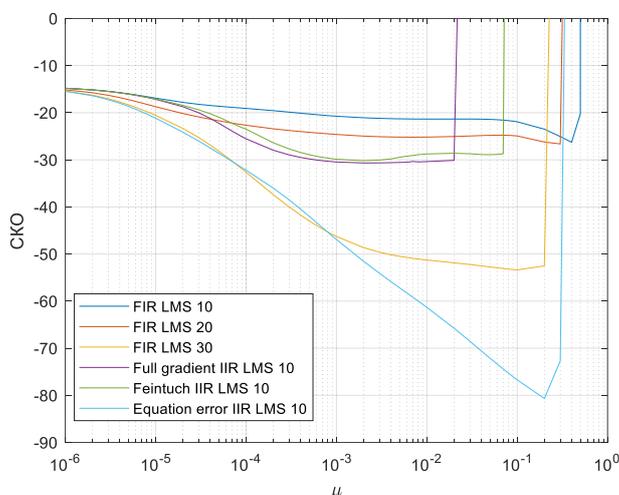


Рис. 2. Устойчивость фильтров LMS к изменению шага адаптации μ

У БИХ LMS для метода равенства ошибок рекомендуется выбирать значение шага адаптации из диапазона $0 < \mu < 2/((N + M)P_x)$, где P_x – средняя мощность входного воздействия; для полного градиентного алгоритма – $0 < \mu < 0,2/((N + M)P_x)$; для алгоритма Фейнтуча – $0 < \mu < 0,8/((N + M)P_x)$.

Для алгоритмов RLS рекуррентная формула ВВК КИХ-фильтра имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} \mathbf{b}(k) &= \mathbf{b}(k - 1) + \mathbf{k}(k)e(k), \\ e(k) &= d(k) - \mathbf{b}^T(k)\mathbf{x}(k) \\ \mathbf{k}(k) &= \frac{\mathbf{P}(k - 1)\mathbf{x}(k - 1)}{\lambda + \mathbf{x}^T(k - 1)\mathbf{P}(k - 1)\mathbf{x}(k - 1)}, \\ \mathbf{P}(k) &= \frac{1}{\lambda}[\mathbf{P}(k - 1) - \mathbf{k}(k)\mathbf{x}^T(k - 1)\mathbf{P}(k - 1)]. \end{aligned}$$

Аналогично можно получить БИХ-фильтр RLS методом Фейнтуча [6]:

$$\begin{aligned} \mathbf{w}(k) &= \mathbf{w}(k - 1) + \mathbf{k}(k)e(k), \\ e(k) &= d(k) - \mathbf{w}^T(k)\mathbf{z}(k), \\ \mathbf{z}(k) &= [x(k), \dots, x(k - N), y(k - 1), \dots, y(k - M)]. \end{aligned}$$

БИХ-фильтр RLS методом равенства ошибок [5]:

$$\mathbf{z}(k) = [x(k), \dots, x(k - N), d(k - 1), \dots, d(k - M)].$$

На рис. 3 приведены зависимости СКО от коэффициента забывания λ для фильтров RLS: КИХ порядок 10, КИХ порядок 20, КИХ порядок 30, БИХ метод выходной ошибки порядок 10, БИХ метод равенства ошибок порядок 10.

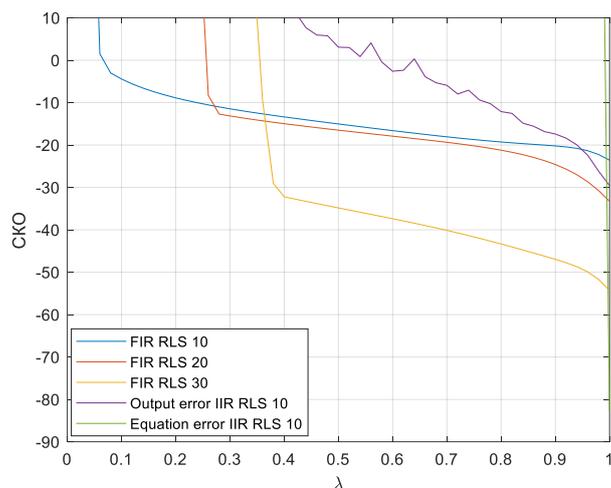


Рис. 3. Устойчивость фильтров RLS к изменению коэффициента забывания λ

У БИХ RLS для метода выходной ошибки рекомендуется выбирать значения коэффициента забывания в диапазоне $0,95 < \lambda < 1$; для равенства ошибок – $0,99 < \lambda < 1$.

Список используемых источников

1. Джиган В. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. Litres, 2022.
2. Zhao R. et al. Selfish herd optimization algorithm based on chaotic strategy for adaptive IIR system identification problem //Soft Computing, 2020. Vol. 24. PP. 7637–7684.
3. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов в зеркале MATLAB. БХВ-Петербург, 2018.
4. Diniz P. S. R. et al. Adaptive filtering. Berlin, Germany: Springer, 1997. Т. 4.
5. Ocloo S. K. et al. Global Optimization Methods for Adaptive IIR Filters, 2008.
6. Diniz P. S. R. et al. Online Learning and Adaptive Filters. Cambridge University Press, 2022.

УДК 004.925
ГРНТИ 28.17.33

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ПАКЕТНОГО ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ШУМА

А. Н. Бучатский¹, К. Ю. Прохоров¹, Г. Г. Рогозинский²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

² Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН

Для формирования правдоподобного ландшафта, имитирующего некоторый реальный ландшафт и его характерные особенности, эффективным является использование средств процедурной генерации, а именно алгоритмов генерации шумов. Получаемый на выходе алгоритма шум используется, как карта высот, т.е. набор координат и глубин единичных участков ландшафта. В статье приведен анализ наиболее используемых алгоритмов генерации шумов, их достоинств и недостатков, представлено описание работы алгоритма генерации шума с использованием двухмерного пакетного дискретного вейвлет-преобразования, приведены дальнейшие направления исследований.

алгоритм генерации шума, процедурная генерация, двухмерное пакетное дискретное вейвлет-преобразование

Формирование ландшафта при трехмерном моделировании реалистичной поверхности, имеющей свои характерные особенности, является трудоемким процессом. Исходный размер создаваемого участка ландшафта, а также его принадлежность к определенному типу ландшафта (например, горы, холмы, карьеры, донная поверхность и т.д.), напрямую влияют на затрачиваемое время для его создания. Чем больше размер участка и количество используемых в нем типов ландшафтов, тем больше времени будет затрачено на проработку конечного результата.

Очевидно, что при генерации бесконечно большого участка ландшафта, ручное формирование становится бессмысленным. В таких случаях наиболее эффективным является использование инструментов процедурной генерации, а именно алгоритмов генерации шумов.

Алгоритмы генерации шумов

Использование сгенерированного шума для формирования ландшафта позволяет итерационно получать различный результат, который при небольших временных затратах (сравнивая с ручным формированием) позволяет сохранить некоторые особенности типа ландшафта на каждом шаге итерации. К наиболее популярным алгоритмами генерации шума можно отнести

следующие: Perlin noise [1] (и его модификация – Simplex noise [2]), Value noise, Wavelet noise [3], Midpoint displacement [4], Diamond-square [4].

Также, для улучшения конечного результата работы алгоритмов, в отдельных случаях применяются алгоритм fractional Brownian motion [4] (fBm), диаграмма Вороного [5] и различные виды фильтрации (например фильтр Гаусса).

Fractional Brownian motion (fBm)

Данный алгоритм применяется в паре с другими алгоритмами генерации шума для получения фракталоподобного шума. Его суть заключается в суммировании различных итераций шума с кратными амплитудами и частотами. При каждой последующей итерации, после первой, амплитуда шума уменьшается (параметр gain или усиление), а частота повышается (параметр lacunarity или лакунарность). Итерации шума называют «октавами», т.к. обычно, при каждой итерации алгоритма, амплитуда и частота изменяются в 2 раза.

Value Noise (Числовой шум)

Числовой шум является самым простым алгоритмом для реализации: каждое значение исходного двухмерного белого шума интерполируется с соседними значениями. В большинстве случаев, без применения дополнительных алгоритмов (fBm), результат на выходе алгоритма Value Noise слабо применим для создания реалистичного ландшафта.

Perlin Noise (шум Перлина). Simplex noise (симплексный шум)

Шум Перлина изначально создавался как алгоритм генерации текстур для трехмерных моделей, который в последствии стали применять и для процедурной генерации ландшафтов. Шум Перлина является градиентным шумом, реализуемым как двух-, трех- или четырехмерная функция. Реализация обычно включает в себя три этапа: определение сетки случайных векторов градиента, вычисление скалярного произведения между векторами градиента и их смещениями и интерполяцию между этими значениями.

Симплексный шум является модификацией шума Перлина, сокращающий вычислительную мощность оригинального алгоритма и устраняющего некоторые его недостатки [2].

Wavelet noise (вейвлетный шум)

Данный алгоритм разрабатывался для устранения недостатков шума Перлина при его использовании в качестве текстуры поверхностей [3]. Результат работы алгоритма достигается путем применения операций понижающей и повышающей дискретизации. В данных операциях применяются фильтры аналогичные фильтрам, используемым при вейвлет анализе.

Midpoint displacement (MPD) и Diamond-Square (DS)

Для обоих алгоритмов задаются одинаковые начальные условия – начиная с пустой двумерной сетки, из четырех случайных начальных значений (углы сетки), итеративно генерируется карта высот, упорядоченная в виде сетки из точек таким образом, что вся плоскость покрыта квадратами. Каждый алгоритм имеет отличающиеся шаги, на которых определяются значения и положения точек, однако результаты работы алгоритмов довольно схожи.

Анализ

Основным недостатком перечисленных алгоритмов можно назвать слабую управляемость. В виду того, что для работы алгоритма необходимые начальные условия задаются с помощью использования псевдослучайных генераторов (генерация белого шума, сетки случайных векторов, значения углов сетки и т.д), количество параметров управления алгоритмом, в общем случае, сокращено до задания размеров генерируемой сетки, выбора типа интерполяции и задания диапазона изменения случайной величины. Как следствие, к конечному результату необходимо применять дополнительную обработку – fWm, фильтр Гаусса и пр.

Алгоритм генерации шума на основе двумерного пакетного дискретного вейвлет-преобразования

Ниже представлен алгоритм генерации шума, разработанный на основе [6]:

1. Создание пустого массива значений P размера $n \times n$ (при условии, что $n = 2^i$, где $i = 4, 5, 6, \dots$).
2. Создание seed-массива I размера 8×8 , произвольно заполненный значениями 0 или 1.
3. Выполнение двумерного пакетного дискретного вейвлет-преобразования (ПДВП) для массива P до уровня разложения L , при котором размер каждого узла пакетного дерева будет равен размеру seed-массива I .
4. В один из полученных узлов на уровне L , загружается массив P и выполняется обратное двумерное ПДВП и записывается в итоговый массив R .
5. К каждому элементу массива R применяется операция нормирования по максимальному значению массива R .

На рисунке 1 приведен используемый seed-массив.

На рисунках 2 и 3, слева направо, продемонстрированы полученные карты высот в двумерном и трехмерном виде, а также в трехмерном виде с применением фильтра Гаусса. Seed-массив загружался в узел 1 на уровне разложения $L = 3$ и в узел 53 на том же уровне разложения.

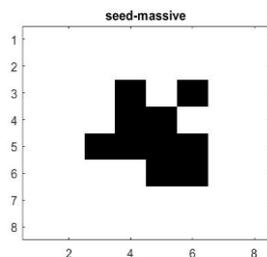


Рис. 1. Seed-массив I

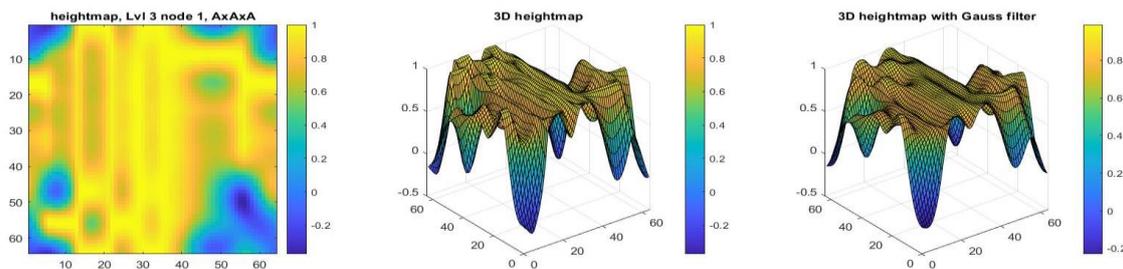


Рис. 2. Узел 1 на уровне разложения $L=3$

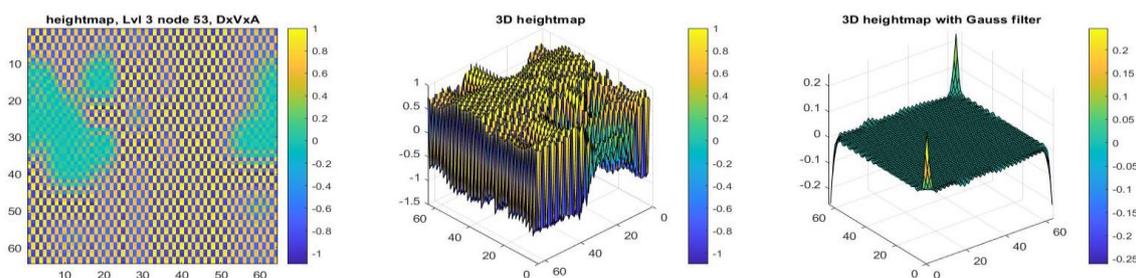


Рис. 3. Узел 53 на уровне разложения $L=3$

Основываясь на полученных данных, представленных на рисунке 3, можно утверждать, что применение фильтра Гаусса для узлов, отвечающих за детализирующие коэффициенты, малоэффективно. Объяснением тому может быть тот факт, что в результате фильтрации соседние значения получаемой карты высот уравниваются друг относительно друга.

Для более эффективной работы алгоритма, в случаях использования узлов, отвечающих за детализирующие коэффициенты, перед фильтрацией все значения карты высот, расположенные ниже нуля, можно приравнять к нулю. На рисунке 4 представлен тот же 53 узел, после усечения отрицательных значений.

Алгоритм предусматривает возможность загрузки нескольких seed-массивов, как одинаковых, так и отличающихся, в узлы уровня разложения L одновременно.

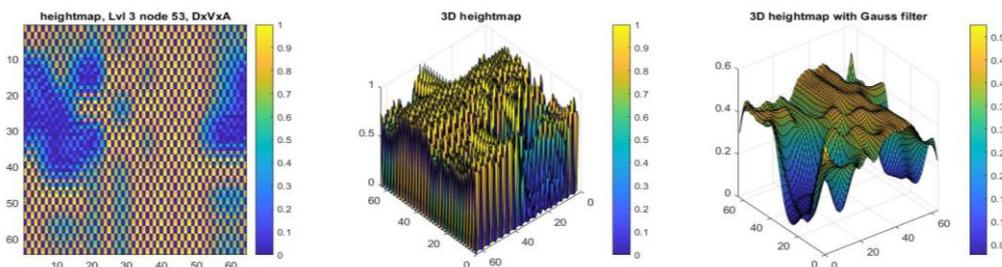


Рис. 4. Узел 53 на уровне разложения $L=3$ после усе­чения отрицательных значений

Заключение

В данной статье представлен анализ существующих алгоритмов генерации шумов, используемых при создании ландшафтов, а также представлен собственный алгоритм генерации шума с использованием двухмерного ПДВП.

Использование двухмерного ПДВП позволяет получать различные структуры ландшафта. При двухмерном ПДВП исходный массив раскладывается на все возможные аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты (A, V, H, D). Количество коэффициентов, а следовательно, и узлов пакетного дерева, может быть определено как 4^i , где i соответствует уровню разложения L . Загружая seed-массив I в различные узлы уровня разложения L , будет образовываться похожая и, одновременно с тем, отличающаяся структура ландшафта. При добавлении двух и более массивов в другие узлы того же уровня, конечный результат будет претерпевать различные изменения, зависящие от того, в какой конкретный узел был загружен массив.

Для формирования полного представления о возможностях представленного алгоритма необходимо проведение дополнительных исследований, например, таких как: изучение влияния конкретного узла пакетного дерева на характер изменения карты высот, определение возможности получения конкретных типов ландшафтов, изучение влияния использования двух и более seed-массивов и др.

Список используемых источников

1. Perlin K. An image synthesizer. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1985. Vol. 19 (97–8930). PP. 287–296. doi:10.1145/325165.325247
2. Perlin K. Noise hardware. In Real-Time Shading SIGGRAPH Course Notes, Olano M., 2001.
3. Cook R., Derosé T. Wavelet noise. ACM Trans. Graph., 2005. Vol. 24. PP. 803–811. 10.1145/1186822.1073264.
4. Fournier A., Fussell D., Carpenter L. Computer rendering of stochastic models. Commun. ACM 25, 1982. Vol. 6, PP. 371–384. <https://doi.org/10.1145/358523.358553>
5. Mumm M. Voronoi Diagrams. The Mathematics Enthusiast, 2004. Vol. 1. № 2, Article 4.
6. Бучатский А. Н., Прохоров К.Ю., Рогозинский Г.Г. Программа для получения спектров шумов квантования коэффициентов дискретного пакетного вейвлет-преобразования. С-во о регистрации программы для ЭВМ 2023663658, 27.06.2023. Заявка № 2023662479 от 14.06.2023.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ТВиМ СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом А. Н. Бучатским.

УДК 621.397.132
ГРНТИ 47.51.39

ПОДГОТОВКА ВИРТУАЛЬНЫХ РАКУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПУСТОТ

А. Н. Бучатский, Д. А. Татаренков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Необходимость заполнения пустот на изображениях часто возникает в таких задачах, как восстановление потерянной информации при передаче, реставрации старых снимков, получении дополнительных ракурсов в системах объемного телевидения, виртуальной и смешанной реальности и др. Заполнение пустот может осуществляться с использованием методов «инпейнтинга» (inpainting). Однако, ошибки восстановления таких методов часто заметны для зрителя. В статье предложен метод заполнения пустот на изображении для применения в задаче синтеза виртуальных ракурсов с использованием нейронных сетей, произведено сравнение его работы с классическими методами заполнения.

карта глубины, виртуальный ракурс, заполнение пустот, DIBR.

Развитие телевизионных технологий привело к введению нового стандарта MPEG Immersive Video (MIV) в 2020 году группой специалистов по стандартизации сжатия и передачи цифровой видео- и аудиоинформации (MPEG) [1]. Этот стандарт представляет собой формализацию объемного видео, где реальные или виртуальные трехмерные сцены записываются несколькими реальными или виртуальными камерами. MIV обеспечивает возможность хранения и передачи контента иммерсивного видео через существующие и будущие сети с возможностью воспроизведения с шестью степенями свободы (6 DoF).

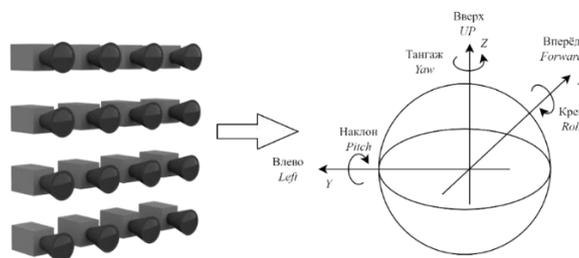


Рис. 1. Камерный риг для формирования иммерсивного видео с шестью степенями свободы

Камерный риг может быть выполнен в виде системы соосных камер, расположенных в одной плоскости (рисунок 1), или линейно сходящейся для широкого поля зрения.

Примеры использования технологии MIV можно разделить на три категории. К первому можно отнести просмотр контента на 2D-дисплее с выбором необходимой точки обзора зрителем. Такой функционал можно реализовать с помощью управления пальцем на планшете или смартфоне, или с использованием другого взаимодействия. Перемещение зрителя ограничено и не позволяет полностью повернуться, но угол обзора обычно охватывает всю сцену, а не отдельный объект.

В данной статье рассматривается проблема заполнения пробелов при формировании виртуальных ракурсов из многокамерного видео с использованием карт глубины (MVD) для создания иммерсивного визуального опыта. В этом формате информация о геометрии предоставляется с использованием карт глубины, ассоциированных с каждой камерой (рисунок 2) [2].

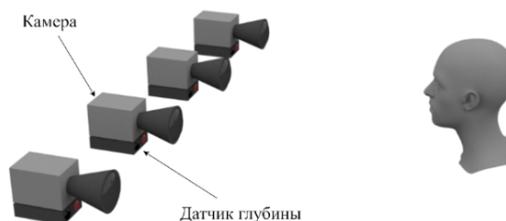


Рис. 2. Камерный риг с датчиками глубины

Алгоритм DIBR (Depth image-based rendering, рендеринг по глубине изображения) основан на создании виртуального ракурса из карты глубины и соответствующего текстурного изображения. Обычно виртуальный ракурс синтезируется из цветовой текстуры и соответствующей карты глубины путем проецирования координат точки исходного изображения в мировые координаты. Для этого применяются параметры внешней калибровки камеры. Затем полученные промежуточные точки пространства проецируются в плоскость изображения "виртуальной" камеры, которая находится в необходимом положении для просмотра. Этот процесс известен как деформация (warping) трехмерного изображения.

Параметры внутренней калибровки камеры определяются на основе фокусного расстояния, угла наклона пикселей и принципиальной точки (точка пересечения плоскости изображения с оптической осью, которая совпадает с центром изображения), и представляются в форме матрицы:

$$A = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & x_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

где c_x и c_y – координаты оптического центра, выраженные в пикселах, $f_x = F/p_x$, $f_y = F/p_y$, F – фокусное расстояние, p_x и p_y – физический размер пиксела. В результате работы алгоритма DIBR формируется виртуальный ракурс с частично-отсутствующей информацией (рисунок 3).

Основной причиной образования пустот является окклюзия, когда два объекта располагаются приблизительно на одной линии. Такие пробелы также могут возникать из-за недостающих или некорректных данных о глубине. Кроме того, в процессе деформации могут появляться трещины и разрывы из-за неоднозначности вычисленных координат соседних пикселей. Эти разрывы, как правило, имеют меньшую площадь по сравнению с пробелами, вызванными окклюзией.



Рис. 3. Пример полученного виртуального ракурса с незаполненными пустотами

Для решения проблемы заполнения пустот часто применяются "inpaint"-алгоритмы в процессе последующей обработки деформированного изображения. В этом случае пропуски в синтезированном изображении заполняются данными соседних пикселей изображения [3]. Другим методом является зеркальное отражение известных смежных областей на пустоты. Такие подходы оказываются эффективными, особенно когда требуется заполнить относительно небольшие участки изображения.

В данном исследовании были рассмотрены различные методы заполнения пробелов на изображениях. В качестве исходных данных использовались наборы цветных текстурных изображений вместе с соответствующими им картами глубины. Карта глубины содержит информацию о расстоянии от каждого пикселя до точки съемки. Для этой цели были использованы стандартные изображения из общедоступных баз изображений.

Для каждого изображения есть данные о минимальном и максимальном расстоянии до объектов внутри сцены, матрицы, содержащие внутренние и внешние параметры камеры. После обработки всех входных изображений и карт глубины с использованием алгоритма DIBR созданы виртуальные ракурсы и бинарные маски пустот (см. пример на рисунке 4).

Полученные виртуальные ракурсы и маски пустот были использованы для проведения сравнительного анализа четырех различных методов заполнения пробелов.



Рис. 4. Пример маски пустот для виртуального ракурса

Метод Навье-Стокса [4], реализованный в пакете OpenCV, основан на вычислении взвешенной суммы значений пикселей по краю пустой области. Вес каждого известного пикселя определяется расстоянием до вычисляемого пикселя. Процесс заполнения начинается с края области и идёт к центру, при этом для вычисления значений пикселей, находящихся дальше от края, используются значения пикселей, полученных на предыдущей итерации.

Следующий метод – применение генеративно-состязательной нейронной сети (GAN), предназначенной для устранения шумов, NAFNet [5]. Перед применением этой сети используется метод заполнения "inpaint". Входной фильтр обучения преобразует изображение в предварительно восстановленное изображение; затем слой адаптации адаптирует входной фильтр обучения к изображению, после чего фильтр постобработки выполняет фильтрацию предварительно восстановленного изображения.

Другими методами заполнения пустот являются использование GAN с маской EdgeConnect [6] и AOT-GAN [7]. Метод GAN с маской EdgeConnect обучается с акцентом на оценку распространения границ объектов в пустых областях. Слой edge сети выделяет края на изображении, в то время как слой rectify восстанавливает детали и текстуру, используя эту информацию. AOT-GAN использует сверточные и рекуррентные слои для извлечения пространственных и временных связей между пикселями. Это позволяет сети генерировать восстановленные изображения с сохранением деталей и текстуры оригинальных изображений.

Полученные ранее карты изображений с пробелами и соответствующие маски были подвергнуты обработке каждым из описанных методов заполнения пробелов. Качество этих виртуальных ракурсов было оценено с использованием объективных метрик PSNR (пиковое отношение сигнала к шуму) и IW-SSIM [8]. При использовании IW-SSIM локальные структурные сходства весились с помощью локальных карт SSIM, сравниваемых с реальными ракурсами из базы изображений. Положение виртуального ракурса в мировых координатах соответствовало положению ракурса из базы данных, который выступал в качестве эталона.

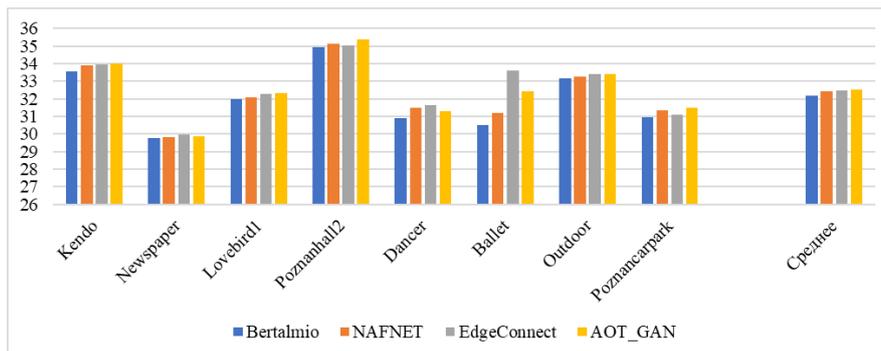


Рис. 5. Результаты сравнения методов заполнения пустот по метрике PSNR

Результаты исследований показывают, что объективная оценка точности заполненных пробелов на изображениях достигает наилучших результатов при использовании генеративно-сопоставительных сетей для создания виртуальных ракурсов (см. рисунки 5 и 6).

Для сцены Poznanhall2, содержащей помещение с однородными текстурами, метод заполнения пробелов с использованием AOT-GAN показывает уровень PSNR выше 35. Та же техника обеспечивает IW-SSIM на уровне 0,968 для сцены Outdoor, где изображен автомобиль на улице города.

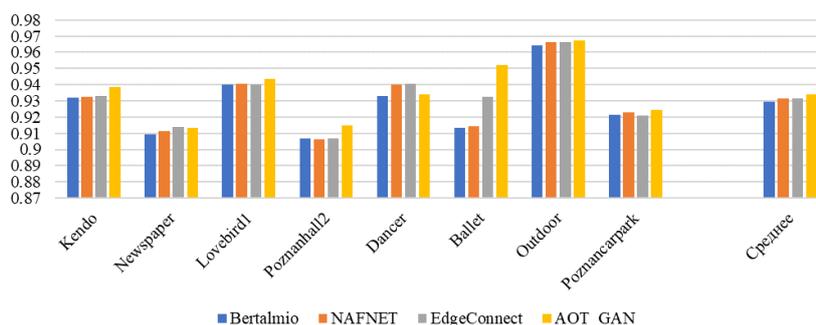


Рис. 6. Результаты сравнения методов заполнения пустот по метрике IW-SSIM

В исследовании были рассмотрены различные методы заполнения пустот на виртуальных ракурсах и обнаружено, что генеративно-сопоставительные сети (GAN) показывают наилучшие результаты. Объективная оценка качества с использованием метрик PSNR и IW-SSIM подтвердила это. Для дальнейших шагов важно провести субъективную оценку на аудитории и провести дополнительные тесты на различных видеопоследовательностях для полного понимания эффективности методов заполнения пробелов при создании виртуальных ракурсов.

Список используемых источников

1. Hamidouche W., Biatak T., Abdoli M., François E., Pescador F., Radosavljević M., Menard D., Raulet M. Versatile Video Coding Standard: A Review From Coding Tools to Consumers Deployment//IEEE Consumer Electronics Magazine, 2022, T. 11, Versatile Video Coding Standard, № 5, С. 10–24.

2. Татаренков Д. А. О синтезе дополнительных ракурсов для 3D-систем отображения информации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании, 2021, Т. 3, С. 311–316.
3. Kwan-Jung Oh, Sehoon Yea, Yo-Sung Ho Hole filling method using depth based inpainting for view synthesis in free viewpoint television and 3-D video // 2009 Picture Coding Symposium 2009 Picture Coding Symposium (PCS). Chicago, IL, USA: IEEE, 2009. PP. 1–4.
4. Bertalmio M., Bertozzi A.L., Sapiro G. Navier-stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting // Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. Kauai, HI, USA: IEEE Comput. Soc, 2001. Vol. 1. PP. I-355–I-362.
5. Chen L., Chu X., Zhang X., Sun J. Simple Baselines for Image Restoration/arXiv:2204.04676 [cs]. arXiv, 2022.
6. Nazeri K., Ng E., Joseph T., Qureshi F.Z., Ebrahimi M. EdgeConnect: Generative Image Inpainting with Adversarial Edge Learning. EdgeConnect/arXiv:1901.00212 [cs]. arXiv, 2019.
7. Zeng Y., Fu J., Chao H., Guo B. Aggregated Contextual Transformations for High-Resolution Image Inpainting/arXiv:2104.01431 [cs]. arXiv, 2021.
8. Jiang B., Yang J., Jiang N., Lyu Z., Meng Q. Quality assessment for virtual reality technology based on real scene//Neural Computing and Applications, 2018, Vol. 29.

УДК 681.01.03:06
ГРНТИ 81.93.21

ПРОБЛЕМАТИКА СТРУКТУРНО-СИСТЕМНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ НАУКИ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ

В. В. Васильев, А. В. Куликович

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

На основе анализа существующих систем обеспечения безопасности образовательных учреждений и организаций науки в кризисных ситуациях предлагается разработать структурно-системную модель функционирования системы комплексной безопасности. Полученные в исследовании результаты могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по предупреждению возникновения кризисных ситуаций и для обоснования концепции и предложений в план мероприятий по противодействию проявлениям кризисных ситуаций в образовательных учреждениях и организациях науки.

безопасность, антитеррор, кризисные ситуации, образовательные учреждения

Достижение заданных, а также совершенно новых максимально возможных свойств у вновь проектируемого комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений может быть обеспечено, прежде всего, посредством структурно-системного объединения уже разработанных такого рода систем управления и комплексов, ориентированных на стабильные условия функционирования. Вместе с тем становится очевидным, что при природных, техногенных воздействиях и боевом применении оружия массового поражения любая дополнительная информация, полученная заблаговременно, будет существенно способствовать раскрытию неопределенности и позволит осуществить эффективную подготовку своих сил и средств для борьбы с причинами и последствиями чрезвычайной ситуацией. Поэтому в стратегическом, оперативно-тактическом и тактическом плане исключительно важными становится построение целостного, неуязвимого комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений, существенно зависящего именно от меняющейся среды его функционирования [1–2].

Бесспорно, что структурно-системное объединение систем управления и комплексов систем управления безопасностью образовательных учреждений, ориентированных как на стабильные условия функционирования, так и на меняющуюся среду, должно исходить из необходимости учета и всесторонней характеристики [3]:

- среды, в которой функционирует комплекс;
- известных технических средств, составляющих системы управления безопасностью образовательных учреждений, а также появляющихся новаций;
- областей устойчивости систем управления и комплексов систем управления безопасностью образовательных учреждений;
- взаимодействия технических средств в комплексе систем управления безопасностью образовательных учреждений и самого комплекса с другими объектами.

Оно предполагает разработку специальной теории комплексирования, обеспечивающей в общем случае оптимальное объединение систем управления безопасностью образовательных учреждений, что требует специального моделирования среды функционирования, а также реализации его функций и алгоритмов, которые представляют собой в общем случае статистические задачи.

Законы функционирования комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений с ориентацией на стабильные условия всегда отличались сравнительной простотой, однако практика всегда имела дело с меняющейся средой. Как показали и опыт, и теория, меняющаяся среда вообще по-разному влияет на функционирование комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений, причем сказываются как физические свойства среды, так и свойства самого комплекса [2, 4].

С учетом изложенного наиболее сложным, трудоемким и интересным в теоретическом плане оказывается случай структурно-системного комплексирования систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов, ориентированных на стабильные условия функционирования, и на меняющуюся среду чрезвычайных ситуаций. Здесь меняющийся характер среды определяет необходимость создания комплексного подхода к использованию ее закономерностей, которые оказались неразрывно связаны с оперативным определением:

- оптимальной среды функционирования для разработанного комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений;
- оптимальной структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений для выявленной меняющейся среды.

Для рассматриваемого случая это предопределило практическую направленность разработки и использования не только «прогнозных», но и иных, «оперативных» моделей, пригодных для установления, прежде всего, наличия меняющейся среды чрезвычайных ситуаций при заданной структуре комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений, и для оперативного определения и формирования их структуры для выявленных сред. Такое рациональное сочетание меняющейся среды функ-

ционирования комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений и структуры составляющих его технических средств теоретически может обеспечить максимизацию всех возможностей по заблаговременному эффективному обнаружению и приготовлению к предотвращению и устранению природных, техногенных воздействий и последствий боевого применения оружия массового поражения [2–4].

В условиях меняющейся среды функционирования комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений влияние содержания и формы их комплексирования приобретает особое значение. Проблематика комплексирования применительно к системам управления безопасностью образовательных учреждений всегда появляется тогда, когда в ее реализации возникают теоретическая и практическая необходимость, вызванная к жизни.

В условиях складывающихся ныне в российской науке представлений проблематику комплексирования систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов, а также разработку методов построения такого рода комплексов естественно связать с установлением расхождений желаемых результатов, средств и способов достижения замысла, целей и задач с реальными, реализуемыми сегодня в конкретной среде, которые могут быть устранены не единственным образом [2, 5]

С учетом изложенного проблематика комплексирования систем управления безопасностью образовательных учреждений, может быть определена следующим образом.

Первая проблема обусловливается необходимостью уточнения используемых в настоящее время при объединении систем управления безопасностью образовательных учреждений «исходных положений, основополагающих идей, от которых нельзя отступить».

При реализации оптимального структурно-системного комплексирования систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов, ориентированных и на стабильные условия функционирования, и на меняющуюся среду, возникает острая потребность уже в системе «основополагающих идей» комплексирования, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих принципов и открывает возможность получения новых целостных свойств на основании известного «прошлого» опыта, оказывается ориентированной на него, а также на возможности уже известных ингредиентов [3, 6].

В такой постановке данная проблема до сих пор не рассматривалась.

Вторую проблему следует связать с диалектическим осмыслением возможности применения известных методов объединения систем управления безопасностью образовательных учреждений, обеспечивающих, как правило, только приближение к заранее заданному новому качеству комплекса

систем управления безопасностью образовательных учреждений, определение которого всегда было весьма трудоемкой задачей. Это однозначно предопределяет необходимость изыскания новой схемы оптимального структурно-системного комплексирования, которая обеспечит такому комплексу не просто новые, а уже максимально возможные для него новые свойства, определяемые известным «прошлым» опытом, появляющимися новациями и оперативным учетом особенностей меняющейся среды функционирования.

Такой подход к решению данной проблемы до настоящего времени не использовался.

Третью проблему свяжем с определением стратегии и тактики оптимального структурно-системного комплексирования систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов, ориентированных на меняющуюся среду функционирования.

Обычно объединение систем управления безопасностью образовательных учреждений базировалось на априорной идее «стабильной заданности комплекса», а потому по этой причине оказывалось связанным с выявлением только его отдельных внутренних противоречий [5–7].

В предположении же о структурно-системном комплексировании систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов, ориентированных как на стабильные условия функционирования, так и на меняющуюся среду, потребовалось выявление в полном объеме в статике и динамике присущих им внутренних противоречий, а также в динамике внешних противоречий, определяемых появлением уже нового целостного объекта комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений.

Основу четвертой проблемы составило исследование влияния физико-технических возможностей поражающих факторов на структурно-системное комплексирование систем управления безопасностью образовательных учреждений, ориентированных на стабильные условия функционирования и на меняющуюся среду.

Существо пятой проблемы составляет разработка эффективных инвариантных методов анализа систем управления безопасностью образовательных учреждений и самого комплекса.

Наконец, в качестве шестой проблемы выступает собственно синтез комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений, основу которого составляет метод декомпозиции систем управления безопасностью образовательных учреждений и их комплексов. Обычно декомпозицию относили к этапу анализа сложных объектов исследования, при этом под ней понимали «такое разложение некоторого целого на составные более простые части, которые предполагало возможность их соединения в

исходный целостный объект». Это существенно затрудняло процесс формирования нового комплекса и требовало иного подхода к уровню разбиения (детализации) макроэлементов, который можно связать с «самостоятельностью» макроэлементов в различных видах структур и возможностью предсказать последствия от их самостоятельного функционирования в соответствующей области устойчивости.

Представление структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений в виде множества выделенных при декомпозиции элементов и макроэлементов дает возможность акцентировать внимание на синтезе его функциональной, алгоритмической и организационной структур [3, 5].

Построение оптимальной функциональной структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений позволяет говорить о синтезе его алгоритмической структуры, которая, безусловно, является производной от результата синтеза функциональной структуры. В основу алгоритмического синтеза могут быть положены идеи структурной теории алгоритмов, в которой каждый «конкретный алгоритм задается структурой сети, все блоки которой выражаются через элементарные операторы, работающие в допустимом множестве исходных данных». В общем случае алгоритмическое комплексирование сводится к разработке некоего нового алгоритма и сохранением неизменными уже используемых алгоритмов.

Наличие функциональной и алгоритмической структур позволяет обратиться к синтезу организационной структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений. Обычно при реализации организационной структуризации комплексов исходили из технологических и организационных аспектов, при этом под технологией в широком смысле понимали определенную упорядоченность совокупности действий, мероприятий, операций, связанных с достижением требуемого результата на основании определенной исходной информации, а организационный аспект связывали с решением таких задач, схемы реализации которых отсутствовали в виду их новизны и проблематичности. Такой подход в принципе не позволял осуществлять синтез организационной структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений. В то же время многовариантный характер номенклатуры элементов организационной структуры открывал возможность для ее оптимизации [2–4].

Завершает современный синтез комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений модернизация его структуры. Обычно она связывалась с «моральным и физическим устареванием» используемого комплекса и зависела от уровня научно-технического прогресса. Однако возможность представления структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений в виде ориентированной на среду

совокупности основной и резервных конфигураций, в котором реконфигурация может задаваться специальным алгоритмом, обуславливает возможность формирования множества вариантов для ее модернизации и выбора из этого множества одного наилучшего варианта. Именно это и позволяет в зависимости от характера специального алгоритма устанавливать направленность реконфигурации, которая может обеспечить подбор для:

- известной структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений оптимальных условий функционирования;
- измеренных условий функционирования соответствующей структуры комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений.

В этом смысле задача модернизации оказывается идентична задаче составления расписания замены в структуре элементов и связей, которые можно также рассматривать как некоторые элементы.

В такой постановке проблема синтеза комплекса систем управления безопасностью образовательных учреждений до настоящего времени не рассматривалась.

Реализация модели обеспечения безопасности образовательных учреждений и организаций науки в кризисных ситуациях даны на примере комплекса управления сбором и обработкой данных (УКСОД).

Список используемых источников

1. Добровольский В. С., Овечкин А. Н., Павлов А. А. Антитеррористическое обеспечение образовательных учреждений в Минобрнауки России: в 4 т. М.: Минобрнауки России, 2005. Т. I. 172 с.
2. Добровольский В. С., Овечкин А. Н., Павлов А. А. Антитеррористическое обеспечение образовательных учреждений в Минобрнауки России: в 4 т. М.: Минобрнауки России, 2005. Т. II. 180 с.
3. Добровольский В. С., Овечкин А. Н., Павлов А. А. Антитеррористическое обеспечение образовательных учреждений в Минобрнауки России: в 4 т. М.: Минобрнауки России, 2005. Т. III. 146 с.
4. Добровольский В. С., Овечкин А. Н., Павлов А. А. Модель оценки состояния и подготовки образовательных учреждений к террористическим проявлениям. М.: Минобрнауки России, 2005. 244 с.
5. Оперативное управление мероприятиями РСЧС: сборник лекций для руководящего состава МЧС России / под общ. ред. В. Ф. Мищенко. М.: ООО «ИПП «КУНА», 2004. 500 с.
6. Основы организации и ведения ГО в современных условиях / под общ. ред., С. К. Шойгу. МЧС России. М.: Деловой экспресс, 2005. 520 с.
7. Салимов К. Н. Современные проблемы терроризма. М.: Щит-М, 1999. 216 с.

УДК 621.391.31
ГРНТИ 45.31.01

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ PoE ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ В СЕТЯХ 5G И В IOT

П. Ю. Виноградов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются практические аспекты системы электропитания PoE – технологии подачи электрической энергии вместе с данными по сетевой инфраструктуре Ethernet. Рассмотрены способы подачи питания для различных телекоммуникационных устройств, как допускающих прямое использование PoE, так и нет. В последнем случае применяются промежуточные приборы – инжекторы и сплиттеры. Важным является выбор надежных разъемов и защита от помех. Дано краткое описание передачи энергии по кабелям для аудио/видео сигналов и технологии Digital Electricity.

Power over Ethernet, инжекторы, сплиттеры, Digital Electricity

В докладе на конференции АПИНО 2023 были рассмотрены базовые вопросы, касающиеся последних стандартов Power over Ethernet (PoE) [1]. Обсуждалась возможность применения этой технологии для построения системы электропитания для базовых станций 5G и промышленного интернета вещей. Настоящая статья посвящена практическим аспектам применения PoE.

Технология PoE работает на скоростях 10/100/1000 Мбит/с и обеспечивает от 15 до 90 Вт мощности на устройствах через кабели Cat5e, Cat6, Cat6a, когда один и тот же кабель используется для передачи данных и электропитания. Эта технология основана на стандартах IEEE 802.3af, 802.3at и 802.3bt, установленных Институтом инженеров по электротехнике и электронике, и определяет, как должно работать сетевое оборудование для обеспечения взаимодействия между устройствами. Основные виды оборудования, использующие технологию PoE приведены в таблице 1. Возможные варианты подключения приведены на рис. 1. Если телекоммуникационное устройство предусматривает применение PoE, то питание осуществляется напрямую от коммутатора. В другом случае применяются дополнительные приборы, такие как инжекторы и сплиттеры. Это существенно расширяет возможности организации питания большого количества маломощных устройств при незначительных затратах.

ТАБЛИЦА 1. Типы оборудования технологии PoE

Тип оборудования	Определение
PSE (Power Source Equipment / Питающее оборудование)	Это устройство, которое обеспечивает подачу электропитания. Устройство PSE может быть либо End-Span, либо Mid-Span (смотрите ниже).
PD (Powered Device / Питаемое устройство)	Это устройство, получающее электропитание от системы PoE, включая ODU (Outdoor Unit) – наружный блок, т.е. оборудование, установленное вне помещения.
End-Span	Источник электропитания End-Span – это обычно сетевой коммутатор или инжектор, который обеспечивает подачу электропитания от конца кабельной линии.
Mid-Span	Источник электропитания Mid-Span – это устройство (обычно PoE инжектор), которое обеспечивает питание PoE из середины кабельной линии, и находится между сетевым коммутатором и устройством PD.
Кабельная инфраструктура	Технология PoE использует кабели типа «витая пара» для соединения между устройствами PSE и PD. Сечение и материал кабеля и соединительного оборудования (например, патч-панели) влияют на потерю мощности.

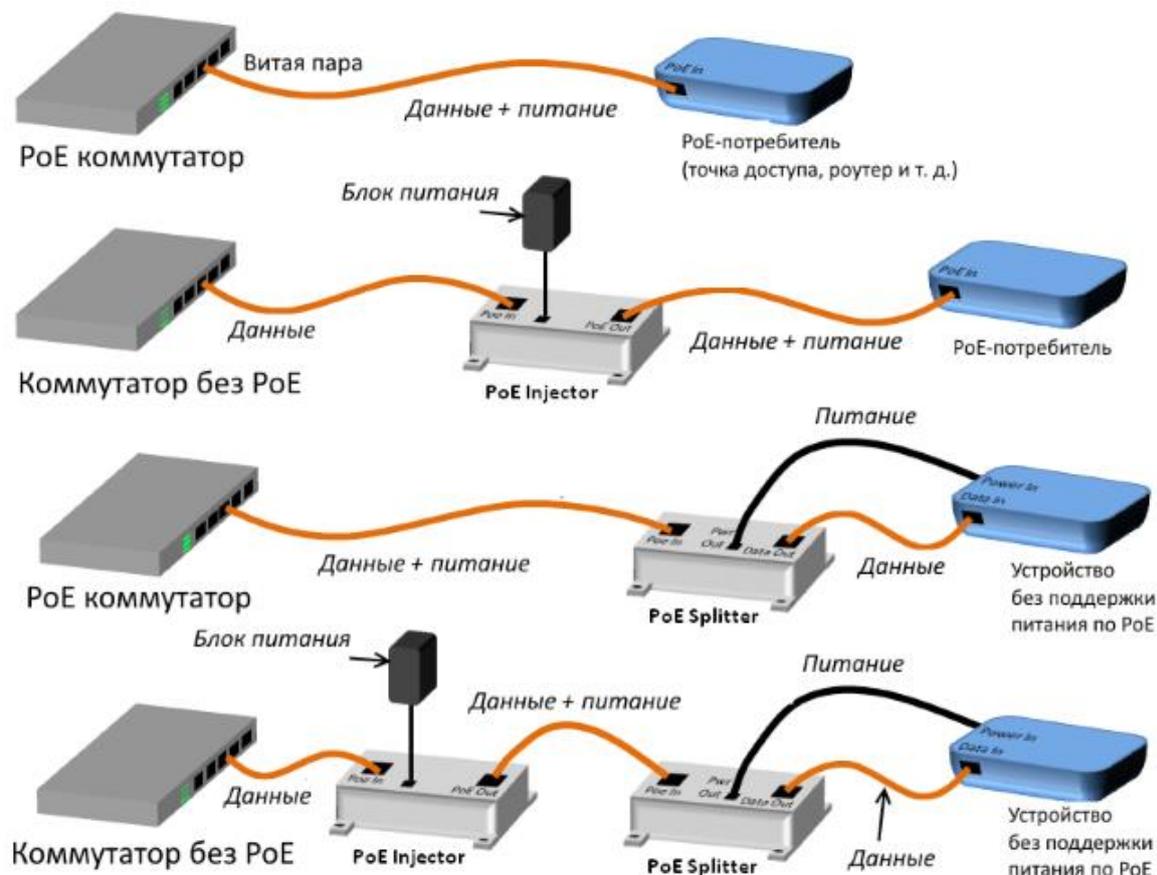


Рис. 1. Типы подключений оборудования по технологии PoE

Возможные состояния при взаимодействии PSE и PD Standard PoE:

- определение подключения (Detection) – первый этап взаимодействия PSE и PD, на котором определяется, является ли подключенное к PSE устройство питаемым (PD) и совместимым с PSE;
- классификация (Classification) – второй этап взаимодействия PSE и PD, на котором определяется класс мощности, потребляемой PD;
- подача полного напряжения (Startup) – третий этап, PSE контролирует потребляемый ток и входное сопротивление PD, при их соответствии происходит переход в рабочий режим;
- рабочий режим (Normal Operation) – PSE передает напряжение питания на PD, при этом контролирует потребляемый ток и входное сопротивление PD;
- отключение (Disconnection) – происходит, если PSE определяет, что PD отключено от кабеля, изменило свои параметры на недопустимые, или произошла перегрузка по току [2].

Рассмотрим причины, понижающие надежность. Среди них особое место занимают разъемы, например, часто применяемые RJ-45. Даже если исключить ошибки при монтаже, надежность существенно снижается в процессе эксплуатации из-за возможного окисления контактов. Герметичность корпуса не всегда спасает. Корпус может быть открыт, а затем закрыт при высокой температуре и влажности. При понижении температуры образуется конденсат, который не устраняется и вызывает коррозию. Целесообразно применять контакты, стойкие к окислению. Второй вопрос – наводки, особенно при воздействии грозового разряда. Для защиты применяются УЗИП (устройства защиты от импульсных перенапряжений) и правильное заземление. Более подробно можно ознакомиться в работах Санкт-Петербургской компании COVVENG [3, 4].

Несмотря на указанные сложности, дистанционное питание маломощных устройств 5G и IoT усиленно развивается. Появилась технология Power over HDBaseT (PoH), разработанная азиатскими компаниями, входящими в ассоциацию HDBaseT Alliance (Samsung, LG, Sony Pictures и Valens) и предназначенная для одновременной передачи сигналов Аудио/Видео, Ethernet, питания, данных и управления по кабелю HDBaseT (3 весия стандарта вышла в 2019 г.). Мощность питания дл 100 Вт, дистанция до 100 м, как и послкднего стандарта PoE.

Новое направление предложили английские инженеры, запатентовавшие в 2017 г. технологию Digital Electricity. Детали патента не раскрываются. Разработчики обещают передачу 2000 Вт на 2000 м по информационным проводам, говоря, что они в дополнение к постоянному и переменному току изобрели «цифровой ток». Энергия передается короткими последовательностями в форме меандра. Обещают защиту от короткого замыкания и поражения человека в течении 1 миллисекунды.

Список используемых источников

1. Аввакумов А. С., Виноградов П. Ю. Перспективы построения электропитания по технологии PoE в сетях 5G и в IoT // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 10–13.
2. Терентьев Д. Е. Заметки об (инжекторах) Power over Ethernet. Часть 1 // Первая миля. 2020. № 7–8. С. 68–73.
3. Терентьев Д. Е. Заметки об (инжекторах) Power over Ethernet. Часть 2 // Первая миля. 2021. № 1. С. 54–59.
4. Терентьев Д. Е. Заметки об (инжекторах) Power over Ethernet. Часть 3 // Первая миля. 2021. № 2. С. 48–54.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ БОРТОВЫХ АНТЕНН СИСТЕМ БПЛА

О. С. Воищев, П. А. Межевов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Системы беспилотных летательных аппаратов применяются в разных сферах деятельности и представляют собой перспективное направление развития. Одним из важнейших элементов БПЛА является бортовая антенна, к которой, в зависимости от класса беспилотника предъявляется свой ряд специфических требований. В настоящей работе проведен анализ разработанных антенн, в результате которого сделан вывод об актуальности различных конструктивных решений и типов антенн.

БПЛА, антенны

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приобрели огромную популярность и нашли свое применение во многих направлениях, таких как системы мониторинга, геологоразведка, картография и т. д. [1]. Бортовая антенна является важнейшим компонентом беспилотника. Для обеспечения стабильной связи и надежной работы в различных условиях антенна должна быть широкополосной, низкопрофильной и высокоэффективной.

Конструктивные особенности и класс беспилотника накладывают определенные ограничения на возможность использования некоторых типов антенн. В связи с этим наиболее популярными являются представители с малыми массогабаритными параметрами.

В работах [2–7] разработаны полосковые антенны, которые чаще всего используются в УВЧ-КВЧ диапазонах. К особенностям данных антенн

можно отнести простоту конструкции, высокую точность изготовления, наличие линейной или круговой поляризации. На рис. 1. представлены некоторые анализируемые полосковые антенны.

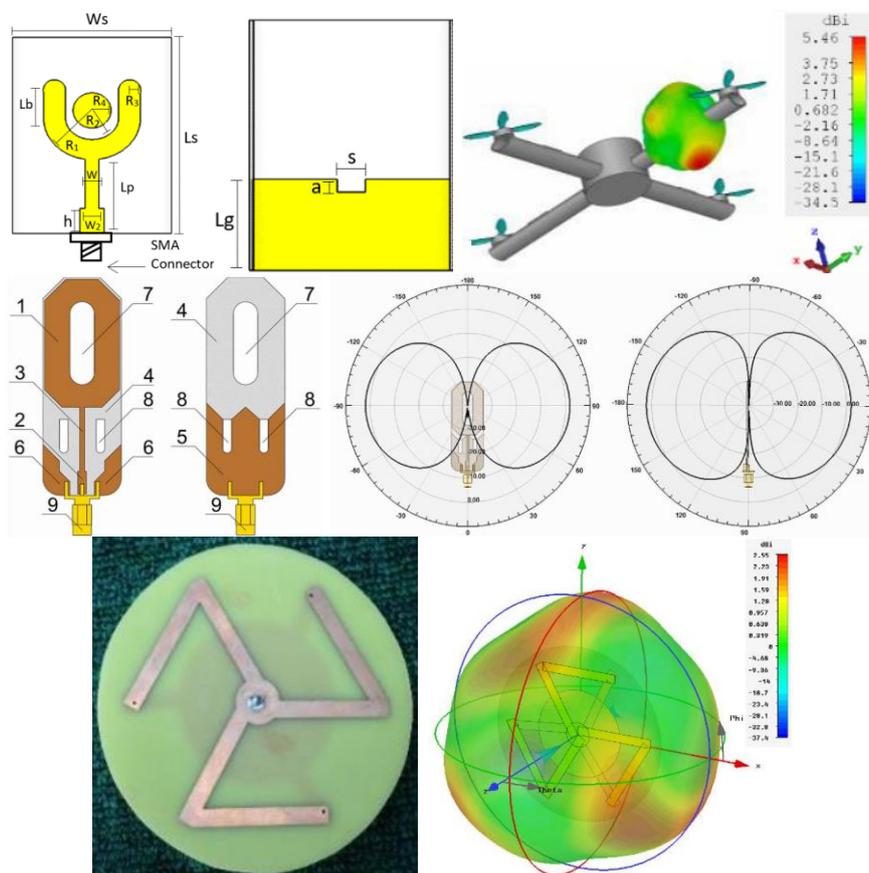


Рис. 1. Полосковые антенны [2], [4], [5.1], их внешний вид и ДН

В работах [7–11] разработаны вибраторные антенны, которые обрели широкое применение в диапазонах от НЧ до УВЧ. Особенности таких антенн являются малые массогабаритные параметры, простота конструкции, линейная поляризация излучения, всенаправленная ДН в азимутальной плоскости. На рис. 2. представлены некоторые анализируемые вибраторные антенны.

В [12] и [13] разработаны антенные решетки (АР), которые, по сравнению с одиночной антенной, обладают узкой ДН с возможностью управления формой и максимумом главного лепестка, и высоким коэффициентом усиления (КУ) благодаря сложению излучаемых полей отдельных излучателей [14]. На рис. 3. можно наблюдать некоторые анализируемые АР.

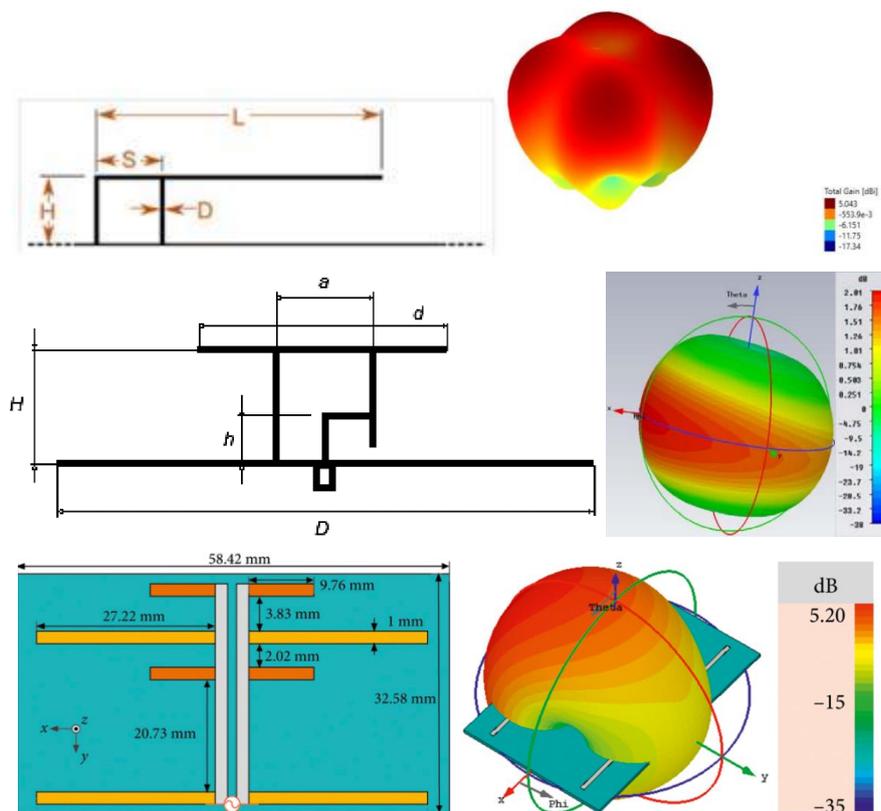


Рис. 2. Вибраторные антенны [6.1], [9], [11], их внешний вид и ДН

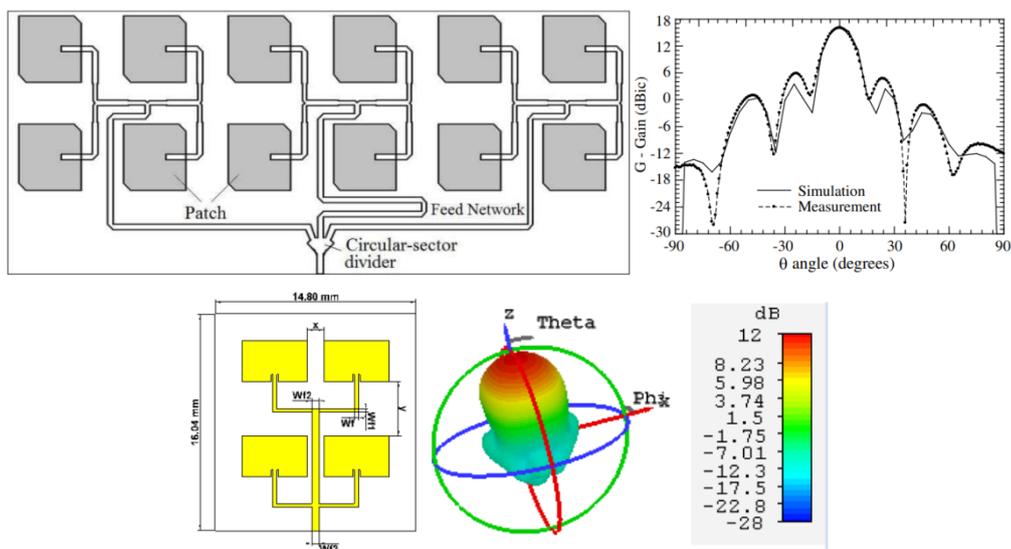


Рис. 3. Антенные решетки [12] и [13.2], их внешний вид и ДН

ТАБЛИЦА 1. Характеристики анализируемых антенн

Антенна	КУ, дБ	Рабочая ча- стога, ГГц	Размеры, мм	Масса, кг	Поляризация
[2]	5.46	2.9-10.1	39×28.1×10	-	Линейная
[3]	4.5	0.902-0.928	196×15×0.8	0.015	Линейная
[4]	2	1.6-2.8 3.2-3.8	63×22.5×1	0.01	Линейная
[5.1]	2.6	2.45	90×90×1.6	-	Круговая
	6.5	2.45	160×160×30	-	
[5.2]	2.1	2.45	90×90×1.6	-	
	6.3	2.45	160×160×30	-	
[6.1]	5	1.06	25.5×55.6×2.8	-	Линейная
[6.2]	2.86	1.06	10.1×55.6×0.8	-	
[7]	2	1-2	54×54×12	0.025	Линейная
[8]	3.7	0.03-0.3	230×230×114	1.35	Круговая
[9]	2	2-4	42×42×11	-	Линейная
[10]	7.67 5.99	0.85 1.3	127.3×200×12 7.4	-	Линейная
[11]	5.2 7.0	2.4 5.8	58.4×32.6×0.8	-	Линейная
[12]	16.07	1.27	810×325×3.2	2.47	Круговая
[13.1]	12 8.37	5.8 28	8.8×7×0.5	-	Круговая
[13.2]	12 12.8	5.83 28	14.8×16×0.5	-	
[13.3]	17.9	28	30.13×32×0.5	-	

Анализируя представленные в таблице 1 параметры, можно сделать несколько заключений: распространенными типами разрабатываемых антенн оказались вибраторные и полосковые, в основном с линейной поляризацией; большинство антенн обладают малыми массогабаритными параметрами, рабочей частотой в УВЧ и СВЧ диапазонах и низким КУ.

Из проведенной работы можно сделать вывод о массовом использовании ненаправленных антенн систем БПЛА, что ограничивает дальность связи. Разработка и использование АР с возможностью управлением максимума ДН во всей азимутальной плоскости позволит избавиться от основных недостатков ненаправленных антенн, однако это приведет к росту массогабаритных параметров бортового оборудования, что в свою очередь наложит ограничение на применения АР для некоторых классов БПЛА.

Список используемых источников

1. Федосеева Н. А., Загвоздкин М. В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов // Научный журнал, 2017. № 9 (22). С. 26–29.

2. Luz I. Balderas, Alberto Reyna, Marco A. Panduro, Carlos Del Rio, Arnulfo R. Gutiérrez Low-Profile Conformal UWB Antenna for UAV Applications // IEEE Access, 2019. V. 7. PP. 127486–127494. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2939511.
3. Xinhuan Yang, Yanzhu Qi, Bo Yuan, Yazi Cao, Gaofeng Wang A Miniaturized High-Gain Flexible Antenna for UAV Applications // International Journal of Antennas and Propagation. 2021. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/9919425> (дата обращения 18.03.24).
4. Евдокимов С. В., Шишкин М. С., Бадеха А. И., Лисовский Д. А., Барышников Е. С., Снигирев С. Д., Маталасов С. Ю. Двухдиапазонная компактная антенна для беспилотного летательного аппарата. Пат. 219304 Российская Федерация; заявитель и правообладатель Акционерное общество «ЭЙРБУРГ». №2023105033; заявл. 06.03.23; опубл. 11.07.23.
5. Safaron M. S., Majid H. A., B. Esmail A. F., Ab Ghafar A. S., Saparudin F. A., Ismail M. F., Abdullah M. A. Directional cloverleaf antenna for unmanned aerial vehicle (UAV) application // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2019. Vol. 14. №. 2. PP. 773–779.
6. Omid Sharifi-Tehrani, Alireza Sadeghi, Seyyed Mohammad Javad Razavi Design and Simulation of IFF/ATC Antenna for Unmanned Aerial Vehicle // Majlesi Journal of Mechatronic Systems, 2017. Vol. 6, №. 1. URL: <https://www.researchgate.net/publication/317637624> (дата обращения 18.03.24).
7. Антонов А. С., Антонов Ю. Г., Балландович С. В., Сугак М. И. Низкопрофильная антенна для БПЛА // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2013. № 6. С. 3–7.
8. Дымов И. А., Егоров В. Р., Кузовлев И. А. Широкополосная малогабаритная турникетная антенна круговой поляризации метрового диапазона для летательных аппаратов // Перспективы развития антенно-фидерных устройств летательных аппаратов: материалы I молодежной конф., Московская обл., 25 сен. 2013г., ОАО «НИИЭМ», 2013. С. 98–115.
9. Климентьев В.П. Малогабаритная антенна S-диапазона для беспилотных летательных аппаратов // Альманах современной науки и образования, 2017. № 6. С. 50–53.
10. Бобылкин И. С., Ищенко Е. А., Федеров С. М. Аэродинамически эффективная двухдиапазонная антенна-плавник // Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы: мат. всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 19 окт. 2023 г., издательско-полиграфический Центр «Научная книга», 2023. С. 252–255.
11. Hui Jin, Chong-Zhi Han, Yanzhi Fu, Huaiwen Yang. A Low-Profile Dual-Band Directional Antenna for Unmanned Aerial Vehicle Applications // International Journal of Antennas and Propagation, 2022. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/4765008> (дата обращения 18.03.24).
12. Yohandri, Wissan V., Firmansyah I., Rizki Akbar P., Sri Sumantyo J. T., Kuze H. Development of circularly polarized array antenna for synthetic aperture radar sensor installed on UAV // Progress in Electromagnetics Research C, 2011. Vol. 19. PP. 119–133 DOI: 10.2528/PIERC10121708.
13. Abu Zafar Md. Imran, Mohammad Lutful Hakim, Md. Razu Ahmed, Mohammad Tariqul Islam, Elias Hossain Design of microstrip patch antenna to deploy unmanned aerial vehicle as UE in 5G wireless network // International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2021. Vol. 11. № 5. PP. 4202–4213. DOI: 10.11591/ijece.v11i5.pp4202-4213.
14. Зырянов Ю. Т., Федюнин П. А., Белоусов О. А., Рябов А. В., Головченко Е. В., Антенны: учебное пособие. 2-е изд., СПб.: Издательство «Лань», 2016. 416 с. ISBN 978-5-81114-1968-5.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедры РОС СПбГУТ, кандидатом физико-математических наук, доцентом К. О. Коровиным.

УДК 621.396.7
ГРНТИ 10.19.61

ОЦЕНКА ЗАГРУЗКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО УЧАСТКА РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

В. А. Волостных, П. В. Воробьев, Ю. И. Стародубцев

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются вопросы оценки коротковолнового участка радиочастотного спектра для обеспечения связи. Установлено, что в связи с освоением высокочастотного диапазона интерес к использованию коротковолнового диапазона существенно снижен. В статье приводятся результаты краткого анализа Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и результаты натурных оценок загруженности коротковолнового диапазона радиочастотного спектра для Северо-Западного и Центрального регионов России.

загрузка радиочастотного спектра, использование радиочастотного спектра, коротковолновый диапазон, полосы радиочастот, радиочастотный спектр, средства связи, службы радиосвязи, сигналы радиоэлектронных средств

С момента изобретения в 1895 г. радио А.С. Поповым началось активное развитие и применение радиосвязи и радиовещания в различных сферах деятельности [1–3]. Очевидно, что при обеспечении радиосвязи используется радиочастотный спектр (РЧС). Под радиочастотным спектром понимается – упорядоченная совокупность радиочастот в установленных Международным союзом электросвязи пределах, которые могут быть использованы для функционирования радиоэлектронных средств или высокочастотных устройств [4, 5]. Известно, что освоение радиочастотного спектра (РЧС) шло поэтапно. Первоначально были освоены длинноволновый и средневолновый участки РЧС. С открытием особенностей распространения радиоволн коротковолнового (КВ) диапазона стали активно развиваться средства и системы коротковолновой связи и радиовещания [1, 2]. Особую роль средства коротковолновой связи сыграли в ходе Великой Отечественной войны. Связь от ставки Верховного Главнокомандования с объединениями, связь командования с разведчиками и партизанами была бы невозможна без коротковолновой радиосвязи [3]. В послевоенный период в СССР было организовано массовое производство радиоприемных устройств широкого назначения имеющих коротковолновый диапазон (например: «Рекорд-53», «Родина-52», «Беларусь-53», портативный радиоприемник «Спидола»), производились профессиональные радиовещательные радиоприемные устройства (например: «ПТС-47», «Казахстан», «Ишим» и

другие), разрабатывались и производились радиоприемные коротковолновые устройства военного назначения (например: «Крот», «КВ-М», «Р-250» и другие), строились радиовещательные станции, передающие и радиоприемные центры различного назначения [1–3]. К тому времени оказалось, что радиочастотный ресурс коротковолнового участка РЧС не бесконечен и в значительной степени перегружен. К настоящему времени для радиовещания во многих странах, в том числе и в России, массово используются радиоприемники УКВ (66–74 МГц) и FM (76–108 МГц) диапазонов. Практически в каждом городе России функционирует целая сеть радиовещательных станций, работающих в этих диапазонах [6].

К середине 70-х годов прошлого столетия коротковолновая радиосвязь в ряде структур была признана резервным видом связи. Одной из причин снижения интереса к КВ диапазону явилась перегруженность этого участка РЧС сигналами и помехами радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения. Но очевидно, что полный отказ от использования КВ диапазона невозможен, особенно для обеспечения связи для систем управления специального назначения [7].

Исходя из изложенного, для понимания возможности массового использования КВ диапазона была проведена оценка его загруженности сигналами РЭС различного назначения.

Оценка проводилась двумя способами.

Первый способ – путем анализа Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации (далее Таблица) и Регламента радиосвязи [5, 6].

Второй способ – путем наблюдения, авторами данной статьи, за уровнями сигналов РЭС, с использованием радиоприемных устройств с калиброванными средствами измерения.

Далее приведены основные результаты проведенного анализа. Поскольку известно, что к коротковолновому диапазону принято относить [5, 6] частоты от 3 до 30 МГц (длина волны 100–10 м), то анализ проводился именно для данного диапазона, хотя в некоторых источниках к коротковолновому диапазону относят радиочастоты от 1,5 МГц до 20 МГц.

Анализ полос частот, выделенных для различных радиослужб, был проведен на основе Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2019 г. № 1203 – 47 [6].

Исходя из отнесенного к коротковолновому (КВ) участку РЧС диапазон частот от 3 до 30 МГц, будем считать ширину его спектра равным 27 МГц. В использовании этого участка выделены две основные группы частот «СИ» – частоты совместного пользования и частоты, выделенные для кон-

кретных радиослужб. Из Таблицы видно, что к частотам СИ отнесены 9 полос шириной от 4 до 1 МГц, суммарной шириной 24 МГц, что составляет около 89 % коротковолнового РЧС.

Очевидно, что наиболее мощные сигналы (а в ряде случаев и помехи) создают передающие устройства радиовещательных станций. В Таблице приведены полосы частот, выделенные для радиовещания в Российской Федерации. Для радиовещательной службы в РЧС от 3,95 до 26,1 МГц отведено, практически, равномерно 11 участков шириной от 50 кГц до 700 кГц, при среднем значении участка 324 кГц. Суммарная полоса частот, выделенная для радиовещательной службы, составляет 3,57 МГц, что составляет около 13% коротковолнового участка РЧС. Однако из 3,57 МГц только 2,53 МГц выделены радиовещательной службе на приоритетной основе, что составляет 9,3% от всего КВ участка РЧС.

Некоторая часть РЧС КВ диапазона выделена службе любительской радиосвязи. Известно [2], что мощности любительских радиостанций в Российской Федерации строго регламентированы и только радиолюбители 1 категории имеют право на эксплуатацию передающих устройств мощностью до 1 кВт, но основная часть радиолюбителей эксплуатируют передающие устройства с выходной мощностью до 100 Вт. Однако при назначении частот (разработке радиоданных) необходимо учитывать интересы пользователей этой службы. Из Таблицы следует, что радиолюбительской радиослужбе в КВ участке РЧС выделено 8 полос частот шириной от 50 кГц до 1,7 МГц, при среднем значении ширины полосы 400 кГц.

Определенное место в Таблице отведено «службе стандартных частот и сигналов времени» службе радиосвязи, обеспечивающей передачу определенных частот и сигналов времени высокой точности, предназначенных для всеобщего приема в научных и технических целях. В интересах этой службы отведено 5 полос шириной 10 или 20 кГц суммарной шириной 80 кГц, что составляет лишь 0,02 % от коротковолновой части РЧС. Центральное значение полос частот 5, 10, 15, 20, 25 МГц известно каждому радисту.

Кроме выделения полос, в РЧС предусмотрено около 20 частот, предназначенных для передачи/приема сигналов бедствия. Безусловно, что при планировании радиосвязи данные частоты не должны включаться в радиоданные других служб.

В ходе оценки загруженности КВ диапазона сигналами РЭС были проведены натурные наблюдения.

Наблюдения проводились в городской черте г. Санкт-Петербурга и в его пригороде на удалении около 40 км, а также в Тамбовской обл. Для приема сигналов РЭС любого назначения использовались войсковой лампы супергетеродин с двойным преобразованием частоты Р-309, приемная часть радиолюбительского трансивера IC-746 PRO (краткие ТТХ: диапазон частот

30 кГц – 30 МГц; минимальный шаг перестройки частоты 10 Гц; чувствительность 0,6 -3 мкВ) и портативный бытовой радиоприемник XHDATA D-808 (краткие ТТХ: диапазон коротких волн 1,711 – 29,999 МГц; минимальный шаг перестройки частоты – 1 кГц; имеется режим автосканирования; чувствительность 0,8 – 5 мкВ). Статистические данные по анализу использования средств КВ радиосвязи, используемых радиолюбителями, позволили выявить устойчивую тенденцию роста средств, построенных по SDR технологии. При этом растет число средств, работающих в не традиционных режимах. В ходе наблюдений использовались слабонаправленные антенны типа наклонный луч (5 – 40 м) и штыревые антенны (от 0,5 – до 10 м), что позволяет более точно оценить уровень помех.

Наблюдения проводились как в летний, так и в зимний периоды 2022–2023 гг. в утреннее, дневное и вечернее время. Сила сигналов оценивалась на слух, а также по встроенному индикатору (IC-746 PRO). Полоса пропускания радиоприемных устройств была установлена около 3 кГц. Несмотря на то, что годы наблюдений не относятся к периоду минимума солнечной активности, авторы отметили низкую загруженность (10–25%) наблюдаемого диапазона частот. В предположении, что наблюдения ведутся некорректно, анализировались сигналы в диапазонах радиолюбительской службы. Анализ показал, что сигналы радиолюбительских станций, несмотря на их небольшую мощность и удаленность от точки наблюдения (по позывным было видно, что РЭС принадлежат радиолюбителям Дальнего Востока, Сибири, юга России, западной Европы) принимались с уровнем, достаточным для их восприятия. Сигналы РЭС профессиональной связи наблюдались достаточно редко.

Сравнивая наблюдаемую загрузку КВ диапазона, с загрузкой его части от 3,5 – до 15,5 МГц (КВ диапазоны радиовещательных и самодельных радиоприемников) в 1964 – 1978 годах, авторы отмечают существенное снижение интенсивности его использования, в т. ч. и радиовещания. По результатам наблюдений определено, что в различное время суток более 70 % РЧС КВ диапазона свободно от сигналов, которые могли бы стать мешающими при обеспечении связи. Однако при этом необходимо учитывать, что из всего КВ диапазона РЧС для ведения дальней радиосвязи применимы полосы шириной 2–8 МГц, т. е. разница между максимально применимой частотой и наименьшей применимой частотой для данной радиотрассы и заданных параметров средств радиосвязи [8–11].

На основе проведенного анализа авторами выработаны следующие выводы и предложения.

1. Распространение радиоволн в коротковолновом участке РЧС имеет целый ряд существенных достоинств, в следствие чего КВ диапазон позволит обеспечение связи в чрезвычайных условиях.

2. Коротковолновый диапазон РЧС обладает значительным частотным ресурсом и позволяет обеспечить функционирование значительного количества РЭС различного назначения.

3. При переводе средств радиосвязи и радиовещания на цифровые режимы частотная емкость КВ диапазона увеличится [12].

4. Зафиксирован рост числа личных радиостанций, управляемых дистанционно по сети Internet.

5. Зафиксирован рост количества и интенсивности магнитных бурь, но оценка их влияния на КВ радиосвязь, требует дальнейшего изучения.

6. Регламент радиосвязи, вступивший в силу в Российской Федерации с 2017 года и Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации, утвержденная в 2019 году, являются основополагающими документами по использованию радиочастотного спектра, подлежат изучению специалистами радиосвязи и неукоснительному исполнению лицами, уполномоченными на использование радиочастотного спектра.

Список используемых источников

1. Борисова Н. А., Марченков В. К., Орлов В. В. и др. История радиосвязи в экспозиции Центрального музея связи имени А.С. Попова: каталог. СПб.: Центральный музей связи имени А.С. Попова, 2008. 188 с.

2. Заморока А. Н. Основы любительской радиосвязи. Справочное пособие для начинающих радиолюбителей-коротковолновиков. 8-е изд., перераб. и доп. М.: «Издание книг ком», 2020. 402 с.

3. История военной связи. Том 3 / Под общ. ред. А.И. Белова М.: ВИ, 1989. 319 с. ил.

4. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи».

5. Регламент радиосвязи Российской Федерации. М.: 2016, 2238 с.

6. Постановление Правительства РФ от 18 сентября 2019 г. N 1203-47 «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации (с изменениями и дополнениями)».

7. Комарович В. Ф., Романенко В. Г. КВ радиосвязь. Состояние и перспективы развития // Зарубежная радиоэлектроника, 1990. № 12. С. 3–16.

8. Бузов А. Л., Быховский М. А., Васехо Н. В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость. Учебн. пособие / Под ред. д. т. н., проф. М. А. Быховского. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.

9. Харченко И. П. 13 лекций по регулированию и мониторингу использования радиочастотного ресурса / И.П. Харченко. СПб.: Линк, 2008.

10. Виноградов Б. А., Левчук П. Ф. Радиочастотная служба и антенны военных радиостанций ВАС, 1977, 309 с.

11. Ерохин Г. А., Чернышев О.В., Козырев Н. Д. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для вузов / под. ред. Г.А. Ерохина. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 491 с.

12. Варламов О. В. Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации: дис. д-ра техн. наук: 05.12.04 / Варламов Олег Витальевич. М., 2017. 345 с.

УДК 621.396.7
ГРНТИ 47.49

МОНИТОРИНГ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН

В. А. Волостных, П. А. Воробьев, Д. Ф. Ткачев

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности использования коротковолнового диапазона волн путем мониторинга радиочастотного спектра и использования результатов анализа мониторинга. Рассмотрен краткий анализ условий обеспечения радиосвязи. Приведен опыт функционирования системы радиомаяков и постов частотно-диспетчерской службы на узлах связи. Предложены пути совершенствования мониторинга радиочастотного спектра. Статья может быть полезна специалистам подразделений обеспечения магистральной радиосвязи и подразделений контроля за использованием радиочастотного спектра, а также студентам и аспирантам.

радиоконтроль, радиочастотный спектр, коротковолновый диапазон, земная волна, ионосферная волна, полосы радиочастот, радиослужбы, использование радиочастотного спектра, радиоэлектронное средство, радиомониторинг, сигналы точного времени, сигналы радиовещательных станций

Радиосвязь является важнейшей, а во многих случаях и единственным видом связи, посредством которой, можно обеспечить управление войсками, силами и средствами в самой сложной обстановке, при действиях в зонах чрезвычайной ситуации, в морских походах и при нахождении начальников, командиров в движении [1]. Потеря связи ведет к потере управления [1]. Очевидно, что в настоящее время системы связи бурно развиваются. Широкое распространение получили системы волоконно-оптической связи, позволяющие обеспечивать передачу большого объема информации по относительно защищенным линиям связи. Функционируют системы релейно-тропосферной и космической связи, подвижной ультракоротковолновой связи, сотовой связи. Перечисленные системы связи имеют множество достоинств, основаны на использовании радиочастотного спектра (РЧС) в верхней его части. Вследствие развития перечисленных систем к радиосвязи в коротковолновом диапазоне волн интерес несколько утрачен, радиосвязь признана резервным видом связи, опыт специалистов радиосвязи утрачивается [2, 3]. Однако радиосвязь не утратила своего значения. Радиосвязь используется для обеспечения связи с подвижными объектами (в том числе находящимися в море), с объектами, находящимися

в труднодоступной местности, для обеспечения связи в чрезвычайных ситуациях, когда все остальные средства связи каким-либо образом выведены из строя, а также для передачи сигналов оповещения и т. п.

Радиосвязь в коротковолновом диапазоне волн может осуществляться как земной, так и ионосферной волной. Наибольшее значение имеет радиосвязь ионосферной волной, так как этот вид распространения радиоволн позволяет обеспечивать связь на значительные расстояния. Для обеспечения радиосвязи на значительные расстояния (до 4 тыс. км., односкачковые радиолинии и до 7–8 тыс. км. двухскачковые) создаются магистральные радиолинии, представляющие совокупность приемо-передающих радиостанций с антенными устройствами и трассы распространения радиоволн. Трасса распространения ионосферной волной может быть односкачковая протяженностью до 3–4 тыс. км и двухскачковая протяженностью до 7–8 тыс. км. [2].

Обеспечение коротковолновой магистральной радиосвязи является сложной задачей, что вызвано целым рядом случайных (точнее трудно предсказуемых) событий.

В условиях изменения свойств ионосферы, изменения свойств подстилающей местности, вызванные погодными условиями, солнечной активностью, изменяются условия прохождения радиоволн на радиолиниях большой протяженности (магистральные радиолинии). Известно, что целый ряд организаций мира и в том числе России ведут исследования солнечной активности, исследования погодных условий на основе чего делаются прогнозы распространения радиоволн для различных радиолиний [4].

В минувшие времена должностным лицам, планирующим и обеспечивающим радиосвязь, выдавались месячные прогнозы прохождения радиоволн для основных радиолиний. В этих прогнозах для каждого часа суток выдавались усредненные данные о максимально-применимой частоте (МПЧ) и наименьшей применимой частоте (НПЧ) для мощности передатчика 5 кВт и 25 кВт. На основе этих прогнозов специалисты подбирали рабочие частоты для обеспечения радиосвязи. В ряде случаев на двухскачковых радиолиниях (например, Хабаровск – Москва) в некоторые часы МПЧ была ниже НПЧ, и специалисты радиосвязи организовывали работу радиолинии через радиоцентры-ретрансляторы в г. Чите или в г. Новосибирске (примеры приведены на основе личного опыта одного из авторов, который, будучи начальником радиостанции большой мощности Р135р, регулярно проводил сеансы радиосвязи на радиолиниях от г. Хабаровска).

Однако, поскольку прогнозы были сделаны на месяц и не учитывали ионосферных возмущений (например, таких как геомагнитные бури и т.п.), то на крупных узлах связи или радиоцентрах были организованы и функционировали посты частотно-диспетчерской службы (ЧДС), которые система-

тически вели наблюдения за прохождением радиоволн на различных частотах по так называемым маякам. Маяки (радиомаяки) – это радиопередатчики мощностью 1кВт, а некоторые 5 кВт, которые работали на ненаправленные антенны на установленных радиочастотах и в телеграфном режиме (CW) азбукой Морзе со скоростью около 12 групп/минуту передавали букву, обозначающую местоположение данного маяка (идентификатор). Районы размещения основных маяков и соответствующие им буквы, передававшиеся этими маяками приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Районы размещения маяков и буквы, передаваемые ими

№ п/п	Населенный пункт	Буква, передаваемая маяком (идентификатор)
1	Астрахань	А
2	Москва	Ц
3	Севастополь	Д
4	Владивосток	Ф
5	Петропавловск Камчатский	К
6	Магадан	М
7	Ижевск	Р
8	Архангельск	С
9	Мурманск	У

Группа радиомаяков с однобуквенными идентификаторами передавали идентификаторы на частотах 3594, 4558, 5154, 7039, 8495, 10872, 13528, 16332 и 20048 кГц. Эти маяки часто называли «кассетные маяками» т. к. они передавали сигналы параллельно на частотах, разделенных только на 0,1 кГц друг от друга [5].

Специалисты ЧДС, прослушивая сигналы маяков на приведенных выше частотах, и определяли участки радиочастотного спектра, наиболее пригодные для ведения радиосвязи для конкретной радиолинии.

В настоящее время ряд работавших ранее маяков не работает. Однако в качестве маяков радиоспециалистами могут быть использованы сигналы радиопередатчиков сигналов точного времени или радиовещательных станций.

Можно предполагать, что систематическое наблюдение за сигналами радиостанций или передатчиков позволит осуществлять прогноз прохождения радиоволн в данном регионе или на конкретных радиолиниях.

Очевидно, что этот процесс можно автоматизировать, используя для приема сигналов, автоматически перестраиваемые по программе радиоприемные устройства, а идентификацию сигнала и его уровень можно осуществлять в автоматическом режиме посредством СВТ и специализированного программного обеспечения [6].

Данные пункты радиомониторинга могут быть оборудованы и функционировать на приемных радиостанциях для прогнозирования прохождения радиоволн на короткую перспективу. В учебных заведениях связи (телекоммуникаций) такие пункты могут быть оборудованы в научных и учебных целях для подготовки специалистов радиосвязи.

В мировой практике подобная система радиомаяков функционирует и активно используется радиолюбителями всех стран мира, но эти маяки излучают сигналы на частотах, отведенных для радиолюбительских радиостанций [7].

Выводы и предложения

1. При нахождении объекта управления на просторах мирового океана, а также в чрезвычайных ситуациях, когда объект управления находится на существенном удалении, коротковолновая радиосвязь может оказаться единственным средством связи и поэтому подразделения связи должны быть готовы к ее обеспечению на высоком уровне.

2. Наиболее сложные условия обеспечения радиосвязи возникают в годы минимума солнечной активности, при ионосферных возмущениях на магистральных радиопутьях таких как: Москва – Хабаровск, Хабаровск – Анадырь, Владивосток – Гавана и т.п.

3. Развитие систем связи, внедрение адаптивных (когнитивных) средств радиосвязи ведет к некоторой потере опыта у специалистов радиосвязи узлов связи различного назначения. Посты частотно-диспетчерской службы на ряде радиостанций не функционируют.

4. Представляется целесообразным систематически проводить тренировки специалистов магистральных радиопутьев по обеспечению радиосвязи в сложных геомагнитных условиях.

5. Представляется целесообразным систематически проводить наблюдения за прохождением радиоволн коротковолнового диапазона на основных радиопутьях, осуществлять анализ результатов наблюдений и по результатам анализа вносить коррективы в систему разработки радиоданных.

6. Изложенные предложения могут быть реализованы при создании системы мониторинга коротковолнового участка радиочастотного спектра. Основой системы мониторинга могут быть теоретические труды ученых, система радиомаяков, пункты радиоконтроля, посты частотно-диспетчерской службы и научно-исследовательские лаборатории образовательных учреждений связи.

7. Можно полагать целесообразным введение темы «Основы частотно-диспетчерской службы, радиомониторинг...» в программы подготовки специалистов радиосвязи младшего и среднего звена [7].

Список используемых источников

1. История военной связи. Том 3. / Под общ. ред. А. И. Белова М.: ВИ, 1989. 319 с.
2. Ерохин Г. А., Чернышев О. В., Козырев Н. Д. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для вузов / под. ред. Г. А. Ерохина. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 491 с.
3. Бузов А. Л., Быховский М. А., Васехо Н. В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость. Учебн. пособие / Под ред. д.т.н., проф. М. А. Быховского. М.: Эко-Трэндз, 2006. 376 с.
4. Харченко И. П. 13 лекций по регулированию и мониторингу использования радиочастотного ресурса / И.П. Харченко. СПб.: Линк, 2008.
5. Виноградов Б. А., Левчук П. Ф. Радиочастотная служба и антенны военных радиостанций – ВАС, 1977, 309 с.
6. Липатников В. А. Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография / В. А. Липатников О. В. Царик; СПб.: ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. 608 с.
7. Заморока А. Н. Основы любительской радиосвязи. Справочное пособие для начинающих радиолюбителей-коротковолновиков. 8-е изд., перераб. и доп. М.: «Издание книг ком», 202 с.

УДК 621.396.7
ГРНТИ 10.19.61

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ БУРЬ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН КРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

В. А. Волостных, Ю. И. Стародубцев, Д. Ф. Ткачев

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются вопросы влияния магнитных бурь на обеспечение радиосвязи в коротковолновом диапазоне. Проведен краткий анализ условий обеспечения радиосвязи. Рассмотрены условия распространения радиоволн ионосферной волной. Проведен анализ прогнозов магнитных бурь в 2023–2024 годах. Учтены выводы ряда научных работ, посвященных влиянию магнитных бурь на распространение радиоволн. Изложены результаты наблюдений за распространением радиоволн в коротковолновом диапазоне.

геомагнитная буря, ионосферная волна, коротковолновый диапазон радиоволн, магнитная буря, наблюдения за распространением радиоволн, обеспечение радиосвязи, радиосвязь, радиостанции, радиочастотный спектр

В 2023 году в сети «Интернет» стали появляться сообщения о существенном увеличении количества магнитных бурь и их влиянии на здоровье населения.

Очевидно, что в настоящее время КВ диапазон используется и для передачи информации, и для радиовещания в очень ограниченных масштабах, что вызвано широким использованием систем телекоммуникаций, основанных на применении проводных и оптоволоконных линий, линий спутниковой, радиорелейной и тропосферной связи. Но тем не менее, для связи на значительные расстояния, для связи с подвижными объектами, коротковолновая связь применяется, а также, является резервным видом связи и по оценкам специалистов значимость ее для обеспечения управления в кризисных ситуациях не уменьшится [1].

Известно, что радиоволны коротковолнового диапазона (3–30 МГц) являются поверхностной и пространственной волной. Поверхностные волны КВ диапазона имеют небольшую дальность действия. При мощности передатчика 100–200 Вт в диапазоне 3–5 МГц можно рассчитывать на ведение радиосвязи до 100 км, а при переходе в диапазон 25–30 МГц дальность связи может уменьшиться до 15–20 км [2, 3].

Известно, что обеспечение радиосвязи на большие расстояния (более 300 км) коротковолновая радиосвязь осуществляется посредством пространственной волны с отражением радиоволн от различных слоев ионосферы (F или F1 и F2). При обеспечении радиосвязи на расстояния более

3 тыс. км. радиотрасса может быть двухскачковая [2–4] с отражением радиоволны от ионосферы, от земли и от ионосферы достигая антенных устройств корреспондента радиолинии. Установлено, что наличие радиосвязи и ее качество существенным образом зависит от состояния ионосферы, а также от поверхности подстилающей местности. Тем не менее, к обеспечению радиосвязи предъявляются достаточно жесткие требования. Так, магистральная односкачковая радиолиния должна функционировать с коэффициентом исправного действия (КИД) не хуже 0,86, т. е. при сеансе радиосвязи продолжительностью 6 часов перерыв в передаче информации не должен превышать 36 минут, включая время вхождения в связь, время на перестройку частот и др.

Исследования показали, что уровень сигнала в точке приема существенным образом зависит от отражающих свойств ионосферы, т.е. от высоты отражающего слоя и его плотности, которые определяются многими факторами и в основном солнечной активностью. Известно, что изменение солнечной активности ведет к изменению структуры ионосферы и ее характеристик. Эти изменения иногда называют возмущениями, которые могут быть сезонными, т.е. в какой-то степени прогнозируемыми и могут быть внезапными, одним из проявлений которой могут быть ионосферные бури, которые вызваны магнитными (геомагнитными) бурями [4].

Вопросам влияния магнитных бурь и других аномальных явлений на распространение радиоволн в КВ участке радиочастотного спектра посвящен ряд работ [5–8]. Из материалов этих исследований следует, что магнитные бури могут оказывать существенное влияние на работу систем электро-связи, но в большей степени на состояние ионосферы и, следовательно, на обеспечение магистральной КВ радиосвязи.

Основные выводы из материалов [5–8] изложены далее.

Во время магнитных бурь применимый для конкретной радиотрассы диапазон частот $\Delta F_{\text{прим.}} = F_{\text{мпч}} - F_{\text{нпч}}$ расширяется перед бурей в течение нескольких часов, за короткое время сужается во время бури и снова расширяется в течение нескольких часов после ее окончания.

Вариации МНЧ при отражении сигналов от F2 слоя представляют наложение главных эффектов отдельных суббурь, из которых состоит магнитная буря.

Два основных явления – рост ионизации в слое F за время несколько часов перед началом и резкий рост риометрического поглощения в начале развития активной фазы бури могут служить прогностическими предвестниками активной фазы бури.

На трансавроральной радиолинии полное время выхода радиолинии из строя (интервал срыва связи) зависит от местного времени.

Во время возмущений днем радиолинии выходят из строя чаще, чем ночью.

На основе анализа большого статистического материала определены особенности прохождения радиосигналов на реальных КВ-линиях связи в авроральной зоне. В спокойных условиях, надежность связи низка из-за влияния главного ионосферного провала. Для слабой и умеренной геомагнитной активности надежность высока.

При сильной активности (бури, суббури) надежность связи становится низкой из-за аврорального поглощения.

Качество передачи информации по КВ радиоканалам в авроральной зоне в основном зависит от геофизических факторов воздействия, но не от направления или протяженности радиотрассы.

По данным вертикального и наклонного зондирования, полученным в Северо-Восточном регионе России, исследованы условия распространения радиоволн во время слабых геомагнитных бурь, наблюдавшихся в осенний период 2018–2020 гг. в минимуме солнечной активности. Обнаружено, что даже во время слабых бурь уменьшение максимальных наблюдаемых частот в дневные часы достигало 25–35 %, а ночью – 40–50 %. Вариации параметров распространения КВ-радиоволн во время возмущений зависят от пространственно-временной динамики крупномасштабных структур высокоширотной ионосферы, которая в свою очередь определяется процессами магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

Геомагнитные бури имеют несимметричный по времени характер развития: в среднем фаза нарастания возмущения (главная фаза бури) составляет около 7 часов, а фаза возвращения к исходному состоянию (фаза восстановления) – около 3 суток.

Несмотря на развитие новых средств телекоммуникаций, современные КВ-системы играют важную роль, в том числе и в высокоширотных областях по своим основным параметрам они могут конкурировать со спутниковыми связными системами, при этом являясь значительно дешевле последних.

В целях дальнейшего изучения влияния геомагнитных бурь на распространение радиоволн КВ диапазона и возможности его прогнозирования, авторами статьи были проведены наблюдения за распространением радиоволн при возникновении магнитных бурь. Наблюдения проводились с декабря 2023 года по февраль 2024 года. Этот период, согласно 11 летнему циклу солнечной активности, относится к периоду 85 % от максимального значения.

В период наблюдений по прогнозам [9] должно быть и состоялось 18 магнитных бурь с уровнем 5 – 7 по 8 уровневой шкале. Продолжительность магнитных бурь, как отмечается в исследованиях [5], как правило, составляет около 3-х часов. В основном это вечерние часы. Данные о интенсивности магнитных бурь в период наблюдения приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Характеристика интенсивности магнитных бурь в период с декабря 2023 г. до февраля 2024 г. по 8 уровневой шкале в трехчасовом измерении

уровень/ период	Количество магнитных бурь по уровням их интенсивности, ед.						
	1	2	3	4	5	6	7
в декабре 2023 г.	56	108	51	21	8	1	1
в январе 2024 г.	84	84	58	13	6	2	0
в феврале 2024 г.	57	143	32	0	0	0	0
за трехмесячный период	197	335	141	34	14	3	1
процентное соотношение за 3 мес.	27 %	46 %	19 %	5 %	2 %	0,5 %	0,1 %

Из таблицы следует, что более 97 % времени уровень силы магнитной бури незначителен и распространение радиоволн КВ диапазона не подвержено влиянию ионосферных возмущений, но в течение 2,6 % времени проведения сеансов радиосвязи будет аномальное распространение радиоволн.

В целях дальнейшего изучения влияния магнитных бурь на распространения радиоволн, авторами статьи проведен ряд практических наблюдений.

Наблюдения за особенностями распространения радиоволн КВ диапазона проводились на основе приема радиосигналов радиоловительских станций [4, 10] в г. Санкт-Петербурге и в малонаселенной местности на удалении 40 км от города (для исключения влияния промышленных радиопомех).

Наблюдения проводились в 8 участках КВ диапазона, выделенных для радиоловителей [11]: 3,5–3,8; 7,0–7,2; 10,1–10,15; 14,0–14,35; 18,068–18,168; 21,0–21,45; 24,89–24,99; 28,0–29,7 МГц, т.е. радиочастотный спектр КВ диапазона был охвачен полностью (85–10,1 м). Наблюдения велись за любительскими радиостанциями России и зарубежных государств, работающими в телефонном (SSB) и телеграфном (CW) режимах.

В ходе наблюдений изучался прогноз магнитных бурь и период времени близкий к значениям уровня магнитных бурь от 5 до 7 на радиоловительских диапазонах прослушивались сигналы радиоловительских станций и по позывным радиостанций [10], а также по рапортам радиоловителей (по кодовому сокращению – QTH) определялось местонахождение радиостанции.

В ходе наблюдений установлено следующее.

В период, предшествующий пику магнитной бури, были зафиксированы сигналы радиостанций, находящихся в обычных условиях в «мертвой зоне».

Выводы

Несмотря на значительное количество материалов, посвященных исследованию влияния магнитных бурь на распространение радиоволн КВ диапазона, в связи с малопредсказуемостью солнечной активности можно считать целесообразным продолжение исследований в данном направлении.

Специалистам, планирующим и обеспечивающим радиосвязь на магистральных радиопропускных линиях необходимо знать особенности распространения радиоволн при ионосферных возмущениях, вызванных геомагнитными бурями.

Целесообразно при подготовке специалистов радиосвязи в учебном процессе ознакомить обучающихся с проблемами обеспечения радиосвязи в ходе геомагнитных аномалий.

Список используемых источников

1. Комарович В. Ф. КВ радиосвязь. Состояние и перспективы развития. / В.Ф. Комарович, В.Г. Романенко // Зарубежная радиоэлектроника. 1990. № 12. С. 3–16.
2. Ерохин Г. А., Чернышев О. В., Козырев Н. Д и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: Учебник для вузов / под. ред. Г.А. Ерохина. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 491 с.
3. Виноградов Б. А., Левчук П. Ф. Радиочастотная служба и антенны военных радиостанций – ВАС, 1977, 309 с.
4. Ротхаммель К., Кришке А. Антенны. Том 1.: Пер. с нем. – Мн: ОМО «Наш город», 2001. 416 с.
5. Котова Д. С., Клименко В. В., Клименко М. В., Захаров В. Е. Численное моделирование влияния геомагнитной бури 2 – 3 мая 2010 года на распространение коротких радиоволн в ионосфере / Известия вузов. Радиофизика, 2014. № 7, 520–530 стр.
6. Благовещенский Д. В., Сергеева М. А., Воздействие магнитных бурь на нижнюю ионосферу в авроральной зоне. / Солнечно-земная физика, 2015. Том 1 №3, 3–10 стр.
7. Куркин В. И., Полех Е. М., Золотухина Н. А. Влияние слабых магнитных бурь на характеристики распространения КВ-радиоволн / Геомагнетизм и аэронавигация, 2022, том 62 № 2, 245–256 с.
8. Сергеева М. С. Анализ, оценка и прогноз состояния канала распространения коротких радиоволн в высоких широтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05 13 01 / Сергеева Мария Александровна. СПб., 2007. 22 с.
9. <https://www.gismeteo.ru/weather-sankt-peterburg-4079/gm/>
10. Вербицкий Л. И., Вербицкий М. Л. Настольная книга радиолюбителя-коротковолновика. СПб.: Наука и Техника, 2012. 400 с.
11. Постановление Правительства РФ от 18 сентября 2019 г. N 1203-47 №Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации (с изменениями и дополнениями)».

УДК 004.715
ГРНТИ 49.37.31**ОБЗОР ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА
DIONIS-NX****О. В. Воробьев, А. В. Дубаков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современных реалиях остро стоит вопрос обеспечения предприятий качественным сетевым оборудованием отечественного производства. В данной статье рассматривается сертифицированный программно-аппаратный комплекс, на базе которого может быть построена защищенная мультисервисная сеть. Проанализированы ключевые параметры, массогабаритные характеристики, а также экономическая целесообразность, которые играют немаловажную роль при разработке отечественных проектов. Отдельно рассмотрена возможность работы данного комплекса с беспроводными технологиями.

программно-аппаратный комплекс, межсетевой экран, маршрутизация, защищенная сеть, Wi-Fi

В сети Интернет всегда был актуален вопрос обеспечения безопасности передачи информации – с момента ее появления и до наших дней. Несмотря на огромные достижения в области информационной безопасности, всегда существует риск частичного повреждения или полной утраты передаваемых данных. И для сведения к минимуму таких рисков существуют различные комплексы средств безопасности, причем отечественного производства. Одному из таких аппаратов и посвящена данная статья.

Программно-аппаратный комплекс *Dionis-NX* является программно-техническим средством защиты от несанкционированного доступа к информации, реализующим функции межсетевого экрана, системы обнаружения вторжений уровня сети и криптографической защиты информации. Он предназначен для размещения на физической границе информационной системы (локальной сети) организации или между физическими границами сегментов информационной системы.

Под межсетевым экраном понимается следующее: это компонент сетевой инфраструктуры, который контролирует входящий и исходящий сетевой трафик на основе заданных правил безопасности [1]. Межсетевой экран устанавливает барьер между доверенной сетью и недоверенной, такой как Интернет.

Система обнаружения вторжений представляет собой средства, реализующие функции автоматизированного обнаружения действий, направленных на преднамеренный несанкционированный доступ к информации [2].

Криптографическая защита информации – процесс использования криптографических методов и алгоритмов для обеспечения конфиденциальности, целостности, аутентификации и доступности данных. Он используется для защиты информации от несанкционированного доступа, изменений и других видов киберугроз.

Конструктивно программно-аппаратный комплекс представляет собой модуль, размерами Ш x В x Г (мм): 438 x 44 x 580 и массой 16 килограмм, что позволяет установить его в стандартную 19” стойку. Имеет два блока питания от сети переменного тока 220 В, в случае выхода из строя одного из блоков, *Dionis* продолжит функционировать в полном объеме. Для подключения других узлов на передней панели расположены 16 разъемов *Gigabit Ethernet RJ45* и 8 разъемов *Gigabit Ethernet SFP*. Для работы периферийных устройств и flash-накопителей предусмотрены 2 *USB* порта. Аппаратно управление осуществляется удаленно через консольный порт, который показан на рисунке 1. Программно в качестве основной системы управления используется интерфейс командной строки.



Рис. 1. Внешний вид *Dionis-NX* и схема расположения консольного порта

Отличительной особенностью данного комплекса является наличие сертификатов ФСТЭК, ФСБ РФ и МО РФ. Кроме того, он соответствует следующим документам:

- 1) «Требования к межсетевым экранам»;
- 2) «Профиль защиты межсетевых экранов типа «А» второго класса защиты»;
- 3) «Требования к системам обнаружения вторжений»;
- 4) «Профиль защиты систем обнаружения вторжений уровня сети второго класса защиты».

В части, касающейся основных параметров *Dionis-NX*, необходимо отметить следующие функции маршрутизации:

- статическая маршрутизация *TCP/IP* (*v4* и *v6*) с метриками и автоматической активацией/деактивацией маршрута в зависимости от состояния интерфейса (*link-detect*);
- расширенная статическая маршрутизация *IPv4/IPv6*;
- динамическая маршрутизация по протоколам: *IGP*, *OSPFv3*, *LDP*;
- многопротокольная коммутация по меткам (*MPLS*);
- многоадресная рассылка (*multicast*);

- преобразование сетевых адресов: *SNAT*, *DNAT*, *MASQUARADE* для протокола *IPv4*;
- поддержка технологии «качество обслуживания» (*QoS*) [3].

Помимо вышеперечисленных функций, система имеет поддержку беспроводных интерфейсов и может работать как в режиме беспроводной точки доступа *Wi-Fi*, так и в режиме беспроводного клиента. Существует возможность задать идентификатор беспроводной сети (*ssid*), пароль, номер канала, на котором будет работать *Wi-Fi*, установить алгоритм шифрования. Число поддерживаемых стандартов невелико: 802.11 *a/b/g*, но, что более важно – каждый из них на сегодняшний день уже устарел и не может предоставить высокую скорость передачи данных. Тем не менее для задач мониторинга системы пропускной способности вполне достаточно.

Рассматривая данный комплекс как средство защиты информации необходимо упомянуть про надежность системы в целом. Несмотря на все его возможности, в случае выхода аппаратуры из строя данные будут утеряны. Для предотвращения подобных ситуаций формируется так называемый отказоустойчивый кластер – совокупность двух программно-аппаратных комплексов, соединенных выделенной линией связи. При грамотной настройке один маршрутизатор работает в обычном режиме (*master*), а другой – в резервном (*slave*). В случае поломки первого устройства, второе продолжает работу. Разумеется, даже в таком режиме потери трафика неизбежны, но они не сравнятся с теми, когда единственное подобное устройство в системе прекратит работу.

Подводя итог, можно сказать, что *Dionis-NX* является достаточно функциональным отечественным маршрутизатором с обширным набором средств безопасности. На фоне конкурентов его отличает наличие различных сертификатов безопасности, широкая функциональность, удобство монтажа. Комплекс отлично проявит себя как центральное звено защищенной мультисервисной сети.

Список используемых источников

1. Мохаммед Ф. О. Межсетевые экраны // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2009. №. 5 (43). С. 70–76.
2. Барабанов А., Марков А., Цирлов В. Сертификация систем обнаружения вторжений // Открытые системы. СУБД, 2012. №. 3. С. 31–33.
3. Программно-аппаратный комплекс *Dionis-NX* Руководство по эксплуатации // М.: ООО «Фактор-ТС», 2022.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.37.33

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА ДОННОЙ СТАНЦИИ

О. В. Воробьев, А. В. Качнов, Е.А. Пышкин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время активно ведется изучение арктического морского шельфа с целью поиска и оценки запасов месторождений углеводородного сырья. Для этих целей используется специализированное оборудование – донные регистраторы (станции). В целях повышения их надежности необходимо исключить проводное кабельное подключение и обеспечить одновременную передачу информационного и энергетического потоков. В настоящей статье приведен обзор литературы возможности использования пьезоэлектрических преобразователей для обеспечения заряда аккумулятора и передачи информации через металлический корпус.

беспроводная зарядка, канал связи, пьезоэлектрические преобразователи, донные станции

Мониторинг эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений шельфовой зоны арктического региона является одной из важнейших задач. Современный опыт показывает, что в результате проведения своевременного мониторинга и принятия соответствующих мер, время эксплуатации месторождения увеличивается до 30 %. Применение автономных донных станций является наиболее эффективным методом организации мониторинговых работ, учитывая обширную донную инфраструктуру вокруг нефтедобывающих платформ.

Одним из направлений модернизации донных станций электроразведки является переход на беспроводные технологии информационного обмена и заряда аккумуляторных батарей. Отсутствие разъема на прочном металлическом корпусе повысит надежность и эксплуатационные характеристики комплекса в целом.

В качестве технологий, обеспечивающих беспроводную передачу, стоит отметить системы, основанные на магнитоиндукционном принципе, оптические (лазерные), магнитострикционные, пьезоэлектрические. Использование вариантов, основанных на передаче электромагнитного поля, невозможно, поскольку металлический корпус станции выступает в роли экрана и препятствует распространению радиоволн. Оптические методы

требуют организации в корпусе оптически прозрачного окна. Применение магнестрикционных излучателей может повредить встроенные чувствительные элементы станции. Практически реализуемым способом организации одновременной передачи потока электроэнергии и данных является использование пьезоэлектрических преобразователей.

В настоящей работе представлен обзор и анализ современного состояния вопроса обеспечения одновременной передачи информации и электроэнергии с использованием пьезоэлектрических систем. Были рассмотрены работы, в которых авторы приводят численные результаты либо физические измерения.

Понятие акустического преобразователя было введено больше полувека назад С.А. Rosen. Обширный обзор пьезоэлектрических преобразователей можно найти в статье об их структурном моделировании, представленной в 2007 году JS Yang [1]. Под «акустическим преобразователем» подразумеваются два соединенных металлическим барьером пьезоэлектрических преобразователя (далее – ПТ), один из которых преобразует электрическую энергию в механическую, а другой делает обратное преобразование. Эта предлагаемая система потенциально может обеспечить одновременную передачу как питания, так и данных через металлический барьер.

С 2006 года по 2015 годы исследовательская группа Rensselaer Polytechnic Institute опубликовала множество статей на тему беспроводной акусто-электрической передачи данных и энергии [2, 3]. В магистерской диссертации Т. Murphy [4] построено и протестировано множество различных геометрий и конфигураций ПТ. Автор разрабатывает и испытывает одноплавленную систему передачи данных, полнодуплексную систему и конфигурацию «отраженной мощности», и все это на стальном блоке толщиной 148,5 мм. В работе Shoudy D.A. [3] представлен прототип системы, в которой используется передача и отражение непрерывного сигнала, в отличие от исходной системы отражения импульса. Lawry T.A. был представлен прототип высокотемпературной системы связи через стену с «отраженной мощностью», в которой используется специальный высокотемпературный пьезоэлектрический материал, а также электроника с топологией типа «кремний-на-изоляторе» для поддержания непрерывной работы при погружении в среду с температурой 260 °С [5].

В период с 2007 по 2010 годы исследовательская группа из Drexel University выпустила ряд публикаций об ультразвуковом повторителе данных, в котором используется многослойная конфигурация ПТ [6-8]. Цель работы заключалась в разработке ультразвуковой системы, которая может воспроизводить данные по беспроводной сети через переборки, разделяющие водонепроницаемые отсеки военно-морских кораблей. В [6] ПТ был сформирован путем присоединения пары преобразователей Panametrics для неразрушающего контроля с гелем к противоположным сторонам стальной

пластины толщиной 6,35 мм. В результате авторы определили, что благодаря использованию модели канала и добавлению фильтра предварительного искажения, помогающего выполнять эхокомпенсацию, возможно избежать влияния реверберации канала. В [7] был представлен доработанный алгоритм эхоподавления с настраиваемым фильтром предискажения.

Между 2007 и 2008 годами EADS Innivation Works, Paderborn University и Saarland University совместно опубликовали статью о маломощной низкоскоростной технологии дистанционного зондирования с использованием многослойной пластины ПТ [8]. В данной работе пластина ПТ формируется на алюминиевом барьере толщиной 7 мм с использованием пьезоэлектрических преобразователей с резонансами по толщине около 1 МГц для системы беспроводного зондирования.

В диссертации, опубликованной в 2010 году R. Primerano [9] представлен очень тщательный анализ большого разнообразия схем цифровой связи и методов выравнивания каналов. Автором был сделан прогноз, что при использовании мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов OFDM [10] можно увеличить скорость передачи данных через тот же ПТ, который был описан в [6, 7], хотя физическая реализация системы не представлена.

В 2010 году корпорации Lockheed Martin был передан патент «Система ультразвуковой связи для металлических конструкций и связанных с ними методов» с основным автором H. W. Tomlinson [11]. Похожей задачей занималась исследовательская группа Newcastle University в 2009 году, с ориентацией на работу с электромагнитно-акустическими преобразователями [12, 13].

В 2011 году компания BAE Systems PLC совместно с первым изобретателем J. M. Bagshaw получила патент на ультразвуковую передачу широкополосных сигналов через корпус подводной лодки или другую твердую преграду, под названием «Apparatus and Method for Data Transfer Through a Substrate» [14].

В 2011 году исследовательская группа из University of Oklahoma, Norman опубликовала статью о разработке ультразвуковой системы связи через металл для извлечения информации из больших транспортных контейнеров [15]. В 2010 году исследовательская группа из Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing [16] опубликовали статью о системе удаленной передачи питания и данных через стенки труб с помощью магнита.

В 2013 году опубликована статья Ashdown J. D. [17]. Авторам удалось увеличить теоретическую скорость передачи через металлическую преграду до 700 Мбит/с при использовании методов MIMO-OFDM, для уменьшения перекрестных помех и обеспечения высокой спектральной эффективности. В основе системы лежит применение пары пьезоэлектрических дисковых преобразователей.

В таблице 1 представлены сводные данные о технических характеристиках и отличительных особенностях рассмотренных систем передачи данных и энергии. Полученные результаты позволяют сделать однозначный вывод о возможности промышленной реализации технологии беспроводной передачи электроэнергии и данных через металлический корпус с использованием пьезоэлектрических преобразователей в отечественном комплексе электроразведки.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики рассмотренных систем передачи

Мощность, мВт	Скорость передачи, кбит/с	Особенности	Год	Источник
-*	0,1	Схема асинхронной модуляции FSK	2010	[11]
-*	0,3	Технологии передачи отраженных импульсов	2005	[4]
-*	< 0,36	Схема модуляции несущей с многотональной частотной манипуляцией (MFSK)	2011	[16]
-*	0,5	Схема цифровой модуляции с DBPSK	2005	[4]
-*	0,5	Гибридная конфигурация полнодуплексной системы и «отраженной мощности»	2006	[2]
< 30	< 1	Маломощная низкоскоростная технология дистанционного зондирования; полудуплексная двунаправленная передача данных	2008	[8]
-*	5	Двухпозиционная манипуляция (OOK) и DBPSK	2005	[4]
0,3	< 20	Удаленная передача через стенки труб с помощью магнита; кодирование данных датчика уровня жидкости в виде дискретного сигнала FSK	2010	[16]
1000	50	Прототип высокотемпературной системы связи через металлическую стену	2011	[5]
250	55	Усовершенствованный прототип системы [4]	2007	[3]
-*	1000	Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK); эквалайзер с обратной связью для компенсации межсимвольной интерференции (ISI)	2010	[15]
-*	> 1000	Пара преобразователей для неразрушающего контроля; фильтр предварительного искажения	2007	[6]
-*	< 5000	Алгоритм эхоподавления с настраиваемым фильтром предвыскажения; QAM-16 вместо OOK	2009	[7]
-*	> 10 000	Ультразвуковая передача широкополосных сигналов через корпус подводной лодки	2011	[14]
-*	< 30 000	Мультиплексирование с OFDM	2010	[9]
-*	700 000	Метод MIMO-OFDM; квадратурная амплитудная модуляция (QAM)	2013	[17]

Примечание: *- информация в источнике отсутствует.

Список используемых источников

1. Jiashi Y. Piezoelectric Transformer Structural Modeling // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2007. № 54. PP. 1154–1170.
2. Saulnier G. J. [и др.]. Through-wall communication of low-rate digital data using ultrasound // IEEE Ultrasonics Symposium: материалы конф., 2006. PP. 1385–1389.
3. Shoudy D. A. [и др.]. An Ultrasonic Through-Wall Communication System with Power Harvesting // IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings: материалы конф., 2007.
4. Murphy T. Ultrasonic Digital Communication System for a Steel Wall Multipath Channel: Methods and Results // Master's thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Dec. 2005.
5. Lawry T. A. A high performance system for wireless transmission of power and data through solid metal enclosures. М. : Rensselaer Polytechnic Institute, 2011.
6. Primerano R., Wanuga K., Dorn J., Kam M., Dandekar K., Echo-Cancellation for Ultrasonic Data Transmission through a Metal Channel // in Proc. 41st Annual Conference on Information Sciences and Systems : материалы конф., Baltimore, Maryland, USA, Mar. 2007.
7. Primerano R., Kam M., Dandekar K.. High bit rate ultrasonic communication through metal channels // in Proc. 43rd Annual Conference on Information Sciences and Systems: материалы конф., Baltimore, Maryland, USA, Mar. 2009. PP. 902–906.
8. Kluge M., Becker T., Schalk J., Otterpohl T. Remote acoustic powering and data transmission for sensors inside of conductive envelopes // in Proc. IEEE Sensors, 2008.
9. Primerano R. High Bit-rate Digital Communication through Metal Channels: Ph.D. dissertation., Drexel University, Jul. 2010.
10. Kluge M., Sabater J., Schalk J., Ngo L., Schmid U., Seidel H. Wireless sensing of physical parameters inside hermetically enclosed conductive envelopes // in Proceedings of the ASME International Design Engineering Conference: материалы конф., Las Vegas, Nevada, USA, Sep. 2007.
11. Tomlinson H. W., Deaton Jr. and J. B., Nieters Jr. E. and Ross F. // Ultrasound Communication System for Metal Structure and Related Methods: U. S. Patent 7,654,148, Feb. 2, 2010.
12. Graham D. J., Neasham J. A., Sharif B. S. High bit rate communication through metallic structures using electromagnetic acoustic transducers // in OCEANS 2009-EUROPE, Bremen, Germany, May 2009. PP. 1–6.
13. Graham D. J., Neasham J. A., Sharif B. S. Investigation of Methods for Data Communications and Power Delivery Through Metals // IEEE Trans. Ind. Electron., 2011.
14. Bagchaw J. M., Kent L. W. Apparatus and Method for Data Transfer Through a Substrate // U. S. Patent 7,894,306, Feb. 22, 2011.
15. Hosman T., Yearly M., Antonio J. Design and Characterization of an MFSK-Based Transmitter/Receiver for Ultrasonic Communication Through Metallic Structures // IEEE Trans. Instrum. Meas., 2011. Vol. PP, № 99, PP. 1–8.
16. Zangl H., Fuchs A., Bretterkieber T., Moser M. J., Holler G. Wireless Communication and Power Supply Strategy for Sensor Application Within Closed Metal Walls // IEEE Trans. Instrum. Meas., Jun. 2010. Vol. 59, PP. 1686–1692.
17. Ashdown J. D., Saulnier D. J., Lawry T. J., Wilt K. R., Scarton H. A. High-Rate Ultrasonic Communication Through Metallic Barriers Using MIMO-OFDM Techniques. 2013.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.37.33

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ И ДОННОЙ ДОКОВОЙ СТАНЦИЕЙ

О. В. Воробьев, А. В. Качнов, Д. Р. Сидоркович

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Более 75% поверхности Земли покрыто водой в виде океанов. Они представляют большой интерес для исследования во всех областях науки и техники. Подводная беспроводная связь (Underwater Wireless Communication - UWC) играет значительную роль в наблюдении за морской жизнью, загрязнением воды, разведкой нефтяных и газовых буровых вышек, наблюдением за стихийными бедствиями, военно-морскими тактическими операциями по охране побережья и наблюдением за изменениями подводной среды.

подводная беспроводная связь, дальность передачи, коммуникационные технологии

UWC – это инновационный подход к подводной коммуникации в современную эпоху, который был выбран для исследования и наблюдения данных в подводной среде. Существует три основные коммуникационные технологии, которые позволяют передавать сигналы в условиях подводной среды: акустическая, оптическая и электромагнитная (радиочастотная). Всестороннее исследование и сфера применения вышеуказанных технологий упомянуты во многих источниках.

Подводная беспроводная акустическая связь (Underwater Wireless Acoustic Communication – UWAC) – это средство связи при использовании UWC для передачи данных на большие расстояния, в то время как технологии электромагнитной и оптической связи имеют ограниченный диапазон распространения, на который влияют сильное затухание и мутность воды [1–5]. Акустические волны распространяются с низкой частотой, шириной полосы пропускания и низкой скоростью около 1500 м/с. В обычной теплой воде распространение происходит быстрее, чем в холодной. Как правило, скорость распространения акустических волн увеличивается приблизительно 4 м/с при повышении температуры воды на 1 °С. Собранные и оцененные данные для приблизительной оценки и качества распространения волн упомянуты [1, 6].

В подводной акустической связи основными проблемами, влияющими на связь, являются шум, потери на тракте, доплеровские смещения [7], высокая и переменная задержка распространения. Все вышеперечисленные

факторы определяют временную и пространственную изменчивость акустического канала, которая также влияет на дальность, частоту и полосу пропускания.

Подводная беспроводная радиосвязь (Underwater Wireless RF Communication – UWRF) является соединением с высокой пропускной способностью передачи данных и высокой скоростью распространения в подводной среде. Электромагнитные волны часто используются при развертывании связи для плавного перехода между подводной и наземной платформами связи [8]. Используемый диапазон частот обычно составляют от нескольких кГц до 1 ГГц.

Электромагнитные волны в радиочастотных диапазонах зависят от водных ограничений, таких как проводимость воды, диэлектрическая проницаемость и водопроницаемость канала. Также они легко затухают в морской воде при увеличении диапазона используемых частот. Радиочастотные волны затухают в океанской воде примерно на 169 дБ/м при полосе пропускания 2,4 ГГц, в то время как в пресной воде этот диапазон изменяется до 189 дБ/м.

При гибридной подводной электромагнитной связи радиоволны могут распространяться на большие расстояния в проводящей среде в сверхнизкочастотном диапазоне (30 Гц-300 Гц), который требует высокой скорости передачи и большой антенны [9]. Электромагнитные волны используются для связи в пределах ограниченного диапазона между подводными и наземными объектами.

У нее много преимуществ, которые формируют подходящую нишу для использования под водой. Она используется для удобного мониторинга при эрозии побережья и подводной деятельности с помощью электромагнитных волн.

Подводная беспроводная оптическая связь (Underwater Wireless Optical Communication – UWOC) – это альтернативная доступная технология, которая относится к передаче данных в водной среде. Она может распространяться с крайне высокой частотой (КВЧ) наряду с очень высокой скоростью передачи данных и полосой пропускания на десятки метров в подводной среде. UWOC обладает многими отличительными свойствами при распространении на разных частотах в разных диапазонах в неодинаковой водной среде [7].

Морская вода обладает свойствами проводника при распространении электромагнитных волн [2, 10]. Она меняет свои свойства проводника на диэлектрик в диапазоне частот около 250 ГГц. Таким образом, оптическая связь является ведущей технологией для создания канала связи под водой, но на нее могут влиять рассеяние, дисперсия, изменение температуры и физико-химические свойства канала. Оптические волны обладают отличными характеристиками при распространении в прозрачной океанической

воде, но для этого требуется прямая видимость (LOS) между передатчиком и приемником [5]. Коммуникация в таких критических условиях возможна при распространении сигнала от наземной базовой станции к спутнику, а затем от него сигнал поступает на плавучее устройство или подводную лодку. Существуют возможности обмена сигнальными данными через радиочастотные антенны, которые находятся на плавучих устройствах или базовых станциях.

Внедрение технологии UWOC под водой является сложной задачей, которая должна учитывать требования к состоянию воды (от мелководья до глубокой воды). Свойства канала варьируются в зависимости от различных географических условий и ограничений по растворению примесей в среде распространения. В соответствии с условиями окружающей среды морская вода была разделена на две конкретные категории характеристик, которые влияют на распространение оптического излучения в водном канале. Этими категориями характеристик являются соответственно собственные оптические свойства (Inherent Optical Properties – IOP) и видимые оптические свойства (Apparent Optical Properties – AOP). Собственные оптические свойства зависят только от видимых оптических свойств, в то время как AOP зависит от источника света [11]. IOP более надежны и актуальны для беспроводной связи под водой.

Возможность о приеме сигнала через антенну на плавучем буйе также используется для обмена информацией с наземной базой станция. В подводной среде также возможно развертывание различных типов устройств обмена сигналами, состоящие из автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА).

Прежде чем сделать вывод о том, какая технология может быть наилучшей для передачи информации, необходимо знать, в каких условиях окружающей среды должна работать система, а также каковы требования к коммуникации. В таблице 1 обобщены основные характеристики и недостатки, присущие каждой технологии, которые могут помочь найти правильное решение. Каждая технология имеет свои особенности при распространении сигнала в подводной среде, которые необходимо учитывать при проектировке UWC.

Кроме того, для обеспечения надежной подводной связи необходимо предложить гибкие системы, включающие все вышеупомянутые коммуникационные технологии. Эта гибкая система могла бы быть интеллектуальной, чтобы можно было достичь максимальной скорости передачи данных, учитывая, например, условия окружающей среды, расстояние, и относительное перемещение между передатчиком и приемником.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение характеристик акустической, оптической и электромагнитной коммуникационных технологий

Параметр	Технология		
	Акустическая (UWAC)	Оптическая (UWOC)	Электромагнитная (радиочастотная) (UWRF)
Дальность передачи	до 20 км [5, 7, 12, 13] до 100 км [2, 3]	10-30 м [2, 7] до 10 м [3, 13]	100 м [5, 13] 10-150 м [2, 3]
Скорость передачи данных	менее 10 кбит/с (28–120 км) [7, 13, 15] 1.5 до 50 кбит/с (до 0.5 км) [14]	до 1 гбит/с (до 2 м) [5–7, 16] до 1 мбит/с (25 м) [16] до 10 гбит/с (менее 2 м) [13]	более 100 мбит/с [7] от 1 до 10 мбит/с (1–2 м) [14] от 50 до 100 бит/с (более 200 м) [12–14]
Задержка	высокая [3, 7, 13]	низкая [3, 5, 7, 13]	средняя [3, 7, 13]
Скорость распространения волны	1500 м/с [3, 5, 7]	2.3×10^8 м/с [3, 7]	2.3×10^8 м/с [3, 7]
Мощность передатчика	вт [3, 7, 13]	мвт-вт [3, 7, 13]	мвт-вт [3, 13] 10 вт [7]
Затухания	зависят от расстояния и частоты (0.0001 дб/м), а также от температуры, глубины и солености воды [2, 3, 7]	зависят от расстояния и мутности воды (0,39 дб/м в чистой воде, 11 дб/м в мутной воде) [2, 3, 7]	зависят от частоты и проводимости воды (3,5–5 дб/м) [2, 3, 7]
Особенности и ограничения	Подвержена влиянию эффекта доплера громоздкие, дорогостоящие и энергозатратные приемопередатчики [2-5, 12, 13]	требует прямой видимости необходимо точное выравнивание узлов приема и передачи недорогие и малогабаритные приемопередатчики [2–5, 12, 13]	восприимчив к электромагнитным излучениям громоздкие, дорогостоящие и энергозатратные приемопередатчики [2–5, 12, 13]

Таким образом видно, что каждый из трех видов рассмотренных коммуникационных технологий имеет как преимущества, так и недостатки.

Список используемых источников

1. Lanbo L., Shengli Z., Jun-Hong C. Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks // Wirel Commun Mobile Comput, 2018. Vol. 8. PP. 977–994.
2. Gussen C., Diniz P., Campos M., Martins W. A., Costa F. M., Gois J. N. A survey of underwater wireless communication technologies // J Commun Inf Sys, 2016. Vol. 31. № 1. PP. 242–255.

3. Kaushal H., Kaddoum G. Underwater optical wireless communication // *IEEE Access*, 2016, Vol. 4. PP. 1518–1547.
4. Akyildiz I. F., Pompili D., Melodia T. Underwater acoustic sensor networks: research challenges // *Ad hoc Netw*, 2005. Vol. 3. № 3. PP. 257–279.
5. Zeng Fu S., Zhang H., Dong Y., Cheng J. A survey of underwater optical wireless communications // *IEEE Commun Surv Tutor*, 2017. Vol. 19. № 1. PP. 204–238.
6. Garcia M., Sendra S., Atenas M., Lloret J. Underwater wireless ad-hoc networks: a survey. *Mobile ad hoc networks: current status and future trends*, 2011. PP. 379–413.
7. Saeed N., Celik A., Al-Naffouri TY., Alouini M-S. Underwater optical wireless communications, networking, and localization: a survey // *Ad Hoc Netw*, 101935, 2019.
8. Al-Shamma'a AI., Shaw A., Saman S. Propagation of electromagnetic waves at mhz frequencies through seawater // *IEEE Trans Antennas Propag*, 2004. Vol. 52. № 11. PP. 2843–2849.
9. Akyildiz IF., Pompili D., Melodia T. Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks // *ACM Sigbed Rev*, 2004. Vol. 1. № 2. PP. 3–8.
10. Al-Kinani A., Wang C-X., Zhou L., Zhang W. Optical wireless communication channel measurements and models // *IEEE Commun Surv Tutor*, 2018. Vol. 20. PP. 1939–1962.
11. Simpson JA. A 1 mbps underwater communications system using leds and photodiodes with signal processing capability. URL: [https ://scien cing.com/fourbetween-ocean fresh -water -85199 73.html](https://scien cing.com/fourbetween-ocean fresh -water -85199 73.html) (дата обращения 26.02.2024).
12. Wells I., Davies A., Che X., Kear P., Dickers G., Gong X., Rhodes M. Node pattern simulation of an undersea sensor network using rf electromagnetic communications // In: *International conference on ultramodern telecommunications & workshops*, IEEE, 2009. PP. 1–4.
13. Ali M., Jayakody D. N., Chursi Y. Recent Advances and Future Directions on Underwater Wireless Communications // *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2019. Vol. 27. PP. 1379–1412.
14. Palmeiro A., Martin M., et al. Underwater Radio Frequency Communications in OCEANS // *IEEE*, 2011.
15. Stojanovic M., Catipovic J. A., Proakis J. G. Adaptive multichannel combining and equalization for underwater acoustic communications // *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1993. Vol. 94. № 3. PP. 1621–1631.
16. Hanson F., Radic S. High bandwidth underwater optical communication // *Appl Opt.*, 2008. Vol. 47. № 2. PP. 277–283.
17. Doniec M., Vasilescu I. et al., AquaOptical: A Lightweight Device for High-Rate Long-Range Underwater Point-to-Point Communication in OCEANS // *MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges*, 2009, PP. 1–6.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.41.99

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОГО РАДИО И GNU RADIO ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ

Д. С. Воробьев, В. А. Мешалкин, Д. Н. Поляков, Д. Ф. Ткачев

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Исследование рассматривает перспективы использования технологии SDR (Software Defined Radio) и GNU Radio в контексте обнаружения радиосигналов. В данной работе рассматривается пример успешного использования SDR и GNU Radio для обнаружения радиосигнала. Также эти инструменты активно применяют для анализа и обнаружения радиосигналов, таких как сигналы беспроводных сетей Wi-Fi и Bluetooth, а также других радиочастотных идентификационных меток (RFID). Работа ориентирована на исследователей, инженеров и специалистов в области радиосвязи, стремящихся использовать современные технологии для эффективного обнаружения и анализа радиосигналов.

программно определяемая радиосистема, HackRF, GNU Radio.

Система радиосвязи, основанная на программно определяемой технологии (SDR), представляет собой устройство для передачи и/или приема радиосигналов. Она позволяет программным образом настраивать или изменять различные параметры передачи, такие как частотный диапазон, модуляция и выходная мощность и т. д. [1]. Исключение составляют параметры, используемые в обычном режиме работы устройства в соответствии с заранее установленными настройками, определенными спецификацией или системой (частотный диапазон, ширина полосы пропускания, чувствительность). Обработка сигналов в значительной степени выполняется программным обеспечением на персональном компьютере или программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Основная цель такой системы заключается в создании гибкого радиоприемника или передатчика, который может быть изменен программным путем, что приводит к альтернативному термину – программно конфигурируемые радиосистемы [2]. Применение программируемых радиосистем оказывается удобным, когда требуется формировать радиоволны с определенными характеристиками непосредственно на компьютере с последующей возможностью их обработки.

На рынках есть большое множество SDR: RTL-SDR, USRP, Blade RF, HackRF, AirSpy и другие. Одним из самых популярных устройств является HackRF, так как он является универсальным устройством и имеет большой диапазон поддерживаемых частот, а также приемлемую (в сравнении с

остальными) цену. Результаты сравнения HackRF с другим выше представленным устройством RTL-SDR сведены в таблицу 1 [3–7].

ТАБЛИЦА 1. Сравнение HackRF с прочими SDR

Характеристика	HackRF	RTL-SDR	USRP	Blade RF	AirSpy
Диапазон частот	1МГц–6 ГГц	24 МГц–1.7 ГГц	до 6 ГГц	300 МГц – 3,8 ГГц	24 МГц – 1.7 ГГц
Полоса пропускания	20 МГц	2.4 МГц	56 МГц	28 МГц	10 МГц
Выходная мощность	до 15 дБм, в зависимости от диапазона	Нет данных	В зависимости от передатчика, 50-200мВт	Нет данных	Нет данных
Частота дискретизации	8 – 20 Msps	2.8 Msps	56 Msps	80 ksps – 40 Msps	10 – 80 Msps
Разрешение АЦП	8 бит	8 бит	12 бит	12 бит	12 бит
Цена	150 – 200 \$	8-10 \$	1100 \$	420 \$	169 \$
Открытый исходный код	Да	Да	Нет данных	Нет данных	Нет данных

На основе данных таблицы 1 сделан вывод, что HackRF является наиболее предпочтительным выбором среди прочих SDR высокими частотными характеристиками относительно его цены.

Программное обеспечение GNU Radio представляет собой программную радиосистему с открытым исходным кодом, предназначенную для разработки и реализации программно-определяемых радиосистем (SDR). Она основана на блоках сигнальной обработки, представленных в виде графа потока данных. Пользователь может создавать графы, объединяя различные блоки обработки сигналов для конфигурирования и обработки радиосигналов, а также гибкие и конфигурируемые радиосистемы, выбирая и настраивая блоки обработки сигналов в соответствии с требованиями конкретного проекта. Все блоки могут компилироваться в python-код и далее использоваться уже без самого ПО [8].

SDR HackRF удобно применять в тех случаях, когда требуется гибкость и программируемость радиосистем. Это устройство отличается высокой степенью настраиваемости и способности работать с широким диапазоном частот. В качестве примера произведено детектирование сигнала от передатчика, излучаемого на частоте 453 МГц с помощью платформы Arduino, которая используется для создания интерактивных электронных объектов (рис. 1).

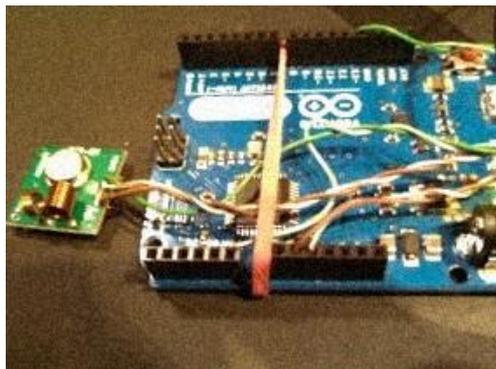


Рис. 1. Экспериментальная Arduino

С использованием HackRF был произведен захват сигнала на частоте 455 МГц при помощи следующей команды: `sudo hackrf_transfer -r name -f 455000000 -b 8000000 -l 40 -g 40`. В результате был задетектирован сигнал, представленный на рисунке 2.

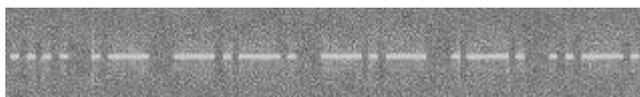


Рис. 2. Сигнал в анализаторе спектра

Далее полученный сигнал можно загрузить в качестве данных в программу GNU Radio. Необходимо сначала конвертировать файл данных HackRF в формат, совместимый для работы в GNU Radio. Сами по себе логи HackRF представляют собой пары I (In Phase) и Q (Quadrature) – компоненты комплексного сигнала, которые представляют амплитуду и фазу, и хранящиеся как 8-ми битные беззнаковые целые. Компонентам GNU Radio необходимы комплексные IQ-данные, так как они определяют состояние несущей частоты в определенный момент времени. Поэтому необходима схема для преобразования файла к этому формату. На рисунке 3 приведена блок-схема преобразования сигнала для работы в GNU Radio.

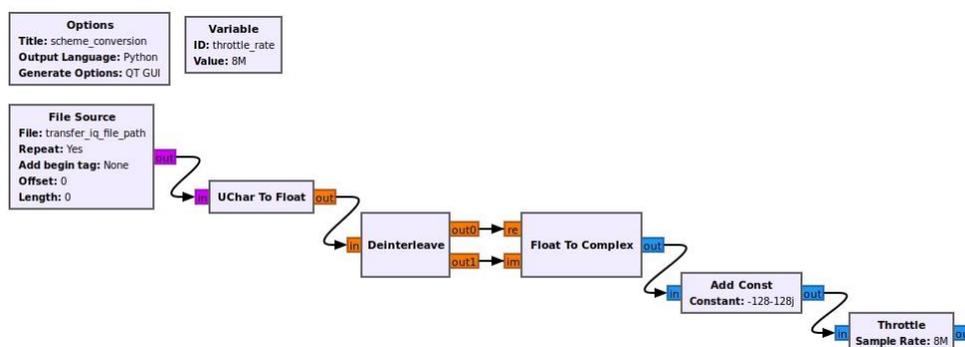


Рис. 3. Блок-схема преобразования сигнала в GNU Radio

Описание блоков схемы:

- File Source – загружает записанный файл;
- UChar To Float – конвертирует беззнаковые 8-ми битные целые числа в числа с плавающей точкой;
- Deinterleave – разделяет общий поток данных (IQIQIQ) на два отдельных канала (I и Q);
- Float To Complex – объединяет разделенные ранее данные в формате комплексного числа;
- Add Const – центрирует данные вокруг 0;
- Throttle – сжимает частоты выборки до 8 МГц для корректной работы системы, использующей сигнал.

Полученный сигнал обрабатывается с помощью блока БПФ. На выходе преобразователя получаем сигнал (рис. 4).

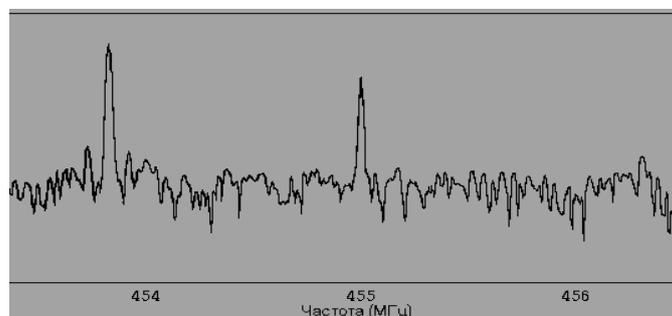


Рис. 4. Сигнал после преобразователя

Можно увидеть пик на частоте захвата (455 МГц) и часть передаваемого сигнала в районе частоты 453 МГц. Далее необходимо использовать КИХ-фильтр. Это позволит сместить несущую частоту сигнала, отсеять при помощи полосового фильтра не интересующие участки спектра, разделить сигнал с целью уменьшения вычислительных затрат при обработке. Полученный после прохождения через фильтр и повторный блок БПФ сигнал представлен на рисунке 5.

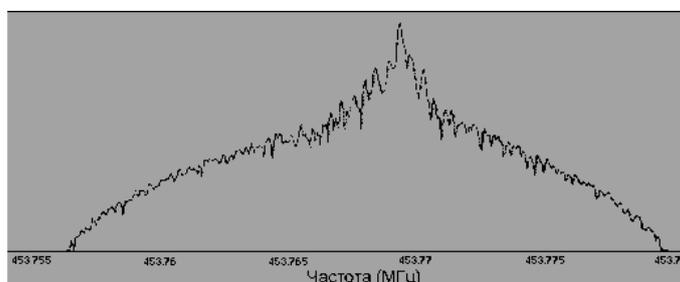


Рис. 5. Сигнал после фильтра и преобразователя

Таким образом, использование HackRF и GNU Radio предоставляет широкие возможности для разработки и исследования радиосистем. Соединение этих инструментов обеспечивают гибкость и контроль над программным управлением радиочастотного пространства, позволяя исследователям и инженерам создавать и анализировать различные радиосистемы. Благодаря открытому исходному коду GNU Radio и высокой производительности HackRF, пользователи получают доступ к современным технологиям без лишних ограничений. Эти средства также поддерживают обучение и обмен знаниями в области радиосвязи, способствуя развитию сообщества, открытиям и инновациям в области радиотехники.

Список используемых источников

1. Liu W. et al. Assessing the coexistence of heterogeneous wireless technologies with an SDR-based signal emulator: A case study of Wi-Fi and Bluetooth //IEEE Transactions on Wireless Communications, 2017. Vol. 16. №. 3. PP. 1755–1766.
2. Костин М. С., Ярлыков А. Архитектурно-конфигурируемые SDR-технологии радиомониторинга и телеметрии. Инфра-Инженерия, 2021. 147 с.
3. HackRF, 2024. Datasheet, 96 p. URL: https://hackrf.readthedocs.io/_downloads/en/latest/pdf/.
4. RTL-SDR Blog V3, 2022. Datasheet 8 p. URL: <https://www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2018/02/RTL-SDR-Blog-V3-Datasheet.pdf>.
5. USRP B200/B210 Bus Series, 2023. Datasheet 2 p. URL: https://www.ettus.com/wp-content/uploads/2019/01/b200-b210_spec_sheet.pdf.
6. Nuand bladeRF 2.0 (SDR), 2023. Datasheet 18 p. URL: <https://www.nuand.com/2023-02-release-122-88mhz-bandwidth/>.
7. Airspy the dependable VHF/UHF Radio for your projects, 2023. Datasheet 6 p. URL: <https://airspy.com/airspy-r2/>.
8. Blossom E. GNU radio: Tools for exploring the radio frequency spectrum. Linux Journal, 2004. 122 p.

УДК 621.396.2
ГРНТИ 49.03.05

ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА ДЛЯ СВЯЗИ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

О. В. Воробьев, Д. С. Рябиков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Заметный рост трафика беспроводных данных в последнее время вызвал необходимость изучения подходящих областей радиочастотного спектра для удовлетворения прогнозируемых требований. В связи с этим значительное внимание исследовательского сообщества привлекают коммуникации на миллиметровых волнах. Из-за высоких потерь на пути и проникающей способности на миллиметровых волнах формирование луча антенны играет ключевую роль в создании и поддержании надежного канала связи. Формирование луча для связи на миллиметровых волнах представляет собой множество разнообразных проблем, обусловленных большой полосой пропускания канала, уникальными характеристиками канала и аппаратными ограничениями. В этой статье исследуется пригодность методов формирования луча в миллиметровых волнах.

архитектура систем с формированием луча и подходы

Формирование луча – операция пространственной фильтрации, обычно использующая массив излучателей для захвата или излучения энергии в определенном направлении через свою апертуру. Улучшение, достигаемое по сравнению с всенаправленной передачей/приемом, является коэффициентом усиления при передаче/приеме. В современных системах связи применяются интеллектуальные антенные системы, которые могут сочетать усиление решетки с усилением разнесения, а также с подавлением помех для дальнейшего увеличения пропускной способности канала связи. Это достигается за счет электронного управления лучом с помощью фазированной решетки, которая представляет собой многоэлементное устройство излучения с определенной геометрической конфигурацией. Выходное пространственное распределение мощности, называемое диаграммой направленности излучения решетки, определяется векторной суммой полей, излучаемых отдельными элементами. Оно может быть выражено в терминах диаграммы направленности излучения отдельных элементов и коэффициента решетки, который является функцией геометрии решетки и амплитудно-фазовых сдвигов, применяемых к отдельным элементам [1].

Характеристики распространения сигналов в каналах миллиметровых волн

Особенности каналов распространения миллиметровых волн, которые отличают их от традиционных каналов микроволновой связи, могут быть обобщены следующим образом:

– Потери на пути: избыточные потери распространения в свободном пространстве в системах связи на миллиметровых волнах могут быть компенсированы с помощью направленных антенн с формированием луча. Потери при проникновении сигнала миллиметровых волн [2], особенно через бетонную стену, значительно выше, что является узким местом для связи на последней миле. Кроме того, затухание из-за осадков оказывает негативное влияние на распространение сигналов миллиметровых волн в зависимости от интенсивности осадков [3].

– Кластерная многолучевая структура: поскольку миллиметровые длины волн малы по сравнению с размерами объектов, встречающихся при распространении, дифракция на них слабая, что приводит к ярко выраженному затенению [3, 4, 5]. Кроме того, хотя рассеяние происходит из-за неровностей и шероховатостей поверхностей, рассеянные компоненты многолучевости в приемнике немногочисленны из-за высоких потерь на пути. Следовательно, каналы миллиметровых волн демонстрируют кластерную структуру многолучевости с ограниченным числом кластеров, приходящих в приемник с разных направлений.

– Широкополосная связь: основная мотивация использования диапазонов миллиметровых волн заключается в большой полосе доступных частот. Ожидается, что каналы миллиметровых волн будут поддерживать широкополосное распространение сигнала; в некоторых случаях ширина полосы составляет порядка нескольких ГГц. Это приводит к ухудшению SNR из-за широкополосного шума. Низкий SNR до установления канала связи с формированием луча является особенно серьезной проблемой, поскольку усиление массива ограничено на этапе обучения из-за использования более широкой ширины луча для локализации и объединения пользователей. Кроме того, несмотря на большую полосу когерентности канала, системы связи на миллиметровых волнах потребуют сложного оборудования.

– 3D пространственно-временное моделирование: для того, чтобы преодолеть чрезмерных потерь в тракте, коммуникации на миллиметровых волнах по своей природе являются направленными. Поэтому пространственные характеристики распространения, в первую очередь азимутальный и азимутальный и высотный углы отправления (AoD) и угол прибытия (AoA), могут быть использованы для обеспечения надежной связи. Целостные 3D MIMO направленные модели каналов с совместной пространственной и временной статистикой помогут в разработке эффективного формирования луча для систем связи на миллиметровых волнах.

Формирование луча для миллиметровых волн внутри помещений

Производительность миллиметровых волн в помещениях при наличии многолучевости значительно улучшается при использовании направленных антенн. Моделирование с использованием метода трассировки лучей и подкрепленные измерения распространения [6] приводит к среднеквадратичному разбросу задержки менее 5 нс, который может быть реализован на большой площади при использовании направленных антенн с узкой полосой пропускания 3 дБ (10 градусов) с помощью стандартной рупорной антенны. Работа была расширена для исследования влияния поляризации [7], и было показано, что совместное использование направленных антенн и круговой поляризации приводит к дальнейшему уменьшению распространения многолучевой волны в два раза.

Для WPAN внутри помещений [8] введение режима пространственного повторного использования за счет формирования луча с помощью управляемой антенны с 8 параллельными каналами связи увеличивает общую пропускную способность системы WPAN на миллиметровых волнах в 3–5 раз по сравнению с традиционным режимом разделения времени. Режим пространственного повторного использования в присутствии помех далее анализируется с использованием реалистичных имитационных моделей антенн и распространения для внутренней связи на частоте 60 ГГц, связи в помещениях на частоте 60 ГГц [9].

Новые способы достижения устойчивости к блокированию LOS представляют собой интересную тему для исследований, и ожидается, что формирование луча антенны будет играть ключевую роль в этом отношении. Меры, принятые для борьбы с блокированием LOS, включают направление луча на NLOS-каналы и использование отражателей, а также схемы на основе ретрансляции. В для повышения пропускной способности в случае блокировки LOS была исследована схема разнесения нескольких точек доступа (AP). Авторы работы предложили многоходовую архитектуру MAC для восстановления после блокировки канала связи.

Формирование луча на миллиметровых волнах вне помещений

Аналоговое формирование луча было основой для систем миллиметрового диапазона внутри помещений потребность в дополнительной обработке сигнала для облегчения многопоточной передачи и управления помехами в многопользовательской среде диктует необходимость предварительного кодирования и объединения цифровых базовых частот. Архитектуры MIMO с низким энергопотреблением с аналоговым формированием луча и обработкой основной полосы частот были предложены в литературе. Кроме того, схемы выбора радиочастотных антенн основной полосы частот на основе MIMO были хорошо изучены в литературе. Однако пригодность и производительность этих схем для широкополосных наружных

каналов миллиметрового диапазона еще предстоит выяснить. С другой стороны, эксклюзивная архитектура формирования цифрового луча (широко используемая для предварительного кодирования ММО в традиционной микроволновой связи) неосуществима из-за повышенной аппаратной сложности и энергопотребления из-за большого количества радиочастотных цепей, масштабируемых в зависимости от количества антенных элементов.

В отличие от внутренних систем миллиметрового диапазона, ожидается, что архитектуры формирования луча для наружной связи миллиметрового диапазона будут использовать преимущества как аналогового, так и цифрового формирования луча. В этом контексте гибридная архитектура формирования луча с аналоговыми фазовращателями стала привлекательным предложением для систем массового широкополосного доступа на миллиметровых волнах следующего поколения (ММВ) и гетерогенных сетей (HetNets). Гибридная схема формирования луча приобретает особое значение в контексте крупномасштабных антенных систем (LSA) ввиду ее сниженной стоимости аппаратного обеспечения.

Принцип гибридного формирования луча заключается в разделении обработки сигнала на цифровую и аналоговую области для поддержки многопоточной (и, возможно, многопользовательской) связи с целью максимизации суммарной скорости при минимальных помехах. В типичной радиочастотной цепи энергопотребление в основном связано с компонентами смешанного сигнала, которые включают аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и особенно велико в режиме широкополосной связи на миллиметровых волнах в Гбит/с. Гибридная архитектура формирования луча состоит из ограниченного числа радиочастотных цепей, которые облегчают многопоточную цифровую обработку в основной полосе частот с последующей аналоговой обработкой (в основной полосе частот или ВЧ) для реализации усиления при формировании луча антенны.

Заключение

В этой статье рассмотрены методы формирования луча для связи на миллиметровых волнах. Формирование луча для связи на миллиметровых волнах является важнейшим аспектом при анализе бюджета канала для целесообразного проектирования системы. Публикация стандартов IEEE 802.15.3c и IEEE 802.11ad открыла путь к развертыванию внутренних систем WPAN и WLAN на миллиметровых волнах, соответственно, которые используют технику переключения луча на этапе поиска луча для снижения накладных расходов. С этой целью были сделаны заметные шаги по дальнейшему уменьшению количества шагов поиска и вычислительной сложности, чтобы уменьшить задержку при настройке лучевой связи. Ожидается, что формирование луча также станет ключевым фактором для внутренних и внешних транзитных сетей на миллиметровых волнах.

Список использованных источников

1. Balanis C. *Antenna Theory: Analysis and Design*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2007.
2. Daniels R. C. and Heath Jr. R. W. 60 GHz wireless communications: Emerging requirements and design recommendations. *IEEE Veh. Technol. Mag.*, 2007. Vol. 2. № 3. PP. 41–50.
3. Rappaport T. S., Heath Jr. R. W., Daniels R. C., and Murdock J. N. *Millimeter Wave Wireless Communications*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, Sep. 2014.
4. Yong S. K., Xia P., and Garcia A. V. *60 GHz Technology for Gbps WLAN, WPAN: From Theory to Practice*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
5. Huang K.-C. and Wang Z. *Millimeterwave Communication Systems*. Hoboken, NJ, USA: Wiley/IEEE Press, 2011.
6. Manabe T., Miura Y., and Ihara T. “Effects of antenna directivity on indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz,” in *Proc. 6th IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mobile Radio Commun. (PIMRC)/Wireless Merging Inf. Superhighway*, Sep. 1995. Vol. 3. PP. 1035–1039.
7. Manabe T., Miura Y., and Ihara T. “Effects of antenna directivity and polarization on indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 1996. Vol. 14. №. 3. PP. 441–448.
8. Maltsev A., Maslennikov R., Maltsev Jr. A., Khoryaev A., and Shilov M. Performance analysis of spatial reuse mode in millimeterwave WPAN systems with multiple links. in *Proc. IEEE 19th Int. Symp. Pers. Indoor Mobile Radio Commun. (PIMRC)*, Sep. 2008. PP. 1–4.
9. Park M. and Gopalakrishnan P. Analysis on spatial reuse and interference in 60-GHz wireless networks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 2009. Vol. 27. № 8. PP. 1443–1452.

УДК 654.026
ГРНТИ 47.05.11

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЕКАМЕТРОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Д. Д. Гайлит, А. Г. Чернышов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья обозревает ключевые направления развития и улучшения декаметровых радиосистем. Рассматриваются современные вызовы, стоящие перед коротковолновой связью, и анализируются существующих тенденций в области модернизации. В качестве решения поставленной проблемы предлагаются технологические новшества, направленные на повышение эффективности передачи данных, оптимизацию энергопотребления и обеспечение устойчивости систем связи. Особое внимание уделяется модернизации оборудования и протоколам функционирования сети.

декаметровая связь, модернизация, связь специального назначения

В эпоху стремительного технологического прогресса декаметровые системы связи остаются ключевым элементом передовых телекоммуникационных инфраструктур. С постоянным изменением потребностей и возрастанием сложности коммуникационных задач, вопрос модернизации становится вопросом первостепенной важности. Данная статья представляет обзор актуальных тенденций в области современных кв-систем связи, сфокусированный на ключевых направлениях их технологического развития.

Декаметровая связь применяется в вневедомственной и военной сферах. Существующие сети, основанные на радиально-узловом принципе, имеют двухуровневую структуру, включая радиостанции на федеральном и региональном уровнях. Одна из проблем таких сетей – отсутствие частотно-диспетчерской службы, что мешает оптимизации использования частотного ресурса. Большинство антенно-фидерных устройств не соответствуют современным технологиям, а система управления не обеспечивает автоматизацию процессов связи. Необходимо внедрение современных комплексов радиосредств и использование мобильных комплексов для создания эффективной коротковолновой радиосвязи.

Пути совершенствования ведомственной декаметровой радиосвязи могут быть следующие:

1. Выбор новых комплексов радиосвязи

При выборе современных комплексов радиосвязи следует учитывать модульную структуру, основанную на унифицированной платформе для

всего ассортимента КВ радиосредств, от небольших до мощных. Одновременно новое поколение стационарных и мобильных комплексов должно базироваться на единых решениях, применяя передовую технологию SDR [1].

2. Использование необходимого набора антенно-фидерных устройств

Современные комплексы технических средств, основанные на транзисторных усилителях, требуют современных антенн для оптимальной работы. Необходимость широкополосных и высокоэффективных антенн, адаптированных к конкретным условиям радиосвязи, важна для обеспечения качественной связи.

Для различных протяженностей радиолиний рекомендуется использовать специальные антенны, учитывающие особенности радиосвязи:

- для радиолиний около 300 км подходят малогабаритные магнитные и рамочные антенны, которые могут использоваться как на стационарных объектах, так и на мобильных комплексах;
- для радиолиний протяженностью около 1500 км подходят антенны типа «вибратор горизонтальный диапазонный» и «широкополосный вертикальный излучатель»;
- для радиолиний до 3000 км рекомендуется использовать V-образные антенны и логопериодические антенны.

Такой подход позволяет оптимизировать работу радиосвязи и обеспечить эффективное использование радиолиний в различных условиях.

3. Децентрализованное гибкое использование частот

Для повышения качества радиосвязи необходимо оптимизировать использование частотного ресурса на основе оперативного прогнозирования условий распространения радиоволн. Стремление к выбору канала лучшего качества требует эффективного распределения рабочих частот в зависимости от дальности связи, состояния ионосферы, помеховой обстановки и характеристик антенно-фидерных устройств.

Действующая организации радиосвязи, ориентированная на ручное управление, ограничивает количество доступных частот на каждый сеанс связи [2]. Это препятствует оптимальному использованию доступного частотного ресурса, затрудняя выбор оптимальных рабочих частот.

Для улучшения эффективности организации радиосвязи предлагается переход на адаптивные автоматические радиолинии, основанные на оперативном прогнозировании условий распространения радиоволн. Этот шаг потребует обновления радиоцентров и создания системы управления радиосвязью, оснащенной адаптивными радиосредствами.

Если рассматривать связь специального назначения для военных целей, то можно выделить следующие пути модернизации:

1. Модернизация сети и радиоцентров

Перспективным направлением развития существующей системы декаметровая радиосвязи Сухопутных войск Вооруженных Сил Российской Федерации является создание опорной автоматизированной сети магистральной радиосвязи. Эта сеть должна охватывать территорию всех военных округов Российской Федерации и обеспечивать высокую помехоустойчивость и пропускную способность пунктов управления объединений через радиоканалы.

Для обеспечения надежной и своевременной передачи информации по радиоканалам в условиях сложной ионосферной и помеховой обстановки предполагается использовать структуру автоматизированной сети магистральной радиосвязи с высокой степенью связности и возможностью динамического изменения. Это необходимо для справления с различными дестабилизирующими факторами, такими как помехи, ионосферные возмущения и другие.

Для повышения помехоустойчивости и пропускной способности линий радиосвязи предполагается использовать как прямые, так и составные радиоканалы, включая радиоцентры-ретрансляторы, действующие на расстоянии 2000...3000 км от корреспондентов сети радиосвязи.

Важным компонентом автоматизированной сети магистральной радиосвязи будут автоматизированные стационарные радиоцентры [3]. На этих радиоцентрах будет автоматизироваться формирование высокочастотных трактов передачи и приема, установление и ведение радиосвязи с корреспондентами, а также контроль и управление ресурсами радиоцентра и сети радиосвязи.

2. Выбор нового оптимального сетевого протокола

В практике создания сетей связи выявлено, что при неоднородном трафике, характерном для коротковолновых систем связи, наиболее эффективным способом использования физических каналов является их статистическое уплотнение. Этот подход используется в технологии X.25, на основе которой создано множество сетей передачи данных с коммутацией пакетов. Изначально X.25 предназначался для низкоскоростных каналов (до 9,6 кБит/с) с высокой вероятностью ошибки ($p_{\text{ош}} > 0,5 \cdot 10^3$).

Однако протокол X.25 имеет свои недостатки, такие как возможные задержки при передаче данных и ограничения в передаче голоса и видеoinформации. Вместо этого, для стабильного межузлового канала с высокой скоростью обмена данными рекомендуется использовать технологию Frame

Relay (FR). Она также подходит для работы с неравномерным трафиком, но позволяет передавать речь и видео.

Однако сети, использующие FR, имеют свои ограничения, такие как потеря кадров с ошибками без их повторной передачи, что ограничивает передачу приоритетных данных. В контексте декаметровых сетей связи, можно модифицировать протокол FR, чтобы исключить потерю элементов сообщения и обеспечить передачу данных с необходимой приоритетностью. Это позволит снизить риск задержек при передаче речи и других приоритетных данных в сети.

Модернизация декаметровых систем связи требует комплексного подхода и внедрения передовых технологий. Оптимизация работы радиосвязи, эффективное использование частотного ресурса и переход на адаптивные автоматические радиолинии с оперативным прогнозированием условий распространения радиоволн становятся ключевыми направлениями развития. Усовершенствование сети и радиоцентров, а также выбор нового оптимального сетевого протокола, помогут справиться с текущими недостатками и обеспечить эффективное функционирование кв-систем связи в будущем.

Список используемых источников

1. Лазоренко В. С. Зарождение и развитие ведомственной резервной сети коротковолновой радиосвязи // Техника радиосвязи. Омск, 2016. Вып. 1 (28). С. 18–252.
2. Лазоренко В. С., Мухаметьянов А.Ф. Современное состояние и перспективы развития средств коротковолновой радиосвязи // Закономерности и тенденции развития науки: сб. ст. Междунар. научно-практ. конф. Уфа, 2014. С. 208.
3. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолиний // Научно-технические исследования Земли, 2014. № 1. С. 30–37.

УДК 621.391.827.4
ГРНТИ 47.05.09**СИНТЕЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ
УРАВНЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ
СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ КОДОВ УОЛША****Е. И. Глушанков, С. Г. Егоров**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе представлен синтез стохастических дифференциальных уравнений для моделирования сигналов в сетях связи с использованием кодов Уолша для системы автономного судовождения. Предложена математическая модель сигналов, полученная при помощи стохастических процессов и методов марковских процессов для описания нелинейных преобразований в групповых трактах. Исследуются сигналы кодов Уолша, обеспечивающие эффективную передачу данных для систем автономного судовождения. Представленные результаты предлагают удобную модель для статистической симуляции процессов обработки сигналов в сетях связи с целью оптимизации качества систем связи автономного управления в морской навигации.

уравнения Фокера-Планка-Колмогорова, марковские процессы, нелинейные преобразования, коды Уолша, автономное судовождение, CDMA, корреляционные свойства

Точность моделирования объекта на этапе проектирования является важной характеристикой, определяющей качество функционирования радиотехнической системы по ее целевому предназначению [1].

В работе [1] была предложена такая модель группового сигнала (без учета нелинейностей):

$$p_{ст}(x) = \sum_i \delta(u - u_i) C_L^{\frac{L+u}{2}} q^{\frac{L+u}{2}} (1-q)^{\frac{L-u}{2}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right\}. \quad (1)$$

где $p_{ст}(x)$ – стационарная плотность распределения группового сигнала, u_i – амплитуда чипа группового сигнала, $q, 1-q$ – вероятность появления 1 и 0 в потоке информационных бит, σ – среднеквадратическое отклонение шума.

Предложенное выражение (1) описывает стационарную одномерную плотность распределения мгновенной амплитуды группового сигнала. Однако данная модель не учитывает корреляционные свойства соседних чипов группового сигнала и поэтому плохо подходит для моделирования сетей связи.

Функция Уолша имеет автокорреляционные функции (АКФ) Уолша

$$R_{w_i, w_k}(t) = C_{k,i}(l-N)T_c + [C_{k,i}(l-N+1) - C_{k,i}(l-N)](t-lT_c) \quad (2)$$

здесь l – целочисленная часть дроби $\tau/T_{\text{цикл}}$, $C_{k,i}$ – дискретная аperiodическая взаимная корреляционная функция (ВКФ), определяемая выражением [1, 2]

$$C_{k,i}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} w_j^{(k)} w_{j+1}^{(i)}; & 0 \leq l \leq N-1 \\ \sum_{j=0}^{N-1-l} w_{j-1}^{(k)} w_j^{(i)}; & -N+1 \leq l < 0 \end{cases} \quad (3)$$

По формулам (2)-(3) построены графики (рис. 1) корреляционных функций для первых 6 функций из базиса ортогональности $K=8$. Функции нормированы относительно $K=8$.

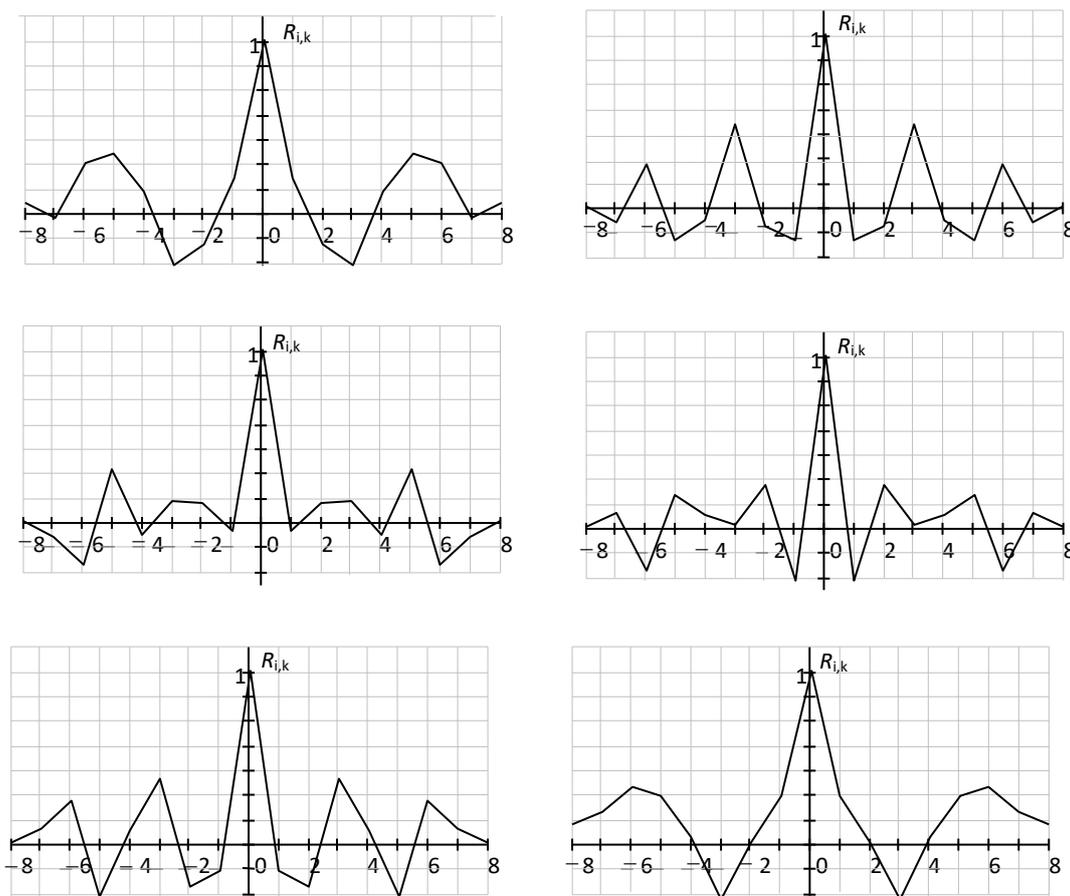


Рис. 1. ВКФ функций Уолша (1я-6-я функции)

Используя методику [3], получен генератор случайной величины, описываемой выражением

$$O_{1,4} = (1 \ 1 \ 1 \ 1); \quad O_{4,1} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad O_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_{k,l} = \text{Prob}\{x_m = \xi_k \mid x_{m-1} = \xi_l\}, \quad k, l = 1, 2, \dots, N$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix}
 \boxed{-3} & \boxed{-1} & \boxed{+1} & \boxed{+3} \\
 0 & 0 & 3 & 0 \\
 0 & 6 & 0 & 3 \\
 3 & 0 & 6 & 0 \\
 0 & 3 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \begin{matrix} \boxed{-3} \\ \boxed{-1} \\ \boxed{+1} \\ \boxed{+3} \end{matrix}$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix}
 \boxed{-7} & \boxed{-5} & \boxed{-3} & \boxed{-1} & \boxed{+1} & \boxed{+3} & \boxed{+5} & \boxed{+7} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 28 & 0 & 21 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 42 & 0 & 84 & 0 & 21 & 0 \\
 0 & 28 & 0 & 126 & 0 & 84 & 0 & 7 \\
 7 & 0 & 84 & 0 & 126 & 0 & 28 & 0 \\
 0 & 21 & 0 & 84 & 0 & 42 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 21 & 0 & 28 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \begin{matrix} \boxed{-7} \\ \boxed{-5} \\ \boxed{-3} \\ \boxed{-1} \\ \boxed{+1} \\ \boxed{+3} \\ \boxed{+5} \\ \boxed{+7} \end{matrix}$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix}
 \boxed{-15} & \boxed{-13} & \boxed{-11} & \boxed{-9} & \boxed{-7} & \boxed{-5} & \boxed{-3} & \boxed{-1} & \boxed{1} & \boxed{3} & \boxed{5} & \boxed{7} & \boxed{9} & \boxed{11} & \boxed{13} & \boxed{15} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 120 & 0 & 105 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 420 & 0 & 840 & 0 & 315 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 840 & 0 & 2940 & 0 & 2520 & 0 & 525 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1050 & 0 & 5880 & 0 & 8820 & 0 & 4200 & 0 & 525 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 840 & 0 & 7350 & 0 & 17640 & 0 & 14700 & 0 & 4200 & 0 & 315 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 420 & 0 & 5880 & 0 & 22050 & 0 & 29400 & 0 & 14700 & 0 & 2520 & 0 & 105 & 0 \\
 0 & 120 & 0 & 2940 & 0 & 17640 & 0 & 36750 & 0 & 29400 & 0 & 8820 & 0 & 840 & 0 & 15 \\
 15 & 0 & 840 & 0 & 8820 & 0 & 29400 & 0 & 36750 & 0 & 17640 & 0 & 2940 & 0 & 120 & 0 \\
 0 & 105 & 0 & 2520 & 0 & 14700 & 0 & 29400 & 0 & 22050 & 0 & 5880 & 0 & 420 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 315 & 0 & 4200 & 0 & 14700 & 0 & 17640 & 0 & 7350 & 0 & 840 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 525 & 0 & 4200 & 0 & 8820 & 0 & 5880 & 0 & 1050 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 525 & 0 & 2520 & 0 & 2940 & 0 & 840 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 315 & 0 & 840 & 0 & 420 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 105 & 0 & 120 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \begin{matrix} \boxed{-15} \\ \boxed{-13} \\ \boxed{-11} \\ \boxed{-9} \\ \boxed{-7} \\ \boxed{-5} \\ \boxed{-3} \\ \boxed{-1} \\ \boxed{+1} \\ \boxed{+3} \\ \boxed{+5} \\ \boxed{+7} \\ \boxed{+9} \\ \boxed{+11} \\ \boxed{+13} \\ \boxed{+15} \end{matrix}$$

Рис. 2. Переходные матрицы группового сигнала при N=4,8 и 16

Используя матрицу переходных вероятностей $T_{k,l}$, можно реализовать рекурсивный алгоритм формирования марковской модели группового сигнала [4] по следующему правилу:

$$F(k, x) = \begin{cases} u_1 & 0 < x \leq T_{k,1} \\ u_2 & T_{k,1} < x \leq T_{k,1} + T_{k,2} \\ u_3 & T_{k,1} + T_{k,2} < x \leq T_{k,1} + T_{k,2} + T_{k,3} \\ \dots & \dots \\ u_N & 1 - T_{k,4} < x \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Выбор кодовых последовательностей для систем связи с расширенным спектром рассмотрен в [2]. В частности, применяются ортогональные функции Радемахера-Уолша. Для рассматриваемых последовательностей Уолша

сгенерированы модели группового сигнала. Приведем численный пример использования указанных уравнений и сформируем стохастическую модель группового сигнала с использованием функции Уолша:

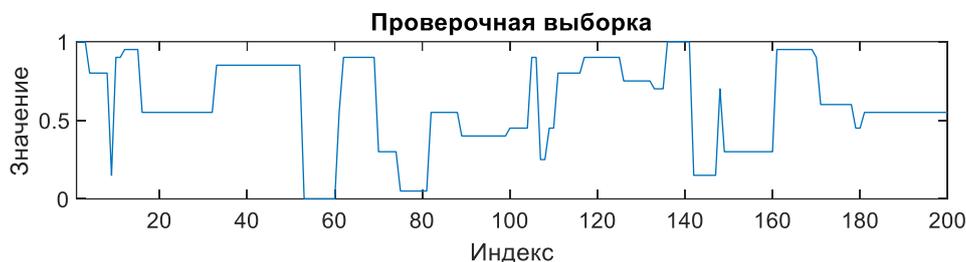


Рис. 3. Временная диаграмма дискретного группового сигнала системы связи с КРК

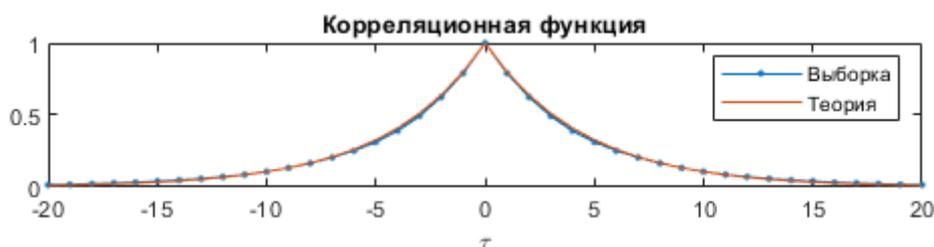


Рис. 4. АКФ сгенерированного случайного процесса (модель группового сигнала)

Заключение

В работе рассмотрена генерация стационарного случайного сигнала. Вводится дискретное приближение на основе импульсного процесса и предложена марковская модель, а также найдены матрицы вероятностей перехода при заданных стационарной вероятности и корреляционной функции (т.е. тип кодовой последовательности). Также приводятся численный пример, позволяющий сгенерировать стационарную цепь Маркова с заданным распределением вероятности и корреляционной функцией. С помощью компьютерного моделирования мы продемонстрировали, что такой подход хорошо работает для генерации стационарной цепи Маркова с произвольным распределением вероятностей.

Список используемых источников

1. Гуревич В. Э., Егоров С. Г. Исследование нелинейных искажений радиосигнала в системе CDMA с квадратурно-амплитудной модуляцией // Информационно-управляющие системы. 2015. № 5. С. 106–115.
2. Дядюнов Н. Г., Сенин А. И. Ортогональные и квазиортогональные сигналы / под ред. Е. М. Тарасенко. М.: Связь, 1977. 224 с.
3. Nakayama J. Generation of Stationary Random Signals with Arbitrary Probability Distribution and Exponential Correlation // The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers. 1994. PP. 917–922.
4. Primak S., Lyandres V., Kontorovich V. Markov models of non-Gaussian exponentially correlated processes and their applications // Phys. Rev. E. 2001. Vol. 63. № 6. PP. 63–72.

УДК 654.739
ГРНТИ 47.49.29

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ

Е. И. Глушанков¹, З. К. Кондрашов², А. В. Суденкова¹, Д. В. Царик³,
Д. А. Цветков¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

²АО «НИИМА «Прогресс»

³ООО «СТЦ»

Рассмотрен общий подход к моделированию различных классов случайных процессов в форме стохастических дифференциальных уравнений. Представлены методы синтеза таких уравнений для скалярных и векторных негауссовских случайных процессов. Приведены примеры моделирования для различных плотностей распределения вероятностей.

случайные процессы, стохастические дифференциальные уравнения, плотности распределения вероятностей, MATLAB

Математическое моделирование различных классов случайных процессов (СП) является актуальной задачей в статистической радиотехнике несмотря на то, что разные подходы к решению этой проблемы разрабатываются уже много лет с момента создания теоретических основ статистической радиотехники [1–3 и др.]. Возможны различные методы моделирования случайных процессов, к которым относятся следующие:

1. Методы, основанные на представлении с помощью многомерных функций и плотностей вероятности, позволяющие точно описать моделируемый процесс. К основным недостаткам такого представления относится громоздкость и неудобство практического использования многомерных функций и плотностей.

2. Методы, основанные на представлении с помощью импульсных характеристик и ортогональных функций, которые как правило, предназначены для описания стационарных СП.

3. Методы, основанные на представлении в форме стохастических дифференциальных уравнений (СДУ), которые позволяют описывать в общем случае нестационарные негауссовские случайные процессы [4–12]. Достоинством этого метода является также возможность получения моделей

непосредственно в программных средах MATLAB и SIMULINK, а также использование полученных СДУ в качестве уравнения состояния для синтеза алгоритмов нелинейной фильтрации.

Рассмотрим моделирование различных классов СП в форме СДУ. В общем случае векторное СДУ для моделирования многомерных негауссовских случайных процессов (СП) имеет вид:

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t)] + G[X(t)]V(t), \quad (1)$$

где $X(t)$ – моделируемый N -мерный векторный СП, $F[X(t)]$ – N -мерный векторный и $G[X(t)]$ – $N \times N$ -мерный матричный коэффициенты СДУ, $V(t)$ – N -мерный векторный белый гауссовский шум (БГШ) со спектральной плотностью мощности (СПМ) Q . Задача синтеза СДУ заключается в определении по вероятностным характеристикам процесса $X(t)$ коэффициентов $F[X(t)]$ и $G[X(t)]$ и Q . Общий подход к синтезу СДУ схематично представлен на рис. 1.

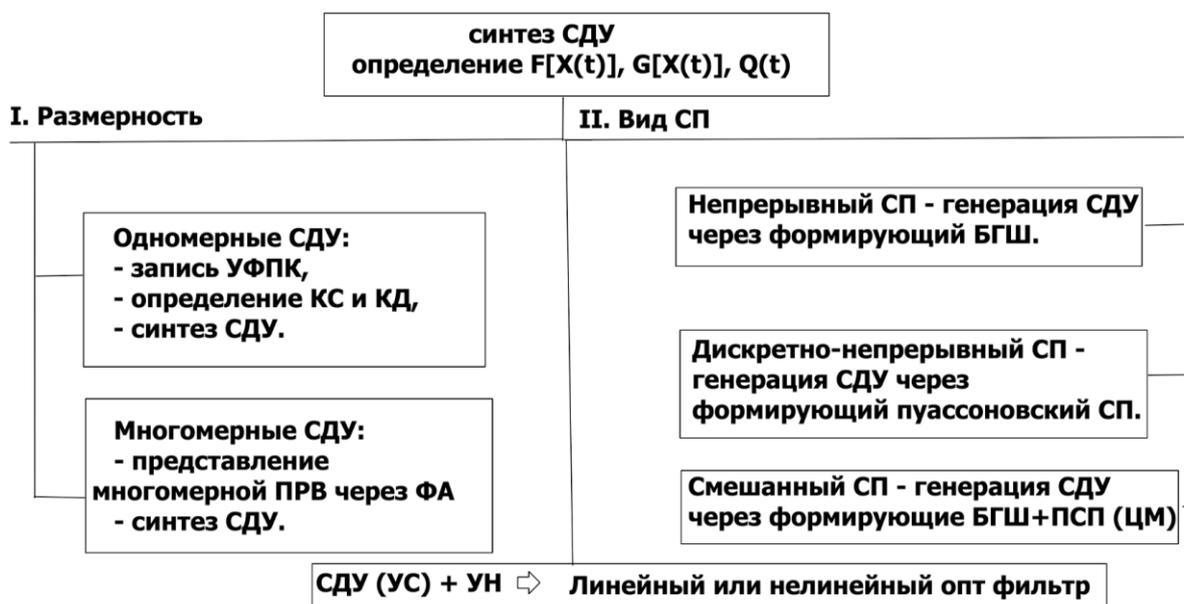


Рис. 1. Общий подход к синтезу различных классов СДУ

Моделирование одномерных (скалярных) случайных процессов

Процесс моделирования одномерных непрерывных СП включает следующие этапы [4, 5, 7, 9–11]:

- по известной плотности распределения вероятностей (ПРВ) СП записывается уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (УФПК);
- по УФПК определяются коэффициенты сноса и диффузии СП,;
- по этим коэффициентам находятся требуемые параметры (коэффициенты и СПМ БГШ) СДУ.

Пример 1. Одномерное СДУ для двухстороннего распределения Лапласа имеет вид [4]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\frac{1}{2} \operatorname{sgn} x(t) + \sqrt{\frac{1}{2\beta}} v(t),$$

где β – параметр распределения, $v(t)$ – скалярный БГШ со СПМ q .

При моделировании дискретно-непрерывных СП в качестве формирующего шума $v(t)$ используется пуассоновская последовательность дельта-импульсов [5, 7]. Возможно также моделирование смешанных процессов в СДУ, для которых используются два формирующих шума – БГШ и пуассоновская последовательность, что подробно рассмотрено в [6].

Моделирование многомерных (векторных) случайных процессов

Основной подход, принятый при моделировании векторных СП, состоит в использовании предложенного в [13] метода функциональной аппроксимации (ФА) многомерных ПРВ. В данном случае многомерная плотность записывается в виде:

$$W(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^N w(x_i) \left(1 + \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} \frac{r_{ij}}{r_{jj} r_{ii}} x_i^0(t) x_j^0(t) \right), \quad (2)$$

где $W(\mathbf{x})$ – N -мерная плотность векторного СП $X(t)$, $w(x_i)$ – одномерные плотности скалярных составляющих, $x_i^0(t) = x_i(t) - m\{x_i(t)\}$ – центрированное значение $x_i(t)$, N – размерность векторного СП, r_{ij} – элементы корреляционной матрицы (КМ) процесса. Таким образом, аппроксимация (2) векторного СП $X(t)$ справедлива с точностью до одномерных ПРВ, составляющих векторного процесса и элементов КМ, поэтому ФА можно назвать квазигауссовской аппроксимацией многомерной плотности.

В работах [9 – 12] на основе ФА был получен ряд векторных СДУ.

Пример 2. Пусть векторный СП $X(t)$ имеет K -распределение, которое используется при описании огибающей сигнала над морской поверхностью [14–16]. Тогда, преобразовав многомерную ПРВ на основе ФА получим многомерное СДУ вида:

$$\frac{\partial x_k(t)}{\partial t} = \frac{B_0}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x_k} \ln \left(\frac{2}{a_k \Gamma(v_k + 1)} K_{v_k} \left(\frac{x_k}{a_k} \right) \left(\frac{x_k}{2a_k} \right)^{v_k + 1} \right) + \frac{\sum_{j=1 \neq k}^N \frac{r_{jk}}{r_{jj} r_{kk}} x_j^0(t)}{1 + \sum_{i=2}^N \sum_{j=1 \neq k}^N \frac{r_{jk}}{r_{jj} r_{kk}} x_j^0(t)} \right) + \sqrt{B_0} v_k(t),$$

где B_0 – коэффициент диффузии, $a_k > 0$, $v_k > -1$ – параметры масштаба и формы K -распределения соответственно, $K_{v_k}(\cdot)$ – модифицированная функ-

ция Бесселя второго рода порядка ν_k , $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция. На рис.2 показаны графики ПРВ $w_0(x_k)$ для некоторых значений параметра формы ν_k и единичного масштаба, то есть $a_k = 1$, черно-белые кривые соответствуют теоретической ПРВ [15], а цветные получены по синтезированным СДУ. Сравнение по критерию согласия Колмогорова-Смирнова показало совпадение с вероятностью 0,80–0.83 для различных параметров распределения.

Таким образом, использование СДУ позволяет моделировать различные классы нестационарных негауссовских СП, причем результаты совпадают с достаточно высокой точностью с теоретическими.

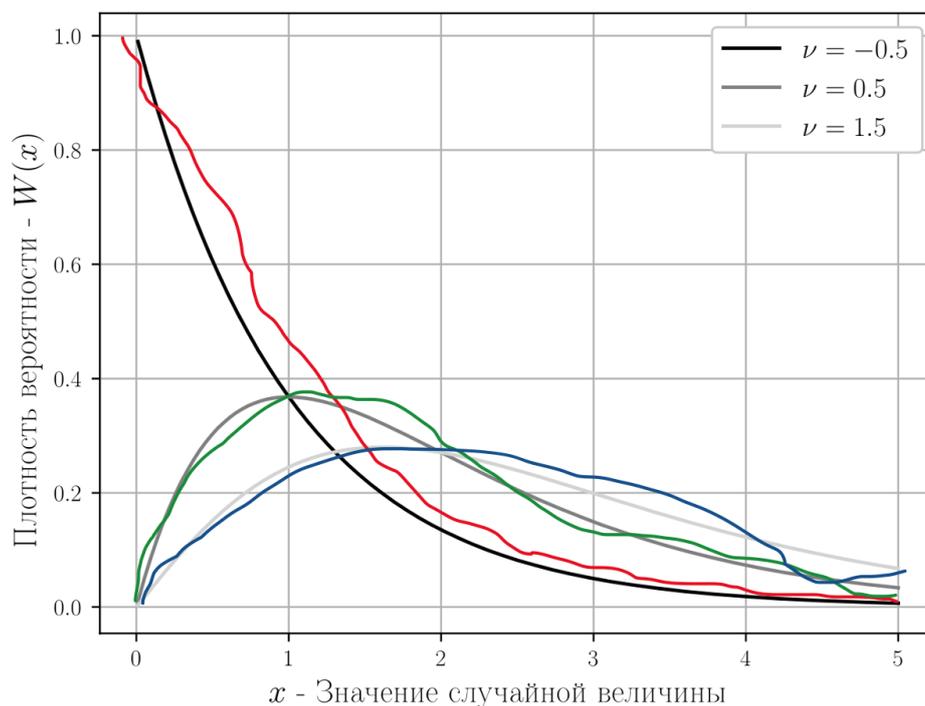


Рис. 2. Моделирование К-распределения

Список используемых источников

1. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. Том 2. М.: Советское радио, 1962. 831 с.
2. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и Связь, 1989. 656 с.
4. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Широков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
5. Primak S., Kontorovich V., Lyandres V. Stochastic Methods and Their Applications to Communications: Stochastic Differential Equations Approach. Wiley, 2004. 439 p.
6. Primak S., Lyandres V., Kontorovich V. Markov models of non-Gaussian exponentially correlated processes and their applications // Physical Review, 2001. E. 63(6). PP. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.63.061103>.

7. Глушанков Е. И., Конторович В. Я. Математическое моделирование сигналов различной пространственной когерентности в системах радиосвязи // Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. Л.: Издательство ЛГУ, 1991. С. 432–466.
8. Шелухин О. И. Негауссовские процессы в радиотехнике. М.: Радио и связь, 1998. 310 с.
9. Глушанков Е. И., Колесников А. Н., Конторович В. Я. Математическое моделирование каналов связи в радиорелейных и тропосферных линиях. Л.: ВАС, 1989. 90 с.
10. Глушанков Е. И., Кирик Д. И., Лялина А. Ж. Моделирование и оценивание параметров частично-когерентных сигналов в радиотехнических системах // Труды учебных заведений связи, 2021. Т. 7. № 3. С. 16–24.
11. Глушанков Е. И., Конторович В. Я., Караваев Д. А. Математическое моделирование сигналов в непрерывных каналах связи в форме стохастических дифференциальных уравнений // Системы управления, связи и безопасности, 2023. № 4. С. 1–35.
12. Glushankov E., Lyalina A., Rylov E. Modeling the satellite communication channel based on stochastic differential equations // CEUR Workshop Proceedings, 2021. PP. 52–59.
13. Казаков И. Е., Мальчиков С. В. Анализ стохастических систем в пространстве состояний. М.: Наука, 1983. 384 с.
14. Jakeman E., Pusey P. N. A Model for Non-Rayleigh Sea Echo // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1976. Vol. 24. № 6. PP. 806–814.
15. Jakeman E. On the Statistics of K-Distributed Noise // Journal of Physics A: Mathematical and General, 1980. Vol. 13. PP. 31–48.
16. Iskander R. B. The Characteristic Function of the K-Distributed Interference // XII European Signal Processing Conference EUSIPCO. Vienna, 2004. Vol. 1. PP. 1429–1432.

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО КОДИРОВАНИЯ И СИГНАЛЬНО-КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЛИНИЯХ РАДИОСВЯЗИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ

Е. И. Глушанков, С. А. Митянин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье исследуется эффективность совместного применения алгоритмов пространственно-временного кодирования и сигнально-кодowych конструкций в условиях аддитивного белого гауссовского шума, предназначенных для повышения спектральной и энергетической эффективности в радиопортах систем автономного судовождения.

пространственно-временное кодирование, эквидистантные линейные антенные системы, сигнально-кодowych конструкции, портовые системы автономного судовождения

В последнее время достаточно актуальными стали вопросы разработки систем автономного судовождения (САС), позволяющие осуществлять автоматическое и дистанционное управление надводными судами [1].

В таких системах является актуальной проблема повышения помехоустойчивости канала радиосвязи с сохранением высокой скорости передачи данных (повышение энергетической и спектральной эффективности радиопорта), а также с сохранением небольших физических размеров антенных систем.

Правильный выбор сочетания использования методов пространственно-временного кодирования и сигнальных созвездий QAM позволит повысить энергетическую и спектральную эффективность и выбрать оптимальные параметры антенных систем на приеме и передаче.

Глобально САС можно разделить на два вида: портовые системы и системы навигации на открытой воде [1].

Для каждого из них характерны различные характеристики канала и требования к нему.

В данной статье рассматриваются портовые системы автономного судовождения. К ним относятся системы навигации буксиров, бункеровщиков, нефте- и мусоросборщиков, разъездных катеров. Развитие автономного портового флота позволит модернизировать инфраструктуру современного морского порта и обеспечить движение автономных крупнотоннажных грузовых судов в портовой акватории.

В портовых САС обычно используются частоты 4900–6050 МГц. Основные виды передаваемой информации: телеметрия, команды управления, видеопотоки. Доступность связи должна составлять не менее 99,99 %. Для различных каналов, в зависимости от требований к помехоустойчивости и скорости передачи информации для конкретного типа канала, применяются различные сигнально-кодовые конструкции: QPSK, QAM16-QAM1024.

Основными (базовыми) методами манипуляции являются частотная и фазовая. Ширина основной части спектра таких сигналов при двоичной передаче информации составляет величину порядка скорости передачи бит. В ряде случаев такие полосы не могут быть выделены и приходится применять методы манипуляции, позволяющие использовать полосу рабочих частот более экономно. Такие сигналы называют многопозиционными.

Прямым методом повышения спектральной эффективности может явиться увеличение длительности сигнала при переходе к многопозиционной системе с сохранением неизменной скорости передачи информации, если при этом отказаться от энергетически выгодных (например, ортогональных) ансамблей сигналов, а использовать метод фазовой модуляции [2].

Наряду с фазовой модуляцией может производиться дополнительная амплитудная модуляция практически без расширения полосы занимаемых частот. Такой метод модуляции получил название амплитудно-фазовой модуляции (АФМ) (англ. Amplitude Phase Shift Keying, APSK), но чаще всего он именуется квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ) (англ. Quadrature Amplitude Modulation, QAM) [2].

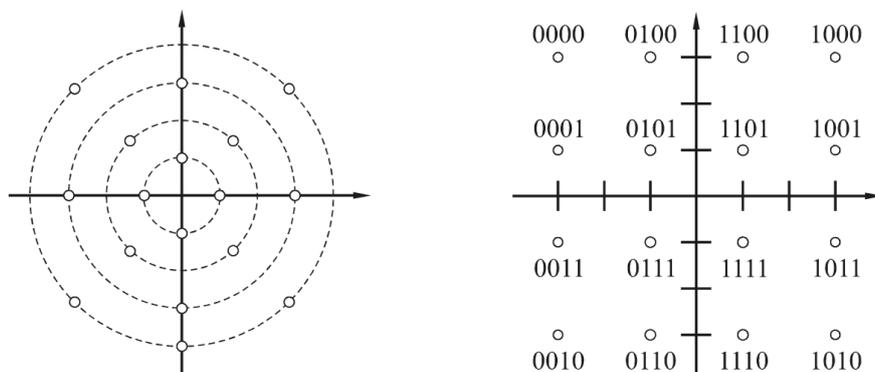


Рис. 2. Примеры созвездий QAM-сигналов.

Пространственно-временное блочное кодирование в системах связи играет важную роль при передаче информации в каналах с замираниями. Использование разнесения в многоэлементных антенных системах позволяет понизить вероятность битовой ошибки.

Простейшая форма пространственно-временного блочного кода для двух передатчиков была предложена Аламоути [3]. Скорость кодирования при этом составит 1. Матрица передачи определена следующим образом:

$$G_2 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix},$$

где x_1 – первый комплексный символ сигнала, x_2 – второй комплексный символ сигнала, $*$ – символ комплексного сопряжения (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Процесс кодирования и передачи для двух передатчиков

Временной слот	Антенна 1	Антенна 2
1	x_1	x_2
2	$-x_2^*$	x_1^*

В случае четырех передающих антенных элементов применялась следующая матрица ортогональных сигналов [4]:

$$G_4 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ -x_2 & x_1 & -x_4 & x_3 \\ -x_3 & x_4 & x_1 & -x_2 \\ -x_4 & -x_3 & x_2 & x_1 \\ x_1^* & x_2^* & x_3^* & x_4^* \\ -x_2^* & x_1^* & -x_4^* & x_3^* \\ -x_3^* & x_4^* & x_1^* & -x_2^* \\ -x_4^* & -x_3^* & x_2^* & x_1^* \end{bmatrix}$$

При этом скорость кодирования составит уже $1/2$.

Необходимость создания программного комплекса для анализа совместного применения пространственно-временного кодирования и использования сигнально-кодовых конструкций в каналах радиосвязи обусловлена, в первую очередь, важностью предварительной оценки характеристик помехоустойчивости при различных значениях отношения мощности сигнал-шум при заданных требованиях к скорости передачи.

Для пространственно-временного кодирования в данной статье рассматриваются комбинации вариантов эквидистантных линейных антенных систем с межэлементным расстоянием $\lambda/2$:

- на передаче 2 или 4 элемента;
- на приеме 4, 8 или 16 элементов.

Для сравнения в отсутствие ПВК для передачи применялось мультиплексирование, все антенные элементы на передаче в каждом отсчете времени передавали один и тот же сигнал.

В качестве сигнально-кодовых конструкций рассмотрены основные типы созвездий, применяемых в САС:

- QAM256;
- QAM512;
- QAM1024.

Рассмотрим результаты моделирования для различных размерностей QAM-созвездий отдельно, поскольку выбор размерности созвездия в каналах радиосвязи САС в большей степени обусловлен требованиями к скорости передачи информации.

Для анализа эффективности были построены графики зависимости вероятности ошибки на бит (BER) от отношения сигнал/шум (SNR) на логарифмической шкале.

Результаты анализа для QAM256 и QAM 1024 представлены на рисунках 3 и 4. В случае использования QAM512 результаты аналогичные.

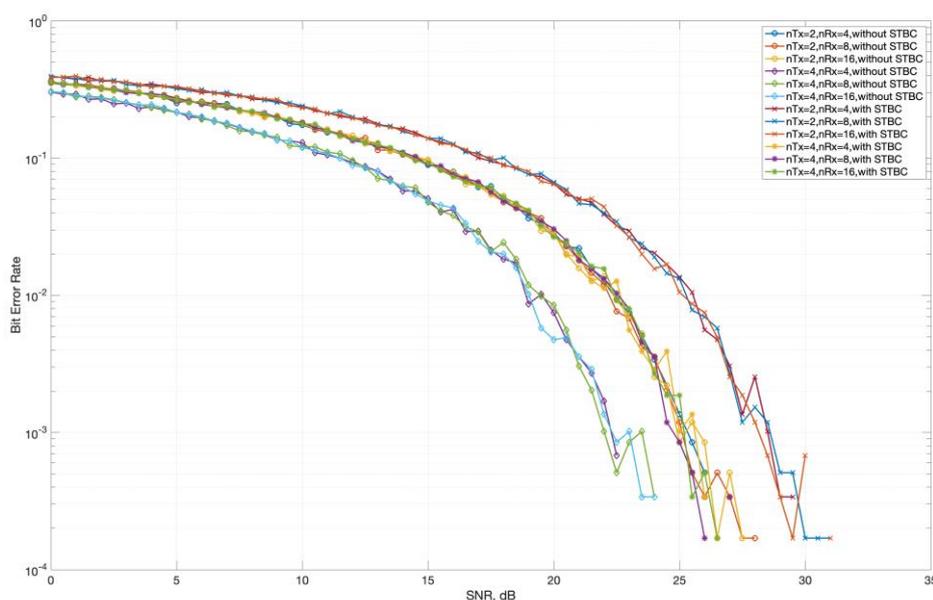


Рис. 3. Результат моделирования BER для QAM128.

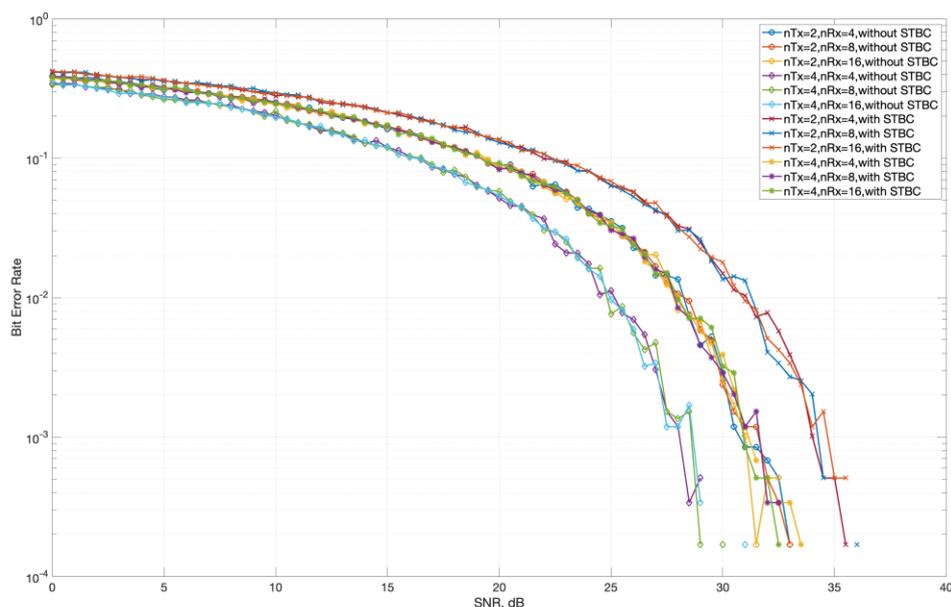


Рис. 4. Результат моделирования BER для QAM1024.

В результате моделирования становится ясно, что увеличение числа элементов на передаче дает больший эффект, нежели увеличение числа элементов на приеме при заданных исходных данных.

Наиболее эффективным с точки зрения уменьшения вероятности ошибки среди рассмотренных вариантов является применение 4-элементной антенной решетки на передаче и приеме без использования ПВК. Такой вариант позволит обеспечить большую скорость передачи относительно ПВК с четырьмя элементами и сохранить небольшие физические размеры антенных систем.

Список использованных источников

1. Овсянкина О. Автономное судовождение // Всероссийская еженедельная газета «Транспорт России», 2023. URL <https://transportrussia.ru/razdely/it-tekhnologii/10398-avtonomnoe-sudovozhdenie.html> (дата обращения 12.03.2024).
2. Варгаузин В. А., Цикин И. А., Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 352 с.
3. Шлома А. М., Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Шумов А. П. Новые алгоритмы формирования и обработки сигналов в системах подвижной связи. Горячая линия – Телеком, 2008. 344 стр.
4. Jafarkhani H. Space-time coding. Theory and practice. New York: Cambridge University Press, 2005. 30 p.

УДК 621.396.96
ГРНТИ 47.49.02

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ КООРДИНАТОМЕТРИИ И СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ЗАМИРАНИЙ

Е. И. Глушанков. А. Д. Мухина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время одной из приоритетных задач в системах радиосвязи, радиолокации и радионавигации является различение источников сигналов и определение их пространственного положения, даже если источник излучения имеет крайне малые размеры. С целью решения этой задачи анализируются различные алгоритмы обнаружения угла прихода сигнала, а также определения координат источника сигнала. В рамках данной работы в Simulink была разработана модель совместного использования алгоритмов сверхразрешения и координатометрии в условиях замираний. В статье представлен итоговый анализ данных, полученных в результате моделирования.

замирания, DoA алгоритмы, триангуляция

В настоящее время для определения направления прихода сигналов используются методы Direct of Arrival (DoA). Среди всех алгоритмов выделяются позволяющие разрешить несколько целей на сколь угодно малом расстоянии. Эта особая группа алгоритмов получила название алгоритмы сверхразрешения. К ним относятся алгоритмы, использующие для вычислений ковариационные матрицы сигналов, например, MVDR и MUSIC. К более простым алгоритмам можно отнести метод формирования луча – Beamscan.

Методы сверхразрешения позволяют повысить точность определения направления сигнала. Что, в свою очередь, позволяет приемнику определить, в каком направлении находится источник излучения. Однако в ряде задач, особенно радиолокации и радионавигации, знания одного лишь направления недостаточно. Необходимо точно знать координаты источника. При такой постановке задачи необходимо использовать методы координатометрии, которые в совокупности с методами сверхразрешения позволяют с большей вероятностью правильно определить местоположение нескольких объектов независимо от их положения друг от друга.

На практике сигналы распространяются в неоднородной среде и могут быть искажены различными факторами, такими как многолучевое распространение, отражения и препятствия на пути следования сигнала. Влияние замираний на обнаружение сигналов, распространяющихся по каналам с

многолучевостью, было рассмотрено в [1, 2] Эти работы были посвящены исследованию определению направления прихода сигналов.

В рамках данного исследования анализируется воздействие замираний на комбинированные методов сверхразрешения и триангуляции. Для этого была разработана структурная схема (рис. 1), представляющая собой процесс приема сигнала тремя разнесенными в пространстве объектами с многоэлементными антеннами.

Схема включает в себя источник излучения (ИИ), модулятор, блок выбора канала, 3 приемника, блок определения направления прихода сигнала, блок определения координат посредством метода триангуляции и блок расчета вероятности ошибки.



Рис. 1. Структурная схема модели

Метод триангуляции был выбран за счет простоты его реализации и достаточно высокой точности определения координат источника. Главный недостаток, а именно, невысокая точность измерений углов, компенсируется за счет применения методов сверхразрешения.

Чтобы смоделировать условия передачи сигнала, приближенные к реальным (учет затуханий, помех, вызванных естественным путем, переотражений), сигнал передается по каналам Райса, Рэлея и каналу с АБГШ.

Рэлеевский канал моделирует ситуацию, когда сигнал существенно ослаблен, и только отраженные сигналы достигают приемника. В этом случае амплитуда сигнала подчиняется рэлеевскому распределению. Рэлеевский канал обычно используется для моделирования ситуаций, когда нет прямой видимости на источник излучения, например, внутри зданий или в городских условиях с высокими зданиями [3].

Райсовский канал, в свою очередь, описывает модель приема, когда прямой сигнал присутствует вместе с отраженными сигналами. В этом случае амплитуда сигнала подчиняется распределению Райса. Райсовский канал используется для моделирования ситуаций, когда есть прямой вид на источник излучения, например, на открытых пространствах [3].

Основное отличие между этими двумя каналами заключается в наличии или отсутствии прямой видимости.

Сравнение эффективности по каналам Райса, Рэлея и каналу с АБГШ проводилось по вероятности правильного определения координат при изменении двух параметров: отношения сигнал/шум (SNR) и задержки по фазе (рис. 2).

При изменении SNR алгоритм MUSIC проводил оценку координатометрии с наибольшей постоянной точностью в каждом из трех каналов. Вероятность в условиях замираний снизилась и при распространении сигнала по каналу Райса максимальная вероятность составила 78 % (рис. 2б), по Рэлея – 56 % (рис. 2в).

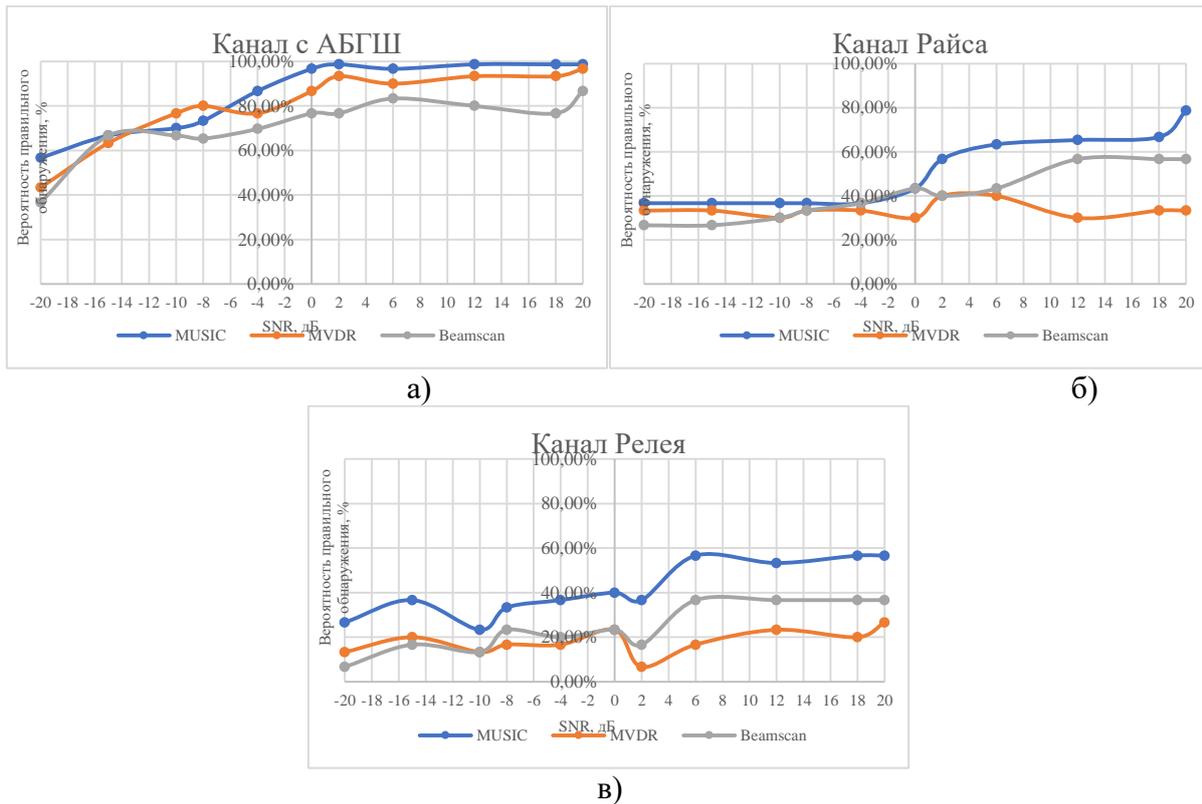


Рис. 2. Вероятность правильного определения координат при изменении SNR: а) по каналу с АБГШ; б) по каналу Райса; в) по каналу Релея

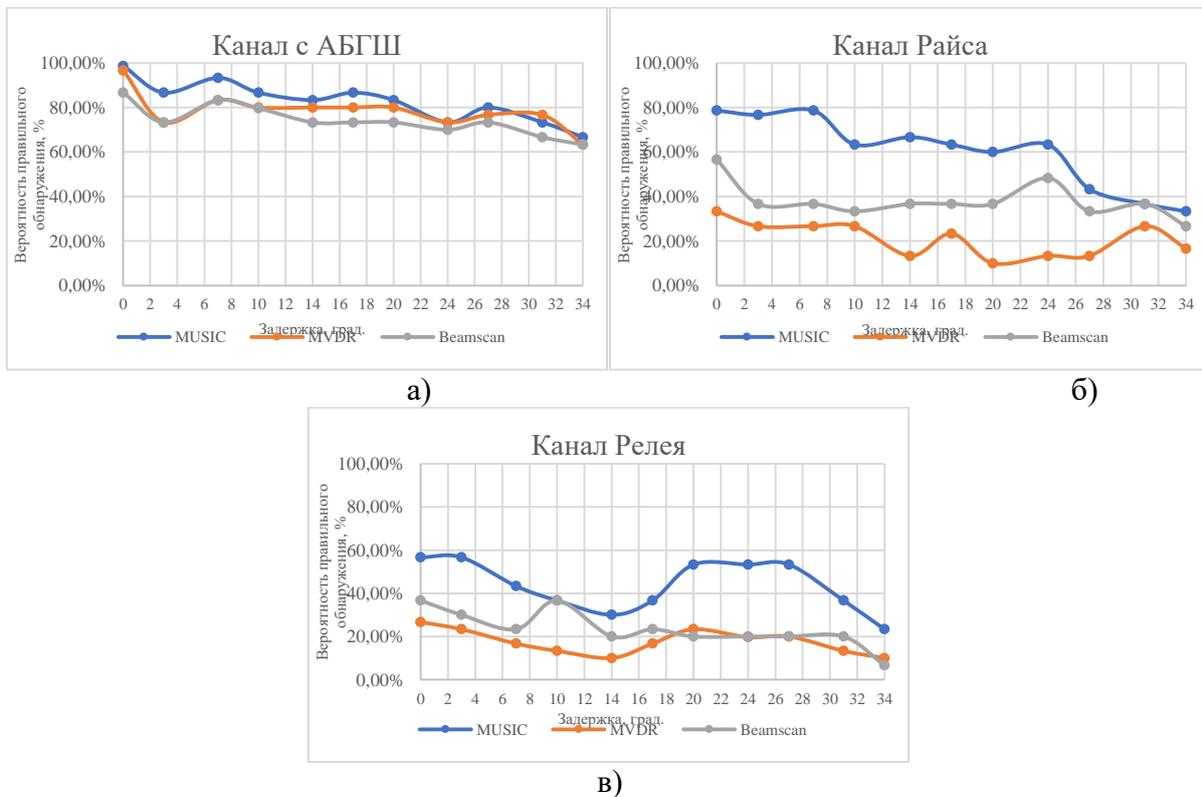


Рис. 3. Вероятность правильного определения координат при изменении задержки фазы: а) по каналу с АБГШ; б) по каналу Райса; в) по каналу Релея

В том случае, когда в ходе передачи сигнал подвергался фазовым изменениям, большей постоянной точностью также обладал алгоритм MUSIC – не меньше 57, 36 и 23 %. Метод Beamscan в условиях замираний показал лучший результат, чем MVDR – в канале Райса минимальная разница составила 9%, в канале Релея при задержке от 19° до 23° MVDR работает лучше. Результаты представлены на рисунке 3.

На рисунках 4а, 4б и 4в отображено сравнение изменений вероятности правильного определения в каналах для каждого алгоритма. Вне зависимости от метода сверхразрешения вероятность правильного определения координат уменьшалась при прохождении сигнала через каналы с замираниями.

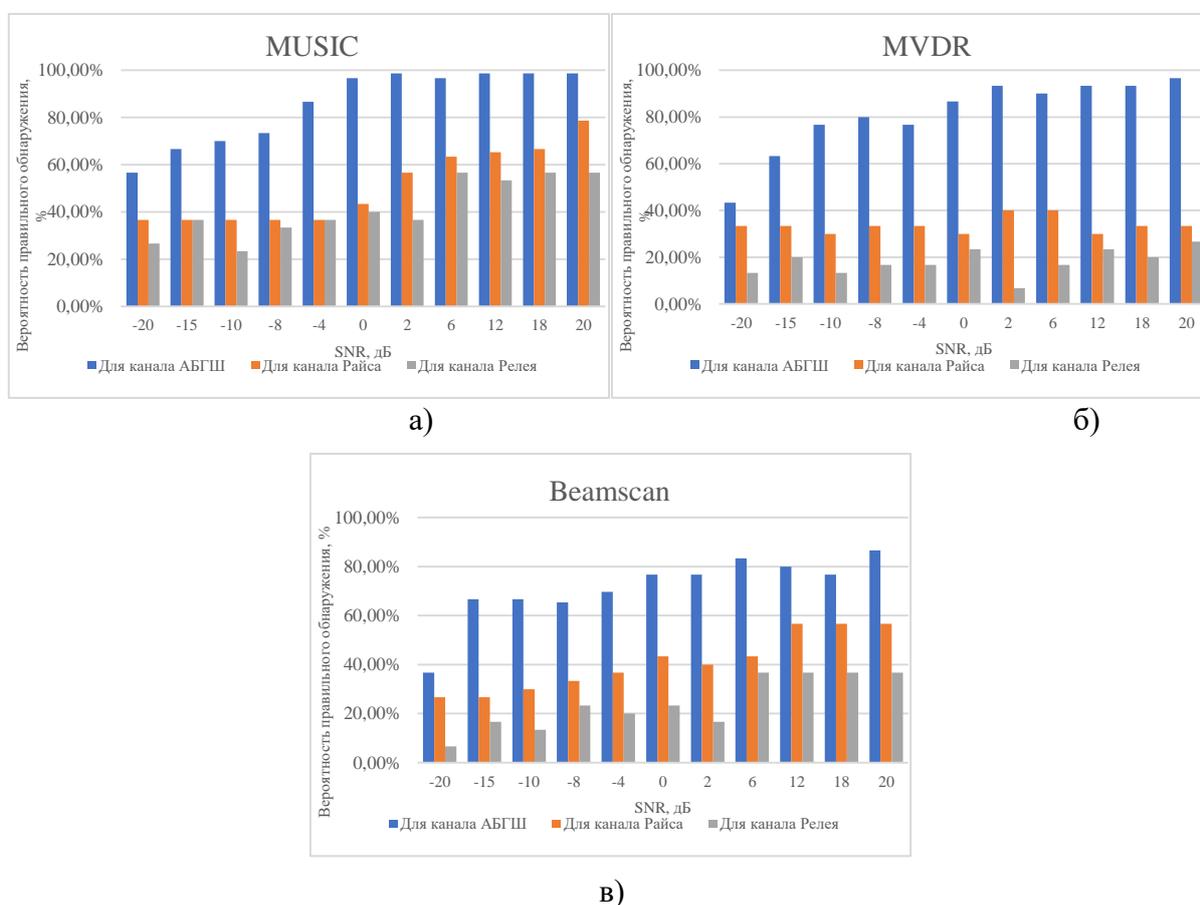


Рис. 4. Сравнение вероятности правильного определения координат при изменении SNR: а) методом MUSIC; б) методом MVDR; в) методом Beamscan

Также было проведено сравнение эффективности методов при изменении фазы (рис. 5а, 5б, 5в). В канале Релея увеличение задержки по фазе позволяет улучшить вероятность правильного приема сигнала, в то время как в канале Райса такого влияния не оказывается.

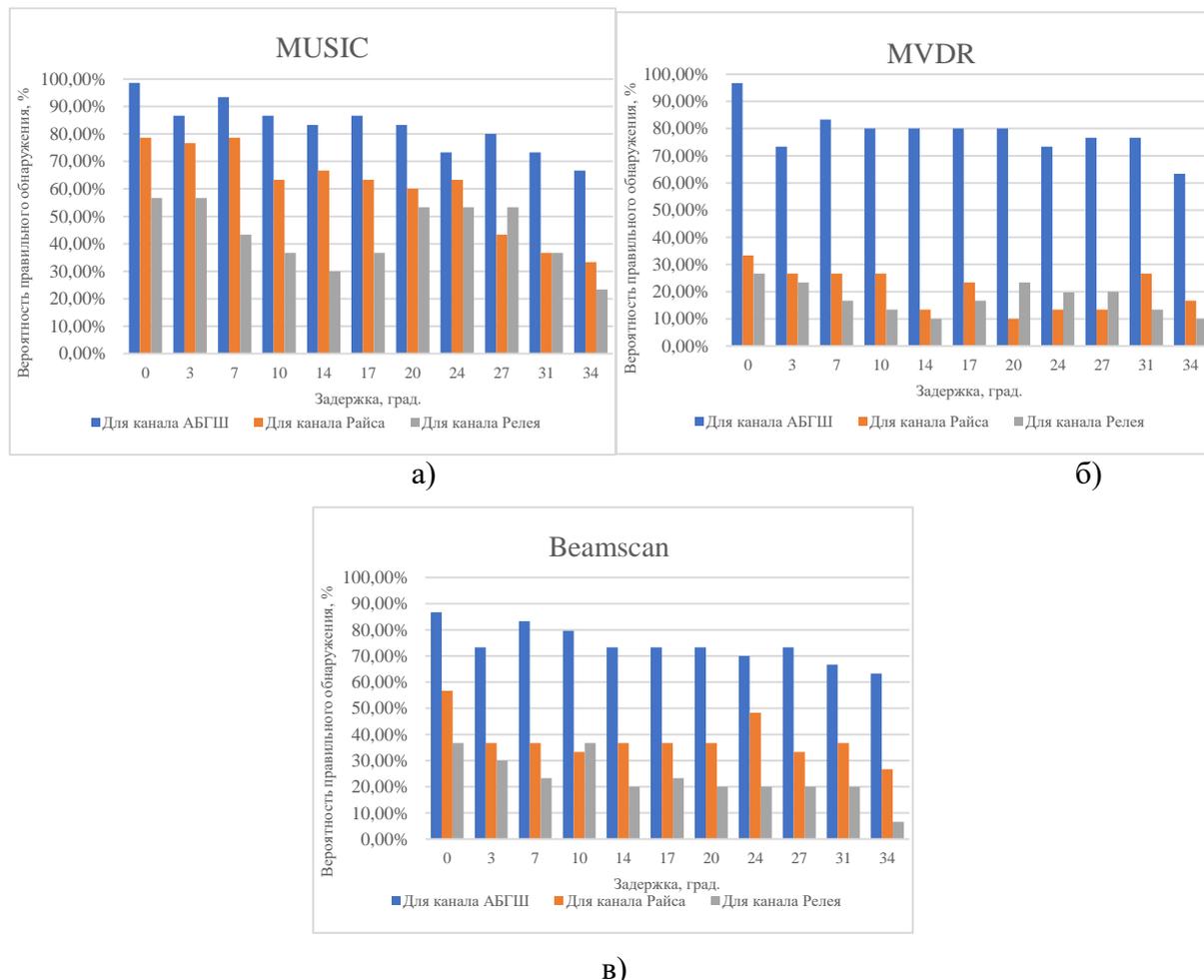


Рис. 5. Сравнение вероятности правильного определения координат при изменении фазовой задержки: а) методом MUSIC; б) методом MVDR; в) методом Beamscan

Список используемых источников:

1. Глушанков Е. И., Мухина А. Д. Влияние многолучевости на обнаружение сигналов методами сверхразрешения // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2022). Сборник лучших докладов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции магистрантов и их руководителей. Сост. Н.Н. Иванов. Санкт-Петербург, 2023. С. 144–148.
2. Глушанков Е. И., Мухина А. Д. Обнаружение коррелированных сигналов, распространяющихся по многолучевым каналам с релейскими и райсовскими замираниями, методами сверхразрешения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С. И. Макаренко; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 172–175.
3. Ермолаев В. Т. Флакман А. Г. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи. Нижний Новгород, 2006.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 49.31.01

РАЗРАБОТКА РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА ПРИ АКТИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Е. И. Глушанков, К. А. Родина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Целью работы является разработка алгоритма для определения местоположения источника сигнала с помощью разностно-дальномерного метода. Суть метода заключается в определении местоположения источника сигнала путем измерения времени прихода сигнала в различные точки пространства. Основными достоинствами данного метода являются простые требования к антенне, а также к выбору места и калибровке. Моделирование осуществляется посредством пакета прикладного моделирования MATLAB. В результате работы вычисляется точность определения координат источника сигнала.

активная радиолокация, алгоритмы позиционирования, разностно-дальномерный метод, измерение координат цели

Одно из важнейших направлений современной радиолокации – это создание методов для определения положения источника радиоизлучения. Чаще всего для решения данной задачи применяются алгоритмы позиционирования, которые основаны на использовании поверхностей или линий положения:

- угломерный;
- разностно-дальномерный;
- угломерно-разностно-дальномерный.

В данной работе рассматривается система активной локации с пассивным ответом (рис. 1), в которой источник сигнала является неподвижным. Активная радиолокация позволяет определить все координаты цели, от которой отражается переданный сигнал.

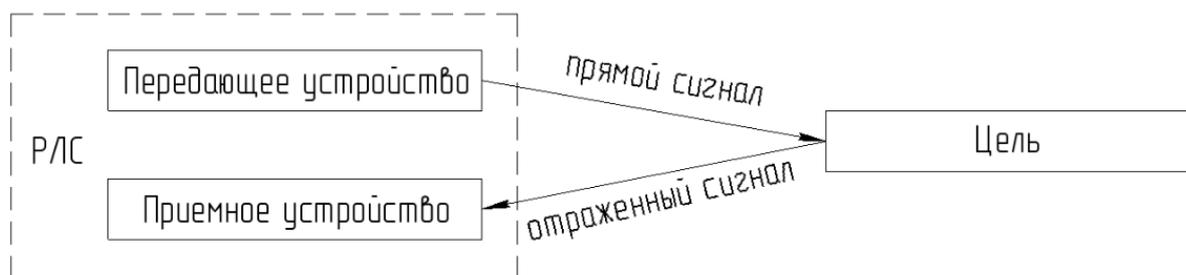


Рис. 1. Активная локация с пассивным ответом

Каждый метод позиционирования имеет свои преимущества и недостатки, поэтому для выбора метода определения местоположения источника сигнала рассмотрим каждый из них.

Угломерный метод основан на измерении угловых направлений на цель минимум в двух приемных пунктах, разнесенных на некоторое расстояние. Для определения координат объекта достаточно измерить значения азимутальных углов β_1 и β_2 (рис. 2). Таким образом, местоположение определяется точкой пересечения двух прямых, каждая из которых является линией положения.

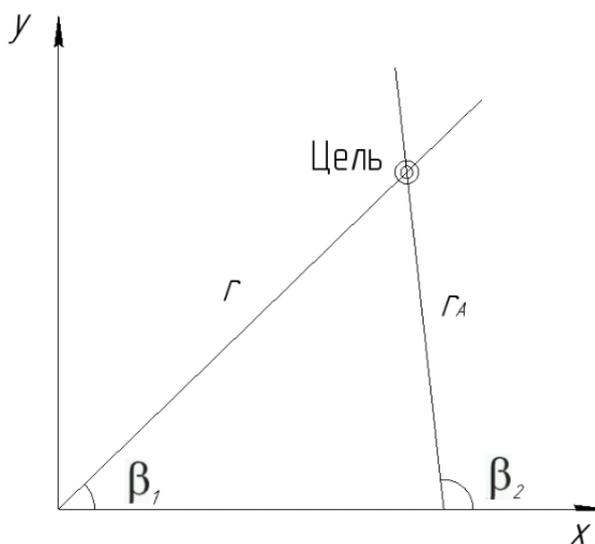


Рис. 2. Угломерный метод определения местоположения объектов

Достоинством угломерного метода заключается в простоте его технической реализации, возможность независимого обзора в каждом из пунктов, однако неодновременность пеленгации может привести к дополнительным ошибкам измерения координат движущейся цели. Существенным недостатком метода является наличие большого количества ложных обнаружений несуществующих источников при большом количестве излучающих объектов в зоне действия пеленгатора, низкая точность измерения координат, метод работает по непрерывному излучению [1, 2].

Разностно-дальномерный метод заключается в определении местоположения источника сигнала путем измерения времени прихода сигнала в различные точки пространства. Для каждой такой точки (приемника) сравнивается разность во времени прихода. Зная местоположение всех приемников, можно найти местоположение источника сигнала [3]. Линиями положения будут гиперболы с фокусами в точках расположения приемных пунктов. Местоположение цели является точкой пересечения гипербол (рис. 3).

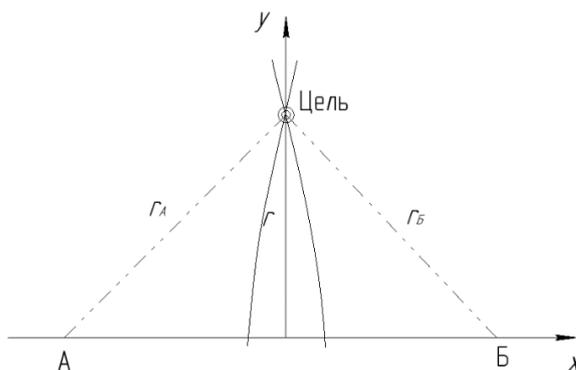


Рис. 3. Разностно-дальномерный метод определения местоположения объектов

К преимуществам данного метода относятся: более простые требования к антенне, к выбору места и калибровке. Основными недостатками считаются чувствительность к источникам декорреляции сигнала и потребность в более точной синхронизации приёмников по времени.

Угломерно-разностно-дальномерный метод основан на измерении угловых направлений на источник излучения и разности расстояний от него до приемных пунктов (рис. 4).

Для определения плоскостных координат следует измерить только азимут и разность расстояний от пунктов приема до цели.

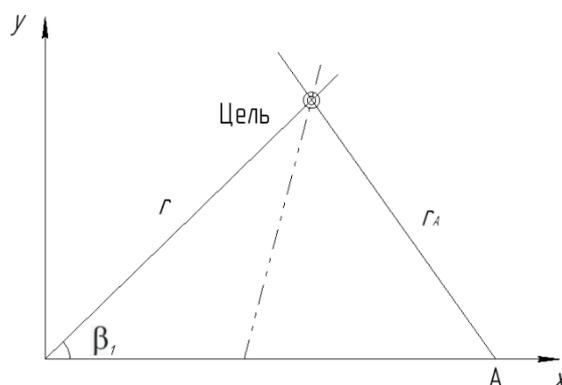


Рис. 4. Угломерно-разностно-дальномерный метод определения местоположения объектов

При работе с активной радиолокацией, где накладываются низкие требования к антенной системе, оптимально использовать разностно-дальномерный метод. Теперь необходимо провести оценку погрешности определения цели выбранного метода. В качестве инструмента для реализации разностно-дальномерного алгоритма позиционирования был выбран пакет прикладного моделирования MATLAB.

Цель находится между тремя приемными устройствами (рис. 5). На вход каждого приемника поступает сигнал, с разной задержкой. Задержка определяется с помощью расчёта корреляции между принятым сигналом и эталонным.

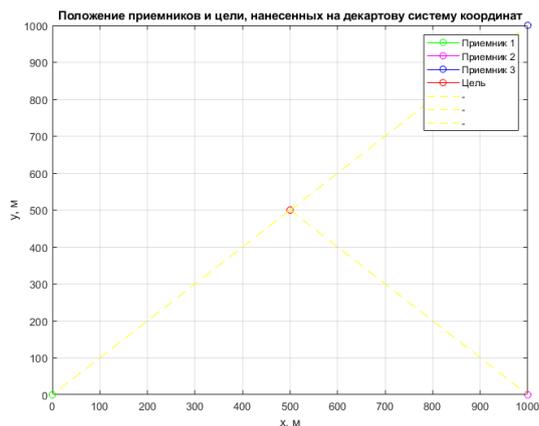


Рис. 5. Положение приемников и цели, нанесенных на декартову систему координат

Задержка позволяет определить разницу расстояний приемников до цели. На основе этой разности строится гипербола, между которыми находится цель (рис. 6).

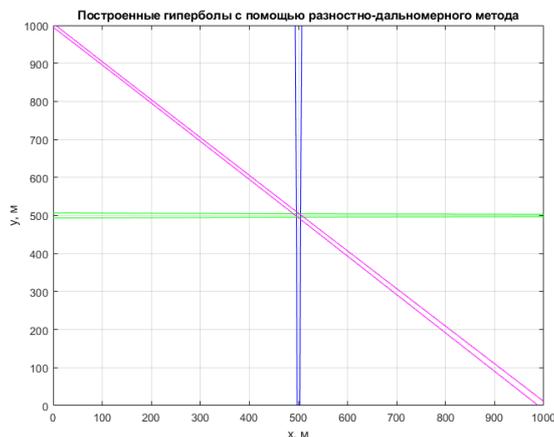


Рис. 6. Построенные гиперболы с помощью разностно-дальномерного метода

Последним шагом является определение центра пересечения гипербол. Для повышения точности определения центра была произведена линейная интерполяция. Результат определения цели представлен на рис. 7.

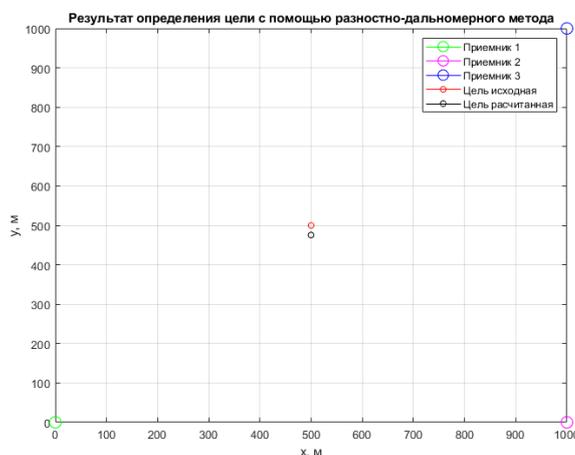


Рис. 7. Результат определения цели с помощью разностно-дальномерного метода

Погрешность определения цели с помощью разностно-дальномерного метода зависит от удаленности цели от центра между приемниками. Рассчитанные погрешности в зависимости от координат цели представлены таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Рассчитанные погрешности в зависимости от координат цели

Координаты цели, м	Погрешность по оси X, м	Погрешность по оси Y, м
500, 500 (центр)	0,3	24,3
550, 450	50,3	25,7
600, 400	100,3	75,7
400, 400	7,6	29,2

В результате данной работы был реализован алгоритм определения местоположения цели с помощью разностно-дальномерного метода, а также оценена его точность. Точность может быть повышена с помощью интерполяции различными методами для увеличения числа точек на гиперболе, а также при рассмотрении систем с большим числом приемников.

Список используемых источников

1. Бердышев В. П., Гарин Е. Н., Фомин А. Н. Радиолокационные системы: учеб. / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.] / Под общ. ред. В.П. Бердышева. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 400 с.
2. Аверьянов В. Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. Минск: Наука и техника, 1978.
3. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. //Радиотехника. 2004.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29**КООРДИНАТОМЕТРИЯ БЛИЗКОНАХОДЯЩИХСЯ
ИСТОЧНИКОВ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АЛГОРИТМА СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ MUSIC****Е. И. Глушанков¹, Д. С. Сыроветник²**¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича²ООО "Эйртэго"

Разработана модель системы, имитирующая прием сигналов от нескольких близкорасположенных целей на несколько объектов. К принимаемому сигналу на каждом объекте применяется алгоритм сверхразрешения MUSIC. По полученным пеленгам на цели определяются их координаты с помощью алгоритма координатометрии. Написана программа в среде MATLAB, создано графическое приложение, реализующее работу с данной моделью и применение алгоритма координатометрии.

пеленгатор, алгоритм сверхразрешения, MUSIC, алгоритм координатометрии, MATLAB

Актуальной задачей на сегодняшний день является определение местоположения источников радиосигналов. Для успешного распознавания каждого из таких источников сигналов, находящихся на относительно близком расстоянии друг от друга, предлагается совместное применение алгоритмов сверхразрешения и координатометрии [1].

При анализе алгоритмов сверхразрешения было установлено, что наиболее эффективным является алгоритм MUSIC [2].

По приходящему сигналу X от M источников на антенную решетку из N элементов вида:

$$X = AS + n,$$

где A – матрица направляющих векторов размерностью $N \times M$, S – матрица сигналов размерностью $M \times 1$, n – шумовая матрица приемника размерностью $N \times 1$, строится корреляционная матрица вида:

$$R = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X_k X_k^H,$$

X_k – k -ая временная выборка приходящего сигнала.

Полученная корреляционная матрица раскладывается в виде произведения матриц собственных векторов и собственных значений:

$$R = Q\Lambda Q^H,$$

где Q – матрица собственных векторов, Λ – матрица собственных значений.

Далее из матрицы собственных векторов Q выбрасываются первые M столбцов, соответствующие сигнальному подпространству, и остается матрица Q_n шумового подпространства. Эта матрица используется в построении пространственного спектра алгоритма MUSIC:

$$P_{MUSIC} = \frac{1}{a^H(\theta)Q_nQ_n^H a(\theta)},$$

где $a^H(\theta)$ – вектор комплексных сигналов, разложенных в диапазоне углов θ .

Результирующими пеленгами алгоритма MUSIC будут являться первые M максимумов пространственного спектра P_{MUSIC} . Для решения двумерной задачи выходом алгоритма MUSIC будет M пар углов азимута и угла места.

Алгоритм координатометрии применяется к каждой из целей отдельно. Для каждого из объектов выбирается наиболее достоверный пеленг, относящийся к той или иной цели. Далее задача сводится к нахождению минимального расстояния между точками пересечения лучей, началом которых являются координаты объектов, а направлением служат пеленги.

Для построения уравнения этих лучей, азимут и угол места пеленга были интерпретированы, как сферические координаты с длиной вектора, равной 1.

Далее была найдена вторая точка луча (помимо его начала), по формулам:

$$\begin{aligned}x_2 &= x_1 + \sin(\theta) * \cos(\phi), \\y_2 &= y_1 + \sin(\theta) * \sin(\phi), \\z_2 &= z_1 + \cos(\theta),\end{aligned}$$

где ϕ – азимут, θ – угол места, (x_1, y_1, z_1) – координаты объекта (начало луча), (x_2, y_2, z_2) – координаты второй точки луча.

По двум точкам луча были найдены направляющие вектора (p_1, p_2, p_3) , вычисляемые как разность их координат:

$$\begin{aligned}p_1 &= x_2 - x_1 \\p_2 &= y_2 - y_1 \\p_3 &= z_2 - z_1\end{aligned}$$

Далее множество точек, принадлежащих лучу, находится через параметрические уравнения:

$$\begin{aligned}x_i &= p_1 * t + x_1, \\y_i &= p_2 * t + y_1, \\z_i &= p_3 * t + z_1,\end{aligned}$$

где t – диапазон значений от -10^6 до 1.

Затем применяется метод наименьших квадратов для нахождения точки пересечения полученных лучей [3]. Зачастую такую точку нельзя будет определить точно, поэтому корректнее говорить о точке с минимальной суммой длин перпендикуляров от неё до каждого из лучей.

Формула для расчета квадрата перпендикуляра от точки до луча:

$$D(a; a_0, p) = (a_0 - a)^T (1 - pp^T)(a_0 - a),$$

где a – точка, из которой строится перпендикуляр, a_0 – точка начала луча, p – направляющий вектор луча.

Соответственно, задача сводится к нахождению такой точки $a(x, y, z)$, при которых значение функции f минимально:

$$f = \sum_{n=1}^N D(a; a_0, p)$$

В модели используется эквидистантная антенная решетка из 4 элементов на частоте 1000 МГц (см. рисунок 1).

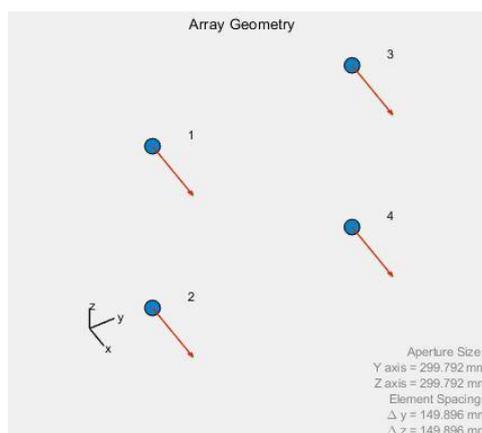


Рис. 1. Антенная решетка из 4 элементов

Входными параметрами модели являются:

- число объектов (от 1 до 10);
- число целей (от 1 до 3);
- трехмерные координаты объектов и целей (значения находятся в диапазоне [-1000;1000] метров);
- мощность излучения целей в децибелах;
- точность определения пеленгов с объектов на цель (общая для азимута и угла места, в градусах);
- мощность шума в децибелах.

Внешний вид графического интерфейса при запуске изображен на Рисунке 2.

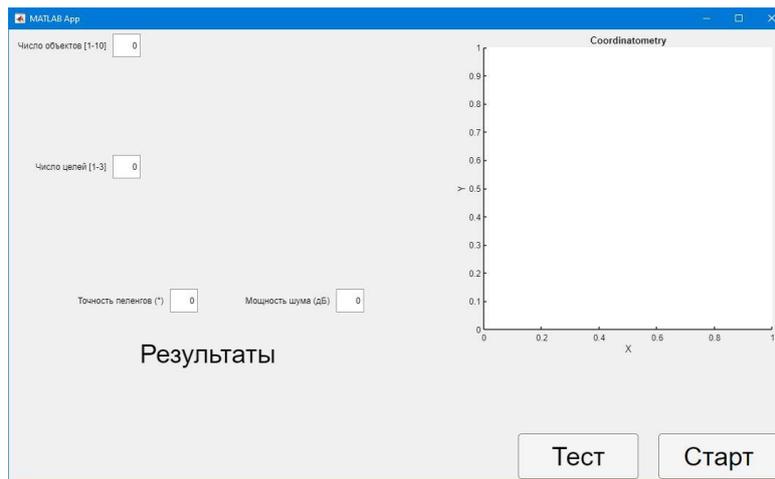


Рис. 2. Графическое приложение при старте

При вводе числа объектов или целей появляется таблица заданного размера с возможностью ввода координат. По нажатию на кнопку «Тест» в поля графического интерфейса автоматически вводятся тестовые значения, по которым происходит расчет задачи координатометрии. По нажатию на кнопку «Старт» происходит расчет по тем данным, которые находятся в данный момент в полях интерфейса.

По результатам работы программы в окне графика строится решенная задача пересечения лучей с началом в координатах объектов и с пеленгами на цели. Под надписью «Результаты» появляются расчетные координаты целей с указанием ошибки по расстоянию по сравнению с реальными координатами целей.

Пример работы программы «Тест» представлен на рисунке 3.

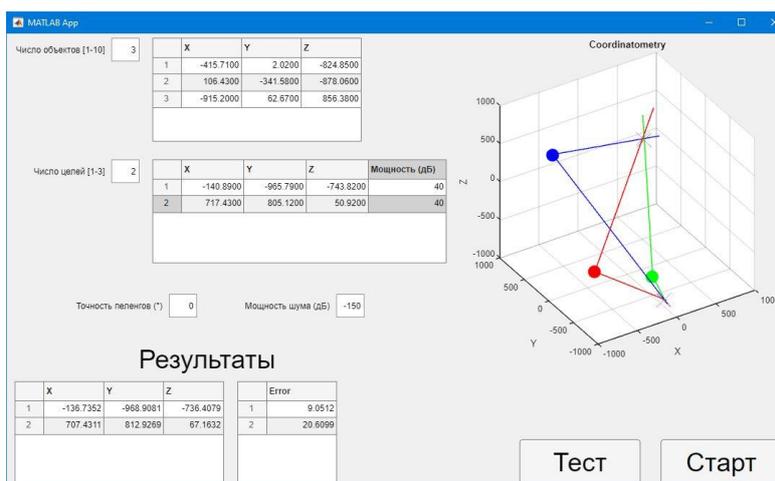


Рис. 3. Работа программы «Тест»

Пример работы программы по кнопке «Старт» с точностью пеленгов в 3 градуса приведен на рисунке 4.

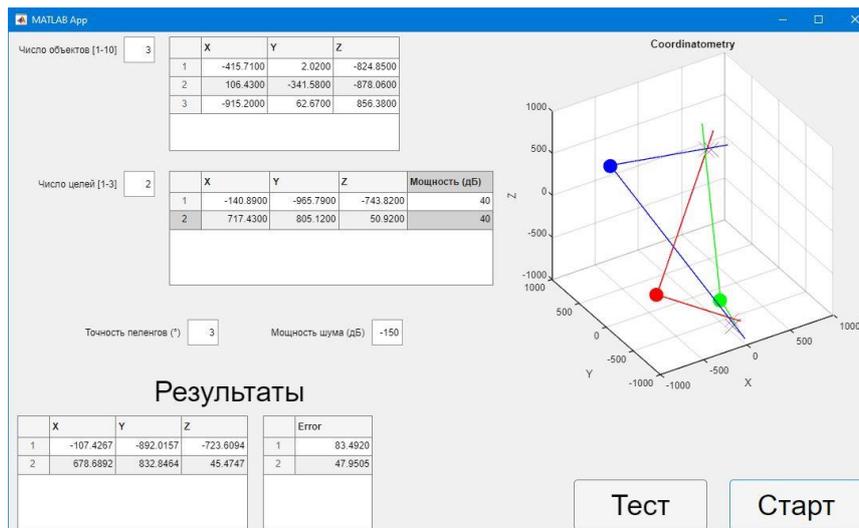


Рисунок 4. Работа программы «Старт» с точностью пеленгов 3°

Из рисунков 3 и 4 видно, что на графике верно изображена решенная задача координатометрии. Точность получения координат слегка ухудшилась при погрешности в определении пеленгов.

Можно говорить о том, что по входным данным правильно решается задача сверхразрешения с дальнейшим решением задачи координатометрии.

Список используемых источников

1. Harry L. Van Trees / Optimum Array Processing: Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory, 2002. PP. 1139–1194

2. Глушанков Е. И., Сыроветник Д. С. Определение координат источников сигналов с использованием алгоритмов сверхразрешения // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; Сборник лучших докладов: в 2 томах. Санкт-Петербург, СПбГУТ, 2023. С. 94–99.

3. Traa J. Least-squares intersection of lines. University of Illinois Urbana-Champaign (UIUC), 2013.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.43.15РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ИМИТАТОРА
ИОНОСФЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИЕ. И. Глушанков¹, Е. А. Рылов², А. В. Сорокин²¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
²АО «Проектно-конструкторское бюро «РИО»

В статье рассмотрены особенности распространения сигнала в ионосферном коротковолновом канале связи. При проектировании систем связи для исследования характеристик канала и алгоритмов преобразования и первичной обработки сигналов важное значение имеет разработка программных имитаторов непрерывных каналов связи. Среди различных моделей коротковолнового канала в работе выбрана модель Ваттерсона, принятая как стандарт Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Построена и исследована модель Ваттерсона в среде Matlab. Выявлены ограничения при использовании данной модели и возможные пути ее улучшения.

канал связи, коротковолновый диапазон, ионосферный канал, программный имитатор, модель Ваттерсона.

Связь через ионосферный канал является одним из самых сложных видов связи с точки зрения распространения радиоволн. До 100-150 км распространение происходит поверхностной волной. Затем возможно наличие мертвой зоны, когда поверхностная волна полностью затухает, а распространение отражением от ионосферы еще невозможно, из-за того, что угол распространения (рис. 1) меньше критического, определяемого формулой [1, 2]: $\gamma_{кр} = \arcsin\left(\sqrt{1 - 80,8 \cdot \frac{N_{\text{э}}}{f^2}}\right)$, где $N_{\text{э}}$ – концентрация свободных электронов в ионосфере, f – частота радиоволны.

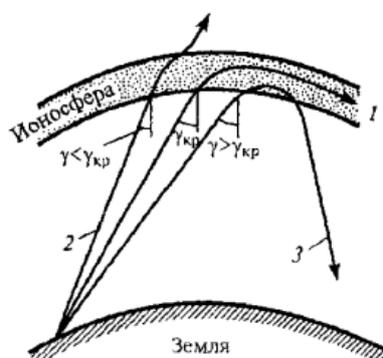


Рис. 1. Угол распространения и критический угол.

При увеличении дальности (в зависимости от условий) от 500–800 до 3000–4000 км осуществляется связь через первый ионосферный скачок. Также возможно много-скачковое распространение несколькими переотражениями от поверхности земли и ионосферы.

Ионосфера имеет сложную структуру, состоящую из нескольких слоев. В большей степени на ионосферу влияет солнечная активность. Поэтому условия распространения отраженной волны будут зависеть от времени суток (день/ночь), сезона (зима/лето), и, также, от многолетнего солнечного цикла (период цикла Швабе – около 11 лет) [1, 2].

Ниже приведено влияние слоев ионосферы на распространение радиоволн в КВ-диапазоне [1–4].

Слой F2 (~300 км) – верхний из ионизированных слоев ионосферы. Концентрация этого слоя повышается днем, летом она выше, чем зимой. Максимальное распространение для связи одним скачком, т.е. отражение радиоволны от слоя F2 и возвращение к земле, до 4000 км. Чем выше концентрация слоя, тем более высокая частота может ещё отразиться от ионосферы.

Слой F1 (~200 км) – существует только днем. Максимальное распространение для связи одним скачком до 3000 км. Ночью сливается со слоем F2.

Слой E (~110 км) – отражающий слой, наименее подвержен солнечной активности. Максимальное распространение для связи одним скачком до 2000 км. МПЧ зависит только от угла отражения.

Слой D (~80 км) – нижний из ионизированных слоев ионосферы и единственный поглощающий слой для радиоволн КВ диапазона. Существует только днем, ночью исчезает. При исчезновении слоя D ночью, становится возможен прием слабых и далеко расположенных радиостанций. Из-за уменьшения МПЧ отражаемой слоем F2 и увеличением помех из-за пропадания слоя D, ночью, радиосвязь в КВ диапазоне затруднена.

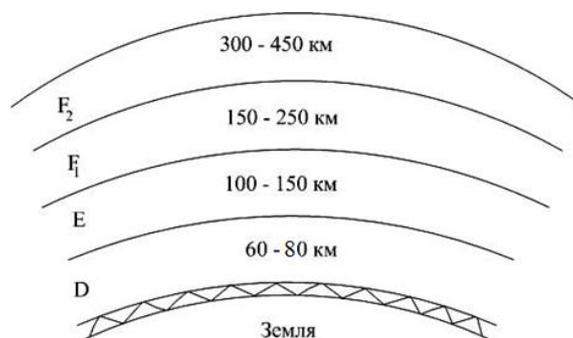


Рис. 2. Строение слоев ионосферы

Так, днем лучше распространяются волны меньшей длины, а ночью – большей длины волны [3]. При хорошем распространении возможна связь на тысячи километров мощностью радиопередающего устройства 5-20 Вт.

Но в промышленных и оборонных системах для надежности обычно применяют мощности 1-5 кВт.

Важной задачей при разработке и испытаниях аппаратуры связи является создание соответствующей реальности модели канала связи.

Существует достаточно много моделей, среди которых наиболее известные [5]: модель Ваттерсона, модель Яу, модель Воглера и Хоффмайера, модель Герма В. Э., Зернова Н. Н. и Стрэйнджвэйса. Все модели имеют определенные преимущества и недостатки.

Наиболее распространенная и рекомендованная к применению IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – модель Ваттерсона. Схема модели Ваттерсона [6] приведена на рис. 3.

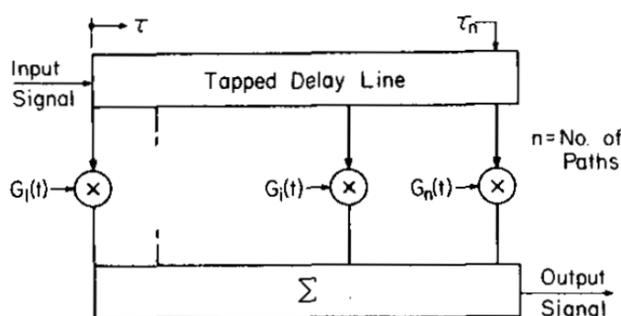


Рис. 3. Схема модели Ваттерсона

Коротковолновый канал моделируется линией задержки с отводами для каждой разделенной во времени моды. Этот задержанный сигнал модулирован по амплитуде и фазе случайной комплексной функцией времени, определяемой следующим образом:

$$G_i(t) = G_{ia}(t) \exp(j2\pi \cdot f_{ia}t) + G_{ib}(t) \exp(j2\pi \cdot f_{ib}t)$$

Здесь индексы *a* и *b* обозначают компоненты двух лучей магнитоионного расщепления для *i*-го элемента. $G_{ia}(t)$ и $G_{ib}(t)$ представляют два независимых комплексных гауссовых эргодических случайных процесса, каждый из которых имеет нулевое среднее и независимые действительную и мнимые части с равными среднеквадратическими значениями, которые вызывают рэлеевские замирания. Экспоненты обеспечивают частотный сдвиг f_{ia} и f_{ib} для магнитных компонент в спектре. Каждый такой коэффициент передачи имеет спектр, который в общем случае является суммой двух магнитоионных компонент, каждая из которых является гауссовской функцией частоты:

$$H(f) = \frac{1}{A_{ia} \sqrt{2\pi\sigma_{ia}}} \exp\left(-\frac{(f - f_{ia})^2}{2\sigma_{ia}^2}\right) + \frac{1}{A_{ib} \sqrt{2\pi\sigma_{ib}}} \exp\left(-\frac{(f - f_{ib})^2}{2\sigma_{ib}^2}\right)$$

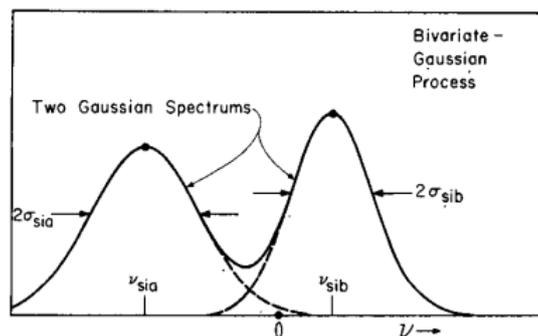


Рис. 4. Комплексная функция передачи i -го луча

Комплексная функция рассеяния Ватерсона $G_i(t)$ состоит из двух независимых гауссовых случайных переменных, образующих вектор, который имеет двумерное гауссово распределение (рис. 4). Известно, что модуль комплексной переменной независимого двумерного гауссового случайного процесса имеет распределение Рэлея. Поэтому функция гауссового рассеяния формирует хорошо известные рэлеевские замирания, встречающиеся в распространении коротких радиоволн. Для генерации такой функции белый шум с равномерным распределением пропускается через частотный фильтр с гауссовой характеристикой, после чего случайный процесс приобретает гауссово распределение по времени и частоте.

В работе Ваттерсона [6] были описаны приведенные выражения. Однако там не указаны конкретные значения параметров f_{ia} и f_{ib} , σ_{ia} и σ_{ib} , а также величины времен в линии задержки. Рекомендуемые значения данных параметров были даны Международным консультативным радиокomiteетом (CCIR), в настоящее время – Международным телекоммуникационным союзом (ITU-R) в [7, 8]. Данные рекомендации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендации параметров для различных условий

Условия	Частотное уширение, Гц	Задержки, мс
Хороший канал	0,1	0,5
Средний канал	0,5	1,0
Плохой канал	1,0	2,0
Высокоширотный средний канал	10,0	3,0
Высокоширотный возмущённый канал	30,0	7,0

Данная модель была реализована в пакете Matlab с применением утилиты Simulink. Для проверки модели использовались различные радиочастотные сигналы. На рис. 5 приведен вид действительной и мнимой огибающей после прохождения немодулированной несущей через имитатор с параметрами для плохого канала.

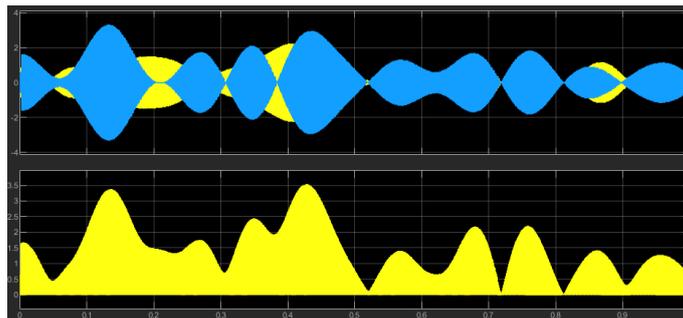


Рис. 5. Сверху – действительная (желтый) и мнимая (синий) компоненты огибающей. Снизу – вещественная огибающая

Пример прохождения QPSK-модулированного сигнала с полосой 4 и 16 кГц через имитатор с параметрами для среднего канала приведен на рисунке 6.

Вывод: удалось построить модель для тестирования разрабатываемых систем связи. Модель хорошо работает с сигналами, имеющими полосу до 10 кГц, что вполне соответствует теоретическим данным, и плохо с более широкополосными сигналами.

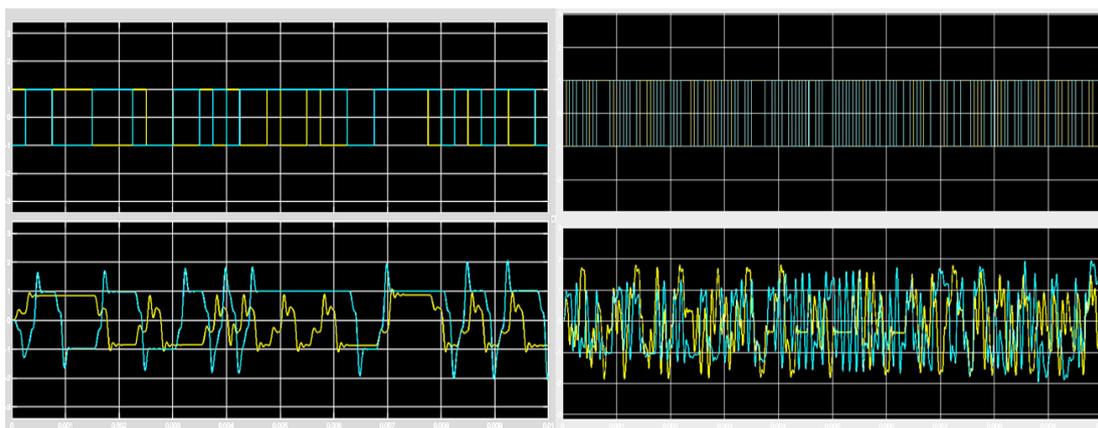


Рис. 6. Сверху - действительная (желтый) и мнимая (синий) компоненты до модулятора, снизу – после демодулятора, после прохождения через имитатор. Слева – для сигнала с полосой 4 кГц, справа - для сигнала с полосой 16 кГц

Второй основной недостаток модели Ваттерсона – это хорошее моделирование канала со временем работы до 10 минут и плохое соответствие реальному каналу при длительной работе. Долговременные изменения ионосферного слоя не учитываются.

Перспективы доработки модели: создание феноменологической модели коротковолнового радиоканала с частотно-селективными замираниями на основе многомерных (размерность определяется числом частотных составляющих в модели) стохастических дифференциальных и разностных уравнений, позволяющих описывать изменения случайных параметров сигналов во времени и создавать программные имитаторы помех, работающие в реальном масштабе времени.

Список используемых источников

1. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1972. 336 с.
2. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебное пособие, М., Высш. школа, 2002. 510 с.
3. Калинин А. И., Черенкова Е. Л. Распространение радиоволн и работа радиолиний. М.: Связь, 1971. 440 с.
4. Johnson E., Koski E., Furman W., Jorgenson M., and Nieto J. Third-Generation and Wideband HF Radio Communications. Norwood, NJ: Artech House, 2012. 262 p.
5. Викторов М. А. Современные имитационные модели каналов радиосвязи декаметрового диапазона // Инструменты, механизмы и технологии современного инновационного развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции 25 февраля 2020 г. Научно-издательский центр «АЭТЕРНА» Пермь, 2020. С. 9–14.
6. Watterson C., Juroshek J., Bensema W. // IEEE Trans. Commun. Techn. 1970. V. 18, No. 6. P. 792.
7. CCIR Recommendation 520-1 19821 “Use of High Frequency Ionospheric Channel Simulators”, Geneva: Int. Telecom. Union, 1995.
8. ITU-R Rec. F1487 “Testing of HF Modems with Bandwidth of up to about 12 kHz Using Ionospheric Channel Simulator”. Geneva: Int. Telecom. Union, 2000.

УДК 621.397
ГРНТИ 47.51.31

О ПРИМЕНЕНИИ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ВИДИМОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА В НОСИМЫХ УСТРОЙСТВАХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

О. В. Головинов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В последние годы стал крайне актуален вопрос непрерывного мониторинга состояния здоровья человека. Для этой задачи применяются мобильные средства, которые могут представлять как самостоятельные устройства, так и целые системы измерения и визуального контроля основных параметров организма. В статье рассмотрены общие принципы применения оптических датчиков видимого и инфракрасного диапазона.

носимые устройства, мониторинг состояния здоровья, биометрические датчики.

В виду неснижающегося интереса к носимым устройствам мониторинга состояния здоровья, не первый год продолжают активные исследования различных направлений, которые могут быть так или иначе применены в подобных устройствах. Одним из наиболее перспективных направлений можно считать всестороннее использование оптических датчиков и, в частности, датчиков с применением оптических систем с несколькими излучателями, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения. Различные оптические датчики применяются в носимых устройствах больше десяти лет, однако, датчики, в которых используются излучатели с несколькими длинами волн, используются сравнительно недавно. Это можно связать с несколькими факторами:

– до недавнего времени вычислительная электроника не могла с достаточной эффективностью фильтровать сигналы на многих оптических диапазонах;

– многодиапазонные оптические приемники и передатчики достаточно малых для носимых устройств размеров и при этом достаточно эффективные для получения фотоплетизмограммы и прочих параметров человеческого организма, стали широкодоступны только в последние годы;

– относительно эффективные алгоритмы расчетов многих параметров человеческого организма, применимые в носимых устройствах, были также представлены сравнительно недавно.

Стечение обстоятельств, давшее возможность к широкому применению датчиков с оптическими системами с несколькими излучателями, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения, послужило толчком к развитию разнообразных носимых устройств. Помимо большого количества серийных потребительских устройств мониторинга состояния здоровья [1], активно разрабатываются устройства медицинского назначения [2].

Для базовых задач оптических измерений в устройствах мониторинга состояния здоровья вполне достаточно оптического сенсора, работающего на одной длине волны, как правило, 555 нм. Такой оптический сенсор вполне справляется с задачей получения, однако для более сложных задач требуется не только получить, а сравнить оптический отклик на различных длинах волн [3]. И даже если существует несколько задач, решаемых без сопоставления результатов измерений, они могут решаться с разной эффективностью в разных оптических диапазонах [4].

Исходя из этого, более сложный в построении оптический датчик с несколькими излучателями, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения, позволит получить значительно более качественный сигнал и упростит тем самым очистку от помех и обработку сигнала.

Рабочий диапазон датчиков носимых устройств с применения оптических систем с несколькими излучателями, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения, можно разделить на несколько основных диапазонов:

- 450-480 нм, синий диапазон видимого излучения, применяется для измерения оксигенации в медицинских устройствах;
- 510-550 нм, зеленый диапазон видимого излучения, основной диапазон, задействованный в большинстве алгоритмов;
- 630-780 нм, красный диапазон видимого излучения, второй по популярности диапазон у разработчиков носимых устройств;
- 800-1500 нм, ближний диапазон инфракрасного излучения, в котором работают некоторые алгоритмы измерения оксигенации и глюкозы;
- 1,5-6 мкм, средний диапазон инфракрасного излучения, который активно изучается с целью применения в измерительной электронике носимых устройств.

Как правило, от применения синего и среднего ИК отказываются. От первого – из-за сильного поглощения излучения тканями, а от второго – наоборот, из-за того, что помеха в виде паразитного излучения от сторонних источников крайне негативно влияет на полезный сигнал. До недавних пор от ближнего ИК также отказывались, но с развитием алгоритмов фильтрации, получение достаточно корректных данных с приемлемым отношением сигнал/шум стало возможным, а в недавних статьях в печатных изданиях

обсуждается применение и среднего диапазона ИК для получения данных, применяемых при расчете оксигенации организма [5].

На рисунке 1 приведены результаты измерений фотоплетизиограммы с применением светодиодов зеленого, красного цвета и ближнего ИК, на макете с оптическим датчиком, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения:

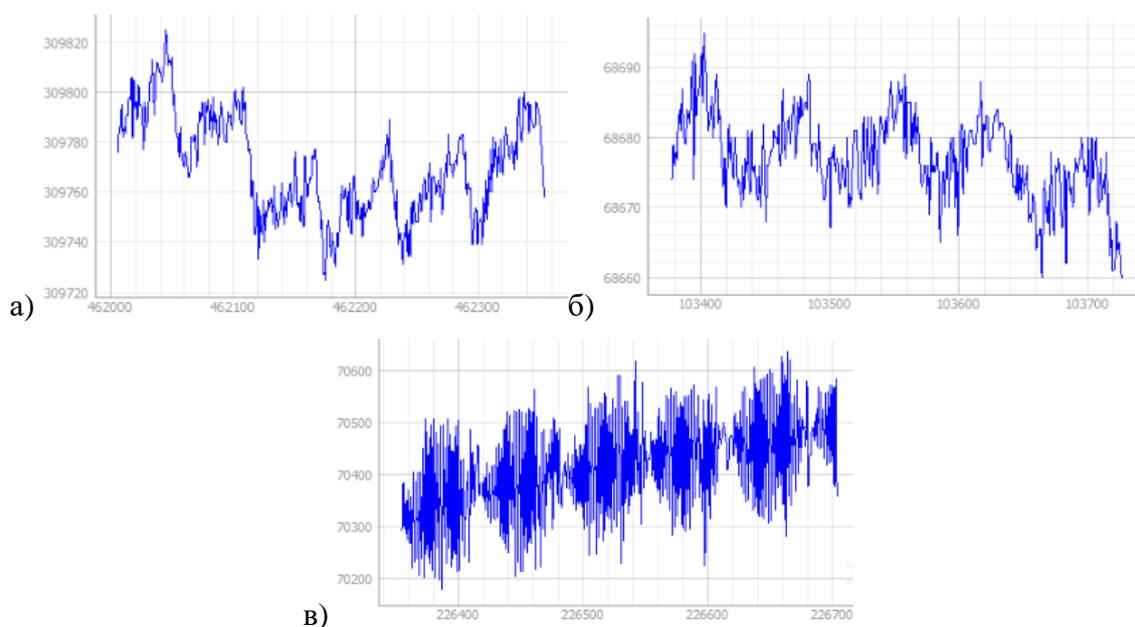


Рис. 1. а) Сигнал с фотоприемника при работе излучателя с длиной волны 530 нм, б) сигнал с фотоприемника при работе излучателя с длиной волны 630 нм, в) сигнал с фотоприемника при работе излучателя с длиной волны 850 нм

Для работы в зеленой и красной частях видимого излучения не требуется сложная программная обработка, но для работы в ИК уже необходимы сложные алгоритмы очистки сигнала, зачастую построенные на нейронных сетях [5, 6].

Можно заключить, что установка датчиков с применения оптических систем с несколькими излучателями, работающими в разных диапазонах видимого и инфракрасного излучения, в носимые устройства мониторинга состояния здоровья не только оправдана, но и перспективна, однако для использования более широкого диапазона излучаемых частот оптического спектра требуется не только более сложная электроника, но и более совершенные алгоритма обработки сигналов.

Список используемых источников

1. Paliakaite B., Peenas A. Modeling of artifacts in the wrist photoplethysmogram: Application to the detection of life-threatening arrhythmias // Elsevier, 2021. № 66. PP. 1–10.
2. Beres S., Hejjel L., The minimal sampling frequency of the photoplethysmogram for accurate pulse rate variability parameters in healthy volunteers // Elsevier, 2021. № 68. PP. 1–8.

3. Althobaiti M., Al-Naib I. Optimization of Dual-Channel Near-infrared Non-invasive Glucose Level Measurement Sensors based on Monte-Carlo Simulations // IEEE Photonics Journal, 2021. № 73. PP. 1–8.

4. Liu X. Simultaneous measurements of tissue blood flow and oxygenation using a wearable fiber-free optical sensor // Journal of Biomedical Optics, 2021. № 26. PP. 1–15.

5. Dcosta J. V., Ochoa D., Sanaur S., Recent Progress in Flexible and Wearable All Organic Photoplethysmography Sensors for SpO₂ Monitoring // IEEE Photonics Journal, 2023. PP. 1–24.

6. Ajmal A., Boonya-Ananta T. Monte Carlo analysis of optical heart rate sensors in commercial wearables: the effect of skin tone and obesity on the photoplethysmography (PPG) signal, Biomedical Optics Express, 2021. № 12. PP. 7445–7457.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, доцентом, зав. кафедрой ТВ и М, Федоровым С. Л.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29**МЕТОДИКА ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ
С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ
ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ****И. А. Горобцов**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлен алгоритм демодуляции сигналов в многоэлементных антенных системах. Представлена методика увеличения размерности пространственно-временных матриц и вычисления вероятности ошибки в каналах. Вероятность ошибки рассмотрена для случаев, когда мощность равномерно распределена по всем каналам передачи, и когда выделяется несколько мощных лучей, позволяющих анализировать каналы, в которых отсутствует явление многолучевости, соответственно, не описываются распределениями, близкими к нормальным.

антенные решетки, демодуляция, ММО, вероятность ошибки

Пространственно-временное блочное кодирование является одним из простейших методов разнесенной передачи в системах ММО. Самым простым способом пространственно-временного кодирования является схема Аламоути, когда число передающих антенн $N = 2$, а приемных – $M \geq 1$.

Пространственно-временная матрица схемы Аламоути имеет вид [1]:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} x_1 & -x'_2 \\ x_2 & x'_1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – передаваемые информационные комплексные символы. Строки матрицы (1) представляют собой последовательности из p символов, излучаемых i -й антенной, столбцы – совокупность символов, одновременно излучаемых через N передающих антенн на j -м тактовом интервале.

Обозначим взаимно ортогональные последовательности символов s_1 и s_2 , излучаемые первой и второй антеннами соответственно:

$$\begin{aligned} s_1 &= [x_1 \quad -x'_2]; \\ s_2 &= [x_2 \quad x'_1], \end{aligned}$$

Таким образом, модель наблюдаемого сигнала в приемной антенне примет вид:

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1 x_1 + h_2 x_2 + n_1; \\ y_2 &= -h_1 x'_2 + h_2 x'_1 + n_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где y_1 и y_2 – отсчеты принимаемого сигнала $y(t)$ в моменты времени t и $t + T$ соответственно, h_1 и h_2 – комплексные коэффициенты передачи, n_1 и n_2 – комплексные случайные гауссовские величины с нулевыми средними и одинаковыми дисперсиями $2\sigma_n^2$.

Уравнения (2) можно представить в эквивалентном им виде:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h'_2 & -h'_1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n'_2 \end{bmatrix}.$$

Здесь матрица коэффициентов передачи канала является эквивалентной виртуальной матрицей канала, содержащая информацию об используемом методе ПВК и свойствах канала связи.

Синтез матриц большей размерности состоит в следующем. Пусть \mathbf{A} и \mathbf{B} – некоторые ортогональные пространственно-временные матрицы. На их основе строятся квазиортогональные ПВК более высокого порядка с помощью следующих матриц [2]:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{ABBA} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B} & \mathbf{A} \end{bmatrix}; \\ \mathbf{S}_{AB} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляя вместо элементов матрицы (3), например, схему Аламоути, получим:

$$\mathbf{FG} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x'_2 & -x'_1 & x'_4 & -x'_3 \\ x_3 & x_4 & x_1 & x_2 \\ x'_4 & -x'_3 & x'_2 & -x'_1 \end{bmatrix}.$$

Данная методика распространяется на любое количество антенн, подставляя вместо символов соответствующие матрицы.

Демодуляцию вектора принятых символов x проведем по алгоритму МСКО с помощью линейного преобразования принятого вектора y [1]:

$$\hat{x} = \mathbf{W}_{\text{МСКО}} * y,$$

где матрица $\mathbf{W}_{\text{МСКО}}$ определяется как:

$$\mathbf{W}_{\text{МСКО}} = \arg \min_{\mathbf{W} \in \mathcal{C}^{M \times N}} \{ \|\mathbf{W}y - x\|^2 \}$$

где $\mathcal{C}^{M \times N}$ – множество комплексных матриц пропускной способности канала размерности $M \times N$ [1], $\{\dots\}$ – операция вычисления математического ожидания, \mathbf{W} – псевдообратная матрица по отношению к канальной матрице H .

В основе оценки принятых сигналов во многих случаях лежит понятие многолучевости, описываемые распределениями, близкими к нормальному.

Однако существуют исследования, которые показывают, что в многолучевой модели мощность может распределяться на несколько основных лучей [3]. Такие каналы, в силу центральной предельной теоремы, не поддаются описанию нормальным распределением. Рассмотрим обе ситуации.

1. Мощность равномерно распределена по всем каналам передачи

Введем случайную величину M , являющейся следом канальной матрицы H принятого сигнала в виде:

$$\text{tr}(H) = M = \hat{\mu}_c Q_c \mu_c + \hat{\mu}_s Q_s \mu_s \quad ,$$

где μ_k^2 – квадратурная составляющая передаваемого сигнала, μ_{ck} и μ_{sk} – синфазная и квадратурная составляющие коэффициента передачи соответственно, q_k^2 – коэффициент передачи, $k = 1, 2, \dots, n$ – номер канала приема, n – общее число каналов, где μ_c и $\hat{\mu}_c$ – матрица-столбец и матрица-строка синфазных составляющих коэффициентов передачи, μ_s и $\hat{\mu}_s$ – матрица-столбец и матрица-строка квадратурных составляющих коэффициентов передачи, $Q_c = Q_s$ – диагональная матрица квадратичной формы коэффициентов передачи q_k^2 порядка n .

Коэффициент передачи определяется как [4]:

$$q_k^2 = \frac{1}{2\nu_k^2} (P_1 + P_2 + -2\sqrt{P_1 P_2} \rho) T,$$

где $P_k = \frac{1}{T} \int_0^T y_k^2(t) dt$ – мощность, выделяемая на канал, $y_k(t)$ – передаваемый сигнал, $\rho = \frac{1}{\sqrt{P_1 P_2} T} \int_0^T y_1(t) y_2(t) dt$ – скалярное произведение сигналов, T – длительность сигнала, ν^2 – спектральная плотность мощности шума в канале.

Матрицу корреляционных коэффициентов представим в виде:

$$R_1 + iR_2 = \begin{bmatrix} 1 & R_{12} + i\tilde{R}_{12} & R_{13} + i\tilde{R}_{13} & \dots & R_{1n} + i\tilde{R}_{1n} \\ R_{12} - i\tilde{R}_{12} & 1 & R_{23} + i\tilde{R}_{23} & \dots & R_{2n} + i\tilde{R}_{2n} \\ R_{13} - i\tilde{R}_{13} & R_{23} - i\tilde{R}_{23} & 1 & \dots & R_{3n} + i\tilde{R}_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{1n} - i\tilde{R}_{1n} & R_{2n} - i\tilde{R}_{2n} & R_{3n} - i\tilde{R}_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

где корреляция коэффициентов передачи двух каналов определяется как:

$$R_{kp} = \frac{\overline{\mu_{ck} \mu_{cp}}}{\frac{\mu_{0k} \mu_{0p}}{2}} = \frac{\overline{\mu_{sk} \mu_{sp}}}{\frac{\mu_{0k} \mu_{0p}}{2}};$$

$$\tilde{R}_{kp} = \frac{\overline{\mu_{ck} \mu_{sp}}}{\frac{\mu_{0k} \mu_{0p}}{2}} = -\frac{\overline{\mu_{sk} \mu_{cp}}}{\frac{\mu_{0k} \mu_{0p}}{2}},$$

где $k, p = 1, 2, \dots, n$ – номер канала приема, n – общее число каналов, μ_0 определяется как:

$$\mu_0 = \sqrt{2\mu_{ck}^2} = \sqrt{2\mu_{sk}^2}.$$

Так как мощности сигналов на выходе всех каналов одинаковы, то предположим:

$$Q_c = \frac{P_c T}{v^2} (1 - \rho) * I,$$

где P_c – общая мощность каналов.

Таким образом, собственные значения λ_k найдем с помощью следующего уравнения:

$$\lambda_k = \frac{1}{2} h^2 (1 - \rho) \chi_k,$$

где χ_k – собственные значения матрицы $(R_1 + iR_2)$,

$$h^2 = \frac{\mu_0^2 P_c T}{v^2}.$$

Тогда вероятность ошибки равна [4]:

$$p_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \left[1 - \sum_{k=1}^n \frac{\lambda_k^{n-1}}{\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^n (\lambda_k - \lambda_p)} \sqrt{\frac{\lambda_k}{1 + \lambda_k}} \right].$$

2. Выделение нескольких мощных каналов

В приемнике вектор принятых сигналов после матричного преобразования примет вид [5]:

$$s(t) = (U^H H V) P^{1/2} c(t) + U^H n(t), \quad (4)$$

где U^H – эрмитово сопряженная матрица весовых коэффициентов в приемнике размерности $M \times L$, V – матрица весовых коэффициентов передающей АР размерности $N \times L$, N – число передающих антенн, M – число приемных антенн, L – число каналов, P – диагональная матрица элементы которой определяют распределение мощности между каналами, $c(t)$ – L -мерный вектор входных данных, H – канальная матрица размерности $M \times N$ с комплексными коэффициентами передачи h_{nm} , $n(t)$ – вектор собственных гауссовских шумов в каналах.

В уравнении (4) векторы V и U являются собственными векторами матриц $H^H H$ и $H H^H$ соответственно. Тогда канальную матрицу представим в виде:

$$H = U\Lambda^{1/2}V^H,$$

где $\Lambda = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L\}$ – матрица собственных чисел матрицы HH^H при $N > M$ или $H^H H$ при $N < M$.

Распределение мощности в j -ом канале на k -ом этапе передачи представим в виде:

$$p_{k,j} = \frac{P_0^{(k)} + \sum_{n=1}^L \lambda_{k,n}^{-2}}{\sum_{n=1}^L \sqrt{d_{k-1,n}} \lambda_{k,n}^{-1}} \frac{1}{\sqrt{d_{k-1,j}} \lambda_{k,j}} = \frac{1}{\lambda_{k,j}^2 d_{k-1,j}},$$

где $d_{k-1,j}$ – j -ый элемент корреляционной матрицы символов, передаваемых на предыдущем этапе $D_{k-1} = \langle x_{k-1} x_{k-1}^H \rangle$.

При этом ОСШ на выходе j -го подканала будет определяться мощностью этого подканала и собственным значением канальной матрицы H_k коэффициентов передачи и равно:

$$\rho_{k,j} = \frac{p_{k,j} \lambda_{k,j}^2}{\sigma_0^2},$$

где σ_0^2 – мощность собственного шума приемных устройств.

В [6] показано, что одномерная функция плотности вероятности первого собственного числа λ_1 равна:

$$f_\lambda(\lambda_1) = \frac{1}{L_\rho^{Q-L+1}} \sum_{i=0}^{L-1} \frac{i!}{(i+Q-L)!} \left[L_i^{Q-L} \left(\frac{\lambda_1}{\rho} \right) \right]^2 (\lambda_1)^{Q-L} \exp\left(-\frac{\lambda_1}{\rho}\right),$$

где $Q = \max\{N, M\}$, $L_i^{Q-L}(\lambda_1)$ – полином Лагерра.

Вероятность ошибки тогда будет равна:

$$p_{\text{ош}} = \int_0^\infty p_0(\beta_i \rho_0 \lambda_i) f(\lambda_i) d\lambda,$$

где p_0 – вероятность ошибки в гауссовом шумовом канале без замираний сигналов, $\beta_i = p_i/P_0$ – относительная часть полной мощности, распределяемой в этот канал, $\rho_0 = P_0/\sigma_0^2$.

Существуют и другие методики увеличения размерности пространственно-временных матриц. Например, схему Аламоути можно заменить на матрицу Адамара, что позволяет исследовать сигналы в многоэлементных антенных решетках.

Представлены два различных варианта вычисления вероятности ошибки: когда мощность равномерно распределена по всем каналам передачи, и когда выделяется несколько мощных лучей. В первом случае сигналы описываются распределениями, близкими к нормальному, в то время как во втором случае для описания сигналов возможно применение четырех параметрических распределений.

Список используемых источников

1. Бакулин М. Г., Варукина Л. А., Крейнделин В. Б. Технология ММО: принципы и алгоритмы. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 244 с.
2. Резнев А. А. Исследование и разработка алгоритмов пространственно-временного кодирования для систем связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13 / Резнев Андрей Алексеевич. М., 2020. 132 с.
3. Савищенко Н. В. Двухлучевая модель с диффузным замиранием мощности сигнала / Н. В. Савищенко, В. И. Дырин, В. П. Макаренко // Научные исследования в космических исследованиях Земли, 2021. Т. 13. № 1. С. 18–23.
4. Андронов И. С. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам [Текст] / И. С. Андронов, Л. М. Финк. М.: Советское радио, 1971. 406 с.
5. Флакман А. Г., Сорокин И. С., Кокарев А. О. Минимизация вероятности ошибки на бит в многоэтапной релейной ММО-системе // Труды учебных заведений связи, 2020. Т. 6. № 4. С. 36–44.
6. Ермолаев В. Т., Маврычев Е. А., Флакман А. Г. Уменьшение вероятности битовой ошибки при параллельной передаче информации в ММО-системе // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46. № 3. С. 251–260.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры РОС СПбГУТ, доктором технических наук, профессором Е. И. Глушанковым.

УДК 621.391.6
ГРНТИ 49.43.29

МЕТОДИКА УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ

И. А. Горобцов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье представлены методики снижения размерности дифференциальных уравнений для оценки электромагнитной совместимости в многоэлементных антенных решетках. Рассматриваются методики снижения размерности дифференциальных уравнений с помощью построения систем сравнения для динамических процессов и понижения размерности уравнений с помощью фильтра Калмана, позволяющие уменьшить вычислительную сложность алгоритмов.

антенные решетки, электромагнитная совместимость, ММО, дифференциальные уравнения

При анализе качества электромагнитной совместимости антенных решеток необходимо учитывать показатели, характеризующие основные ее параметры. При этом, современные системы связи оснащены многоэлементными антенными решетками, что приводит к значительному росту вычислительной сложности алгоритмов. Так, с увеличением числа излучающих элементов растет и размерность уравнений для оценки электромагнитной совместимости. Таким образом, необходимо разработать методику, позволяющую снизить вычислительную сложность алгоритмов при решении задач электромагнитной совместимости.

Сигналы и помехи на выходе L -элементной антенной решетки представим в виде следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = F_i[X_i(t)] + G_i[X_i(t)]V_i(t) + \sum_{k=0 \neq i}^N A_{ik}(t)X_k(t), \quad (1)$$

где $X_i(t)$ – $2L_i$ -мерный вектор параметров i -го сигнала, $F_i[X_i(t)]$ и $G_i[X_i(t)]$ – $2L_i$ -мерный векторный и $(2L_i \times 2L_i)$ -мерный матричный коэффициенты, $V_i(t)$ – $2L_i$ -мерный вектор БГШ, $A_{ik}(t)$ – $(2L_i \times 2L_i)$ -мерная матрица взаимных связей при решении задач оценки электромагнитной совместимости. Метод определения неизвестных коэффициентов уравнения (1) подробно изложен в [1].

Элементы матрицы $A_{ik}(t)$ представим в виде решений уравнения спектральной плотности для совместной плотности распределения вероятностей

между передатчиком и приемником. Обозначим, что на передающей и приемной антенных решетках имеются L_T и L_R излучающих элементов соответственно [2]:

$$S(l_T, l_R; \omega) = \frac{P_0}{L_T} \int_{-\pi}^{\pi} p\left(\phi_T, \arccos \frac{\omega}{\omega_D}\right) \exp(j2\pi \frac{l_T}{\lambda} \sin \phi_T) \times \\ \times \exp\left[j2\pi \frac{l_R}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_D^2}}\right] \frac{d\phi_T}{\sqrt{\omega_D^2 - \omega^2}} + \\ + P_0 \int_{-\pi}^{\pi} p\left(\phi_T, -\arccos \frac{\omega}{\omega_D}\right) \exp(j2\pi \frac{l_T}{\lambda} \sin \phi_T) \times \\ \times \exp\left[j2\pi \frac{l_R}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_D^2}}\right] \frac{d\phi_T}{\sqrt{\omega_D^2 - \omega^2}}$$

где P_0 – общая мощность канала; $p(\phi_T, \phi_R)$ – совместная плотность распределения вероятности между углом отправления ϕ_T и углом прихода ϕ_R ; l_T и l_R – расстояние между излучателями на передающей и приемной стороне соответственно; λ – длина волны; ω_D – изменение частоты вследствие эффекта Доплера.

С увеличением числа излучающих элементов в РЭС возрастает и сложность решения уравнения (1). Размерность вектора состояния $X_i(t)$ в стохастическом дифференциальном уравнении (1), подлежащий оценке в текущий момент времени t , является определяющей для вычислительной сложности алгоритма оценки электромагнитной совместимости.

Рассмотрим два метода уменьшения размерности данных уравнений с помощью построения систем сравнения на основе векторных функций Ляпунова и метода понижения размерности фильтра на основе упрощенной модели состояния.

1. Построение систем сравнения на основе векторных функций Ляпунова

Основная идея принципа сравнения состоит в том, что во многих случаях нет необходимости определения поведения всех параметров сложной системы, достаточно, чтобы определенные качественные показатели системы не выходили за некоторые установленные границы. Вместо точной математической модели сложной динамической системы строится более простая модель, которая может по своему характеру полностью отличаться от исходной. Главное условие здесь заключается в том, чтобы некоторый качественный показатель у исходной системы был не меньше, чем аналогичный показатель у построенной системы сравнения.

Для оценки критериев электромагнитной совместимости многоэлементной антенной решеткой необходимо определить элементы корреляцион-

ной матрицы сигналов и помех на выходе антенной решетки, характеризующих основные ее параметры. Для этого введем $4L_i^2$ -мерный вектор элементов КМ процесса $X_i(t)$ в виде:

$$R_{X_i}^T = [r_{11i}, r_{12i}, \dots, r_{2L_i \times 2L_i}],$$

где r_{mni} – (m, n) -й элемент корреляционной матрицы [3].

Для вектора R_{X_i} , на основе заданной плотности распределения вероятностей, запишем следующее линейное дифференциальное уравнение:

$$\frac{dR_{X_i}}{dt} = B_i R_{X_i} + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik} R_{X_k}, \quad (2)$$

где $B_i = \text{diag}(B_{\text{Бли}}) - 4L_i^2 \times 4L_i^2$ -мерная блочно-диагональная матрица, блоками которой являются $(2L_j^2 \times 2L_j^2)$ -мерные матрицы:

$$B_{\text{Бли}} = \begin{bmatrix} \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{2L_j i}} \right\rangle \\ \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{2L_j i}} \right\rangle \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left\langle \frac{\partial K_{2L_j i}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{2L_j i}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{2L_j i}}{\partial x_{2L_j i}} \right\rangle \end{bmatrix},$$

K_{ki} ($k = \overline{1, 2L_j}$) – кинетические коэффициенты процесса $X_i(t)$, которые определяются по коэффициентам стохастических дифференциальных уравнений [4], $B_{ik} = \text{diag}\{A_{ik}(t)\} - 4L_i^2 \times 4L_i^2$ -мерная блочно-диагональная матрица.

Для уравнения (2) векторная функция Ляпунова строится в форме Д. Шилака [5]:

$$q_i(R_{X_i}) = \left(Q_i(R_{X_i}) \right)^{1/2} = \left(R_{X_i}^T H_i R_{X_i} \right)^{1/2},$$

где H_i – постоянная $4L_i^2 \times 4L_i^2$ -мерная матрица, определяемая из матричного уравнения Ляпунова,

$$B_i^T H_i + H_i B_i = -I,$$

где I – единичная матрица.

Тогда после всех преобразований уравнение системы сравнения примет вид:

$$\frac{dq_i}{dt} = -\frac{1}{2\lambda_{\max}(H_i)} q_i + \frac{\lambda_{\max}(H_i) \lambda_{\max}^{1/2}(B_i^T B_i)}{\lambda_{\min}^{1/2}(H_i)} q_k,$$

где q_i – система сравнения для R_{X_i} , $\lambda_{\min}(H_i)$, $\lambda_{\max}(H_i)$ – минимальное и максимальное собственные значения матрицы H_i соответственно.

2. Метод понижения размерности фильтра

Возможность построения упрощенной модели должна сопровождаться исследованием характеристик фильтра пониженной размерности при воздействии на него реального наблюдения.

Для нахождения оптимальной процедуры понижения размерности фильтра зададим $(r \times n)$ -матрицу Π , осуществляющую понижение порядка [6]:

$$X_r = \Pi X_n.$$

Преобразуем нелинейное СДУ (1) к линейному виду и зададим его уравнение состояния пониженной размерности и уравнение наблюдения в форме:

$$\begin{aligned} \frac{dX_r(t)}{dt} &= A_r(t)X_r(t) + n_r(t), \\ V_r(t) &= H_r X_r(t) + n_0(t), \end{aligned}$$

где $n_r(t)$ и $n_0(t)$ – БГШ со спектральными плотностями N_r и N_0 соответственно, $A_r^T = [A_1, A_2, \dots, A_k]$, $(k = \overline{1, r})$ – матрица состояний, $H_r^T = [H_1, H_2, \dots, H_k]$, $(k = \overline{1, r})$ – матрица наблюдений.

Структура линейного фильтра пониженной размерности будет определяться уравнением:

$$\frac{dX_r(t)}{dt} = A_r X_r(t) + K_r [V_r(t) + H_r X_r(t)],$$

где

$$K_r(t) = R_r H_r^T H_0^{-1},$$

есть матрица коэффициентов усиления, решаемая из уравнения Рикатти для корреляционной матрицы ошибок R_r :

$$\frac{dR_r}{dt} = A_r R_r + R_r A_r^T + N_r - R_r H_r^T N_0^{-1} H_r R_r.$$

Таким образом, представленные методики снижения размерности дифференциальных уравнений на основе результатов теории системной динамики и калмановской фильтрации позволяют снизить вычислительную сложность алгоритмов при решении задач электромагнитной совместимости.

Список используемых источников

1. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Широков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений / под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
2. Primak S., Kontorovich V. Wireless Multi-Antenna Channels: Modeling and Simulation, 2011. 273 p.
3. Глушанков Е. И., Конторович В. Я. Анализ ЭМС в системах радиосвязи с пространственно-временной обработкой сигналов // Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи: приложение к журналу «Радиотехника», 1991, с. 80–85.
4. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовских процессов и их преобразований. М.: Сов. радио, 1978. 376 с.
5. Воронов А. А. Введение в динамику сложных управляемых систем. М.: Наука, 1985. 351 с.
6. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры РОС СПбГУТ, доктором технических наук, профессором Е. И. Глушанковым.

УДК 504.064, 681.518
ГРНТИ 87.15.03

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В ОТРАСЛИ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

К. Б. Греков, А. Г. Казанцева, А. Ю. Федосов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Нейросети обладают огромным потенциалом во многих отраслях, включая экологию и природопользование. В данной статье рассматривается применение нейросетей для решения различных задач в этой области, таких как экологический мониторинг, управление ресурсами, разработка решений экологических проблем и др. Приведены примеры некоторых наиболее перспективных решений. Рассмотрена также роль нейросетей в подготовке студентов-экологов.

нейросети, отрасль «экология и природопользование», экологический мониторинг, большие данные и системы передачи данных

В Указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 года № 474 в качестве одного из целевых показателей национальной цели «цифровая трансформация» указано достижение «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы [1]. В рамках «цифровой трансформации» «Экология и природопользование» стала рассматриваться качестве отдельной отрасли. Основным документом в этой сфере является «Стратегическое направление в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования, относящейся к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 15 декабря 2023 г. № 3664-р) [2]. В указанном документе предусмотрено внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) по таким направлениям как:

- разработка систем поддержки принятия решений, перспективных методов и технологий, в рамках анализа потоковых данных;
- мониторинга состояния окружающей среды;
- комплексного гидрометеорологического и экологического прогнозирования опасных метеорологических явлений;
- прогнозирования и мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожарах;
- детекции и идентификации объектов животного и растительного мира в окружающей среде и др.

Важнейшим направлением работы в области систем ИИ является создание нейросетей – компьютерных программ, имитирующих работу человеческого мозга и обрабатывающих данные с помощью набора простых

программ, называемых "нейронами". Полученный результат основан на опыте и ошибках предыдущих вычислений. Основной отличительной особенностью нейросетей от обычных жестко детерминированных компьютерных программ является способность к самообучению [3].

Наиболее известен сегодня ChatGPT – чат-бот, основанный на новой версии нейросетевой модели, разработанный компанией OpenAI. Используется и множество других нейросетей. Приведем лишь несколько примеров:

- Masterpiece Studio – создания 3D моделей и пространств;
- Altered - Аудио редактирование;
- CodeSquire - помощник по написанию кода;
- Hypotenuse ai – копирайтинг;
- Autodraw - помощник дизайнера.

ИИ нашел применение в различных областях, таких как: здравоохранение (диагностика болезней и анализа медицинских изображений), финансы (прогнозирование рыночных трендов и обнаружения мошенничества), информационная безопасность (обнаружение угроз и борьба с кибератаками), промышленность (оптимизация технологических процессов и управление качеством) и др.

Это лишь небольшая часть областей, где нейросети находят применение, и их потенциал продолжает расширяться.

Применение нейросетей в экологическом мониторинге и производственном экологическом контроле может быть связано, прежде всего, с анализом данных, полученных от сенсорных сетей, позволяет прогнозировать качество воздуха на основе измерений различных параметров, таких как содержание загрязнителей и метеорологические данные.

Кроме этого, нейросетевые модели могут быть использованы для моделирования выбросов загрязняющих веществ в производственных процессах. Это позволяет определить наиболее эффективные методы уменьшения выбросов и оптимизации производственных процессов с точки зрения экологической безопасности.

Особенность экологических задач в том, что для оценки ситуации требуется большое количество данных. Поэтому, несмотря на широкое применение, эта область требует разработки алгоритмов анализа данных.

Основные модели нейросетей, которые используются в отрасли экология и природопользование [4]:

1. Сверточная нейронная сеть (CNN) – это тип искусственной нейронной сети, используемый в области машинного зрения и обработки изображений. Применяется для анализа изображений с дронов или спутников. Такие сети полезны при разработке сетей для методов исследования биологического разнообразия и экологических систем.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN) – это класс искусственных нейронных сетей, где связи между узлами образуют направленную последовательность. Они активно применяются для машинного перевода, распознавания речи и т. д. Для обработки данных применяется предыдущая информация, которую они запомнили. Этот вид сетей имеет большой потенциал использования в области прогнозирования загрязнения различных видов сред (атмосфера, гидросфера и т.д.).

3. Генеративно-состязательные сети (GAN) – это класс алгоритмов машинного обучения, состоящий из двух сетей: генератора, создающего данные, и дискриминатора, оценивающего их. Этот вид сетей может успешно использоваться для создания карт загрязнения.

В области нормирования в экологии получили распространение модели, которые близки по своим принципам к рекуррентным нейросетям, поэтому могут быть использованы в качестве базовых. Однако, эти расчетные модели требуют доработки для реализации в качестве нейросетевых.

Существуют примеры реализации экологических проектов с применением нейросетей. Например, компания CityAir предлагает линейку продуктов, включающих сети и сервисы контроля качества атмосферного воздуха, а также программы по моделированию состояния воздушной среды. Компания «СКАНЭКС» разработала сервис по обнаружению и прогнозированию лесных пожаров.

В последние годы развивается следующая волна «технологий ИИ», предполагающая получение машинами способности логически рассуждать, способных работать самостоятельно или в одной команде с людьми и объясняющих свои решения (например, программа AI Next) [5]. При этом весьма эффективны системы когнитивной машинной графики, использующие способность человека визуально замечать геометрические особенности образов многомерных данных и позволяющие ему подтверждать или отклонять решения, принятые ИИ.

Существует множество инструментов и технологий визуализации данных, которые могут использоваться в сочетании с методами ИИ [6]. Некоторые из них включают в себя:

1. Tableau: мощный инструмент для визуализации данных, который может быть интегрирован с различными методами машинного обучения.

2. Power BI: инструмент для создания интерактивных отчетов и дашбордов, который также может использоваться для анализа данных, полученных из методов искусственного интеллекта.

3. Python с библиотеками Matplotlib, Seaborn и Plotly: популярные инструменты для визуализации данных в среде Python, которые могут быть использованы с различными методами машинного обучения.

4. D3.js: библиотека JavaScript для создания интерактивных визуализаций данных, которая может быть интегрирована с методами искусственного интеллекта.

Эти инструменты позволяют эффективно визуализировать данные, полученные из методов искусственного интеллекта, что, как уже отмечалось, помогает в понимании результатов и принятии информированных решений.

В настоящее время остро стоит задача по подготовке студентов-экологов, умеющих активно применять технологии ИИ.

Таким образом, применение искусственного интеллекта (ИИ) имеет потенциал для значительного улучшения эффективности, точности и автоматизации в различных отраслях, в том числе и в такой как экология и природопользование.

Применение нейросетей в экологическом мониторинге и прогнозировании состояния окружающей среды, а также в производственном экологическом контроле, открывает новые возможности для более эффективного управления и предотвращения экологических проблем. Дальнейшее развитие нейросетевых методов анализа данных позволит предсказывать и предотвращать возникновение экологических катастроф.

Важнейшей задачей является также разработка отраслевого регулирования области применения методов ИИ.

Список использованных источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 2 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007210012?ysclid=luegpjwshh665124227> (дата обращения: 30.03.2024).

2. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования, относящейся к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (утв. Распоряжением Правительства РФ от 15 декабря 2023 г. № 3664-р). URL: <http://government.ru/docs/50502/> (дата обращения: 30.03.2024).

3. Любимов А. П. Основные подходы к определению понятия «искусственный интеллект» // Научно-техническая информация. Серия 2. Методика и организация информационной работы. 2020. № 9. С. 1–6.

4. Создание и продажа нейросетей для задачи автоматического анализа экологических данных. – URL: https://neurobucks.ru/cozdanie-i-prodazha-nejrosetej-sozdanie_i_prodazha_nejrosetej_dlja_zadachi_avtomaticheskogo_analiza_ekologicheskikh_dannyh/?ysclid=lu6074hk9h430172422 (дата обращения: 25.03.2024).

5. Селянин Я. В. Приоритеты госфинансирования и перспективы развития отрасли искусственного интеллекта в США // Анализ и прогноз. Журнал ИМЭМО РАН, 2021, № 3, С. 65–93.

6. Искусственный интеллект для визуализации данных. URL: <https://mspoweruser.com/ru/ai-for-data-visualization/> (дата обращения: 25.03.2024).

УДК 004.62
ГРНТИ 47.51.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕД

Е. Д. Гузева, Е. И. Туманова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассматриваются перспективы использования искусственного интеллекта для создания более реалистичного мира в виртуальных средах. ИИ можно использовать для управления различными элементами виртуальной среды, делая ее более интерактивной, увлекательной и интересной. Рассмотрен метод использования ИИ при захвате движения, создания виртуальных объектов и фонов. А также использование методов распознавания голоса, жестов, изображения при помощи алгоритмов искусственного интеллекта для дальнейшего использования в виртуальной среде.

виртуальная реальность, искусственный интеллект, захват движения

Искусственный интеллект (ИИ), виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) – развивающиеся технологии, которые открывают новые возможности взаимодействия людей с цифровой средой. Каждая из технологий дополняет и развивает другую.

Искусственный интеллект – это совокупность технологических решений, имитирующих когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений, не основанных на заранее заданных алгоритмах) и позволяющих получать результаты, как минимум сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека при выполнении конкретных задач [1].

ИИ применяется для создания сложных алгоритмов, которые позволяют машинам обучаться и после принимать решения. Что очень сильно упрощает решение многих задач в разных сферах деятельности. Программы и устройства с использованием ИИ уже умеют распознавать лица, обрабатывать речь человека, создавать музыку, изображения и даже видео. Технология ИИ используется для разработки искусственного общего интеллекта (AGI), который представлен как компьютер, способный обучаться и выдавать решения проблем так же, как люди. Что в дальнейшем сможет оптимизировать работу и освободить человека от несерьезных задач.

Виртуальная реальность и дополненная реальность предполагают использование компьютерных 3D-сред, которые позволяют пользователям полностью или частично погрузиться и взаимодействовать с виртуальными мирами или дополненной реальностью.

Откуда можно выделить несколько методов использования алгоритмов искусственного интеллекта в виртуальном пространстве (Таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Методы использования алгоритмов искусственного интеллекта в виртуальном пространстве

Функция	Алгоритм	Влияние
Распознавание голоса	Алгоритмы искусственного интеллекта	Позволяет пользователям взаимодействовать с системой с помощью речи и языка
Распознавание жестов	Алгоритмы компьютерного зрения	Позволяет пользователям общаться с системой посредством движений тела или жестов.
Распознавание текста	Алгоритмы обработки естественного языка	Предоставляет пользователям возможность распознавать и интерпретировать текст в виртуальной среде.
Распознавание и генерация изображений	Алгоритмы глубокого обучения	Идентифицирует и классифицирует изображения в среде, позволяя пользователям более эффективно взаимодействовать с ними.

В таблице 2 представлены технологии, которые используют ИИ.

ТАБЛИЦА 2. Технологии использования алгоритмов искусственного интеллекта в виртуальном пространстве

Технология	Описание	Преимущества
Захват движения (Motion capture)	Технология анимации персонажей и объектов путем оцифровки движений реальных объектов и переноса их на трехмерную модель	Эффективное и точное обнаружение и отслеживание движений.
Компьютерное зрение	Область ИИ, связанная с анализом изображений и видео.	Включает в себя набор методов, которые наделяют компьютер способностью «видеть» и извлекать информацию из увиденного.
Генеративные модели	Модели искусственного интеллекта, предназначенные для создания нового контента в виде письменного текста, аудио, изображений или видео.	Позволяет генерировать новые экземпляры данных разных типов, а не только текст.

Захват движения (англ. Motion capture) – это технология анимации персонажей и объектов путем оцифровки (видеосъемка с помощью специальных датчиков) движений реальных объектов (в первую очередь, людей) и переноса их на трехмерную модель [2].

Существует два вида систем, позволяющих использовать данную технологию:

1. Маркерная система, задействующая специальное оборудование – костюм с датчиками, позволяющими передавать положения тела в компьютер (зачастую используется также многокамерные системы, захватывающие движения со множества ракурсов). Но, несмотря на популярность, эта технология недоступна рядовому пользователю: дорогостоящее профессиональное оборудование, необходимость высококвалифицированных работников для их обслуживания и сложная постобработка.

2. Безмаркерная технология, которая не требует использования специальных датчиков или костюма, она основана на технологиях компьютерного зрения и распознавания образов (в данном случае, напротив, требуется минимум камер).

Безмаркерная система захвата движения основана на определении ключевых точек на теле человека. Ключевыми точками могут выступать крупные суставы и конечности человека. После определения ключевых точек они соединяются между собой линиями, образуя виртуальный скелет человека [3].

Безмаркерная система захвата движения использует технологию распознавания образов для определения человека на изображении. Сложные задачи, такие как обнаружения человека и определение ключевых точек решаются с помощью нейронных сетей и машинного обучения [4].

Нейронная сеть на стадии разработки ПО обучается с помощью специальной подборки изображений, которые помогают ей в распознавании определенных ключевых точек тела человека по характерным признакам [5, 6].

В процессе обучения нейронной сети, необходимо затратить большое количество времени. Стоит отметить, что чем дольше длится процесс обучения, тем более точным будет результат. В то же время, длительный процесс обучения не способен полностью обучить нейронную сеть. Всегда есть вероятность того, что искусственный интеллект не сможет верно определить ключевые точки или же самого человека.

Данные камеры используются в безмаркерной системе захвата движения в качестве аппаратной части, они позволяют отслеживать перемещение тела человека в пространстве и фиксировать его положение. Но существует принципиальная разница между работой программной части системы при использовании одной или несколько камер.

Когда используется одна камера, системе дается один набор последовательно расположенных двумерных изображений. Двумерное изображение не содержит информации о глубине объекта относительно окружающего пространства, что усложняет задачу определения расстояния от ключевых точек до камеры.

Если количество камер больше одной ($N > 1$), тона вход системы поступает N видеофайлов, то есть N наборов двумерных изображений, снятых одновременно с разных ракурсов.

На следующем этапе, как и в случае с одной видеокамерой, определяются ключевые точки каждого набора изображений. На этом этапе каждый набор изображений обрабатывается отдельно, и не учитывается, что это все еще один и тот же объект. В результате после этого этапа на выходе получаются N анимированных человеческих скелетов.

Затем соответствующие ключевые точки каждого из N наборов сопоставляются друг с другом и происходит проецирование их в виртуальном объеме. Эта задача решается с помощью триангуляции (рис. 1), при которой движущийся объект приобретает глубину [4].

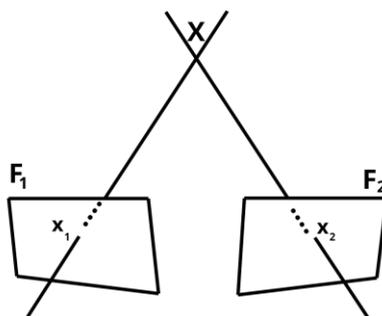


Рис. 1. Триангуляция

Зная данные для каждой проекции, очень легко вычислить положение точки X в пространстве с помощью одного из многочисленных алгоритмов триангуляции.

В результате, используя несколько камер, можно отслеживать перемещение объекта в реальном трехмерном пространстве.

Таким образом, алгоритм оцифровки движений безмаркерной системы можно представить в виде схемы с видео данными о поведении человека на входе и анимированным скелетом на выходе (рис. 2).

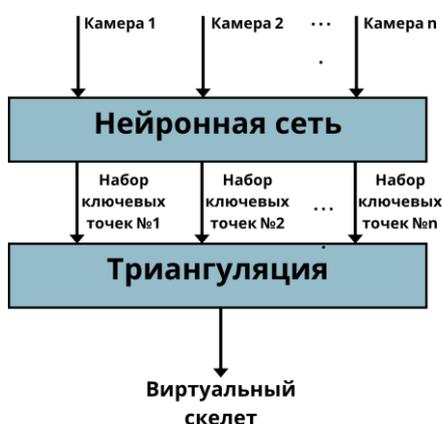


Рис. 2. Алгоритм работы безмаркерной системы захвата движения

Вышеописанный алгоритм является основой для создания безмаркерных систем захвата движения. И на практике данный алгоритм в зависимости от задач дополняется необходимыми функциональными блоками, что позволяет улучшить итоговый видео файл [4].

Используя безмаркерную технологию захвата движения и современные цифровые технологии ИИ, можно создать настолько реалистичные видео и изображения, что отличить оригинальное видео от созданного с помощью ИИ становится практически невозможным. И это имеет как положительное, так и отрицательное влияние, например, технология Дипфейк (англ. Deep Fake).

Технология возможна с применением систем ИИ, которая позволяет изменить и дополнить существующее видео новыми элементами (подготовленными заранее). Главный принцип работы – это распознавание и последующая замена на необходимые данные. С помощью Дипфейк можно создавать видеоролики, заменяя кадры чем-то совершенно другим.

Стоит отметить, что использование этой технологии привело к появлению в мире множества нелегальных и поддельных видео. Но и есть достойное применение такой технологии. Например: создание видеороликов, где главным персонажем становится человек из прошлого или знаменитость в молодости. Технология дает возможность перенести их в современный мир.

Такая технология сможет значительно упростить создание медиаконтента и при совместном использовании технологий дипфейк и захват движения может дать ошеломляющий результат.

Три основные проблемы использования ИИ:

1. Необходимо современное, мощное и дорогостоящее оборудование для развертывания алгоритмов глубокого обучения.

2. Еще одна проблема заключается в том, что создание реалистичных виртуальных сред составляет сложность, так как алгоритмы работают не идеально и выдают неправдоподобные детали, что позволяет человеку отличить реальное изображение от созданного ИИ.

3. Сложность разработки алгоритмов искусственного интеллекта. Алгоритмы искусственного интеллекта требуют детализации (как в коде, так и материала, на котором они учатся), чтобы улавливать нюансы.

Использование ИИ в виртуальной и дополненной реальности значительно упростит и преобразит виртуальную среду. Так как позволит использовать небольшое количество оборудования и создавать качественную анимацию, как в студии, так и в домашних условиях. Совместное использование ИИ и технологий для создания виртуального пространства откроет новые возможности и раскроет весь свой потенциал в ближайшее время. Так мы можем наблюдать новейшее устройство Apple Vision Pro, которое сочетает в себе самые новые технологии дополненной, виртуальной реальности и использование ИИ.

С помощью ИИ можно упростить процесс создание программ для виртуальных студий, начиная от формирования идеи до создания декораций, а также значительно преобразить представление о современных шоу-программах.

Несмотря на недостатки в виде невысокого качества и зашумленности в конечном видеоролике или анимации, а также не всегда правдивой картинке данная технология набирает популярность и все чаще применяется в различных областях на практике. Стоит учесть, что нейронные сети активно развиваются и становятся более точными и быстрыми, вероятность что в будущем применение технология станет обыденным процессом.

Список используемых источников

1. 123-ФЗ от 24.04.2020
2. Белоус А. Н., Рыбкин С. В. Алгоритмы функционирования и классификация систем захвата движения // Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. МГТУ, 2020. 9 с.
3. Hartley R., Zisserman A. *Multiple View Geometry in Computer Vision* (2nd. ed.). Cambridge University Press, USA. 2003.
4. Конурова А. С., Бикмуллина И. И. Исследование безмаркерной системы захвата движения. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. Вып. 1. С. 118–121.
5. Palmov S. V., Andiryakova O. O. Application of motion-capture technology // *Industrial Economics*. 2023. № 2. С. 134–137.
6. Пудакова В. Е., Кулаков П. А. Методики использования искусственного интеллекта // Известия ТулГУ. Технические науки, 2023. Вып. 4. С. 303–305.

УДК 621.396.712
ГРНТИ 49.43.37

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM MODE E

О. А. Гуминский, Ю. А. Ковалгин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Приведены результаты исследования требуемой точности временной синхронизации для системы цифрового радиовещания DRM при работе в режиме устойчивости E.

синхронизация OFDM- символов, цифровое радиовещание

Технология OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) широко используется в современных системах связи и вещания [1, 2]. В данной статье рассмотрены результаты исследования и оценки требуемой точности временной синхронизации приемного оборудования системы DRM (режим устойчивости E).

В процессе исследования разработанная ранее в среде Simulink имитационная модель приемопередающего тракта системы DRM [3], но без блоков синхронизации и при отсутствии искажений, возникающих в радиоканале, была дополнена блоками (рис. 1), позволяющими в процессе исследования изменять момент старта прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в приемнике относительно начала полезной части OFDM-символов.

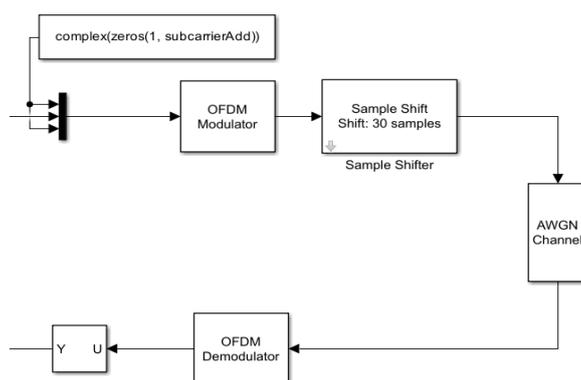


Рис. 1. Дополнительные элементы имитационной модели приемопередающего тракта системы DRM, необходимые для проведения данного исследования

На выходе канального кодера стоят блоки формирования OFDM символа с заданным размером быстрого преобразования Фурье (БПФ), который позволяет уменьшить период дискретизации. После этих блоков стоит

блок Sample Shifter, отвечающий за сдвиг принимаемого сигнала относительно старта OFDM-демодулятора. Далее стоит блок моделирования канальных помех и OFDM-демодулятор.

Исследование включало два этапа. Первое из них было направлено на выявление порогового значения временного сдвига между моментом старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символов, при котором вероятность появления битовой ошибки становится равной $BER = 10^{-4}$ при отсутствии в канале гауссовского шума и помех (идеальный случай работы). Второе исследование было направлено на оценку влияния гауссовского шума (АГБШ) в канале на изменение данного порога. Ниже изложены полученные результаты.

На рис. 2 приведены сигнальные созвездия для модуляции QAM-4 с уровнем помехозащищенности 1 (PL0) (наибольшая помехозащищенность) для разных значений временного сдвига старта прямого ДПФ относительно момента начала полезной части OFDM-символов.

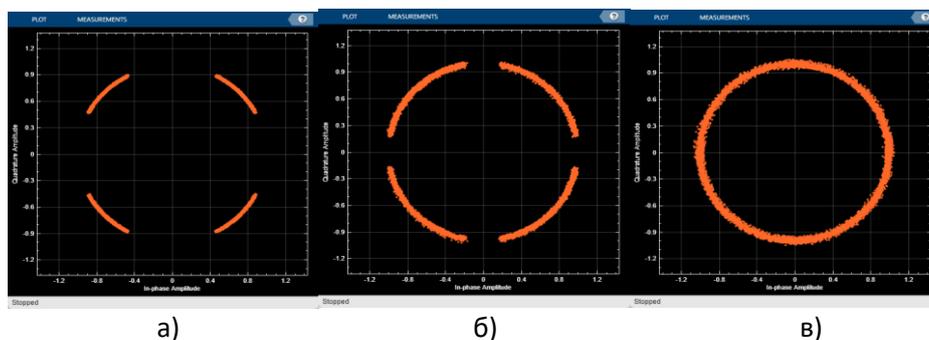


Рис. 2. Сигнальные созвездия для модуляции QAM-4 с уровнем помехозащищенности 1 (PL0) для разных значений временного сдвига при отсутствии в радиоканале АГБШ и помех: а – 1 мкс; б – 2 мкс; в – 3 мкс

На рис. 3 приведены аналогичные результаты, но для модуляции QAM-16 с уровнем помехозащищенности 2 (PL1).

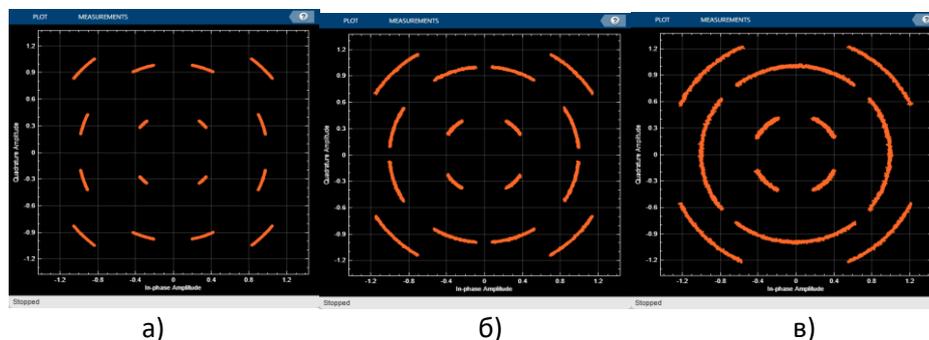


Рис. 3. Сигнальные созвездия для модуляции QAM-16 с уровнем помехозащищенности 2 (PL1) для разных значений временного сдвига при отсутствии в радиоканале АГБШ и помех: а – 0,4 мкс; б – 0,8 мкс; в – 1,2 мкс

Нетрудно видеть, что с увеличением временного сдвига между моментами старта ДПФ и началом полезной части OFDM-символов сигнальные созвездия существенно искажаются, что несомненно сказывается на качестве радиоприема: растет величина модуляционных (MER), рис. 4а, и вероятность появления битовых (BER), рис. 4б, ошибок.

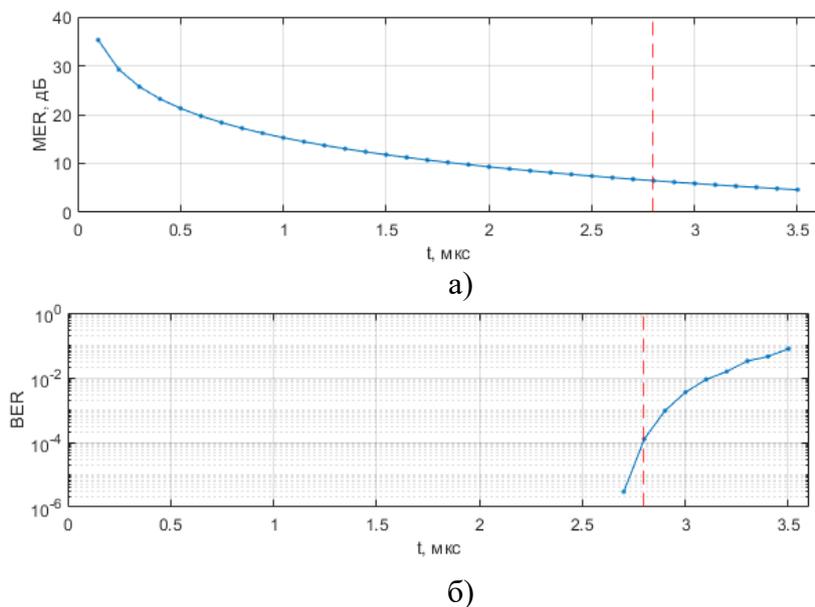


Рис. 4. Изменение величины модуляционных MER (а) и битовых BER (б) ошибок в зависимости от временного сдвига для модуляции QAM-4 при уровне помехозащищенности 1 (PL0), (при отсутствии в канале АБГШ и помех)

Аналогичные результаты получены и для модуляции QAM-16 при уровне помехозащищенности 2 (рис. 5).

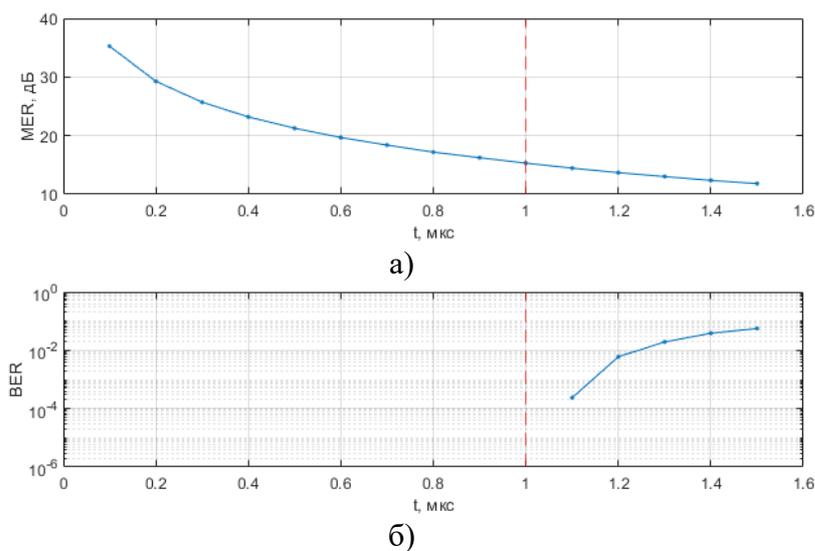


Рис. 5. Изменение величины модуляционных MER (а) и битовых BER (б) ошибок в зависимости от временного сдвига для модуляции QAM-16 при уровне помехозащищенности 2 (при отсутствии в канале шума АБГШ и помех)

Значение временного сдвига, отмеченное на рис. 4 и 5 красной линией, соответствует пороговому значению, при котором вероятность появления битовой и модуляционной ошибок равна требуемому стандарту значению. Полученные результаты (рис. 4 и 5) позволяют определить предельное допустимое значение временного сдвига между моментом старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа. Оно составляет 2,8 мкс для модуляции QAM-4 с уровнем помехозащищенности 1 (PL0) и 1 мкс для модуляции QAM-16 с уровнем помехозащищенности 2 (PL1).

Следующим шагом было добавление аддитивного белого гауссовского шума в радиоканал, что позволяет оценить допустимую величину временного сдвига в канале с АБГШ, при котором не нарушается достоверный прием сигнала. Были получены зависимости вероятности появления битовой ошибки от величины отношения сигнал/шум, дБ, (рис. 6). Параметром каждой полученной кривой является величина временного сдвига для старта ДПФ.

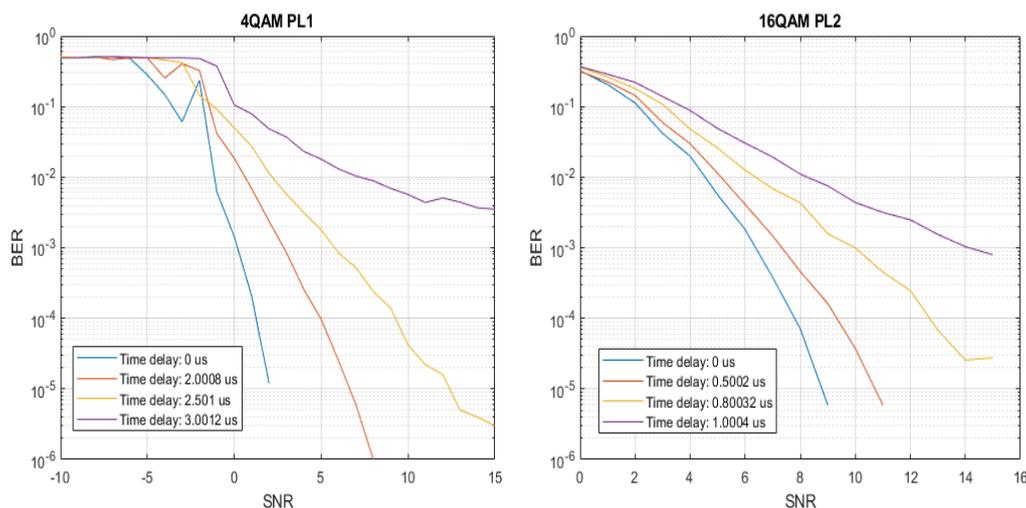


Рис. 6. Графики зависимостей вероятности появления битовой ошибки от отношения сигнал/шум: а – модуляция QAM-4 при уровне помехозащищенности 1, б- модуляция QAM-16 при уровне помехозащищенности 2 (PL1)

Таким образом (рис. 6), для модуляции QAM-4 с уровнем помехозащищенности 1 (PL0) максимально допустимый временный сдвиг составляет 2,5 мкс при отношении сигнал/шум 9 дБ, а для модуляции QAM-16 с уровнем помехозащищенности 2 (PL1) составляет 0,8 мкс при отношении сигнал/шум равном 12,5 дБ. Значения 9 дБ и 12,5 дБ – это требуемые минимальные величины отношения сигнал/шум, при которых для данного вида модуляции и уровня помехозащищенности вероятность появления битовой ошибки не превышает 10^{-4} , что соответствует условию комфортного приема [4]. Для большей наглядности результаты исследования сведены в таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты оценки допустимого временного сдвига

Вид модуляции	Скорость кода/уровень защиты	Требуемое стандартом отношение сигнал/шум, не менее дБ	Временное окно для старта БПФ, при условии, что вероятность появления битовой ошибки при требуемом стандартом отношении сигнал/шум не превышает 10^{-4} , мкс
QAM-4	0,25/1(PL0)	(1...7,9)*	2,5
QAM-16	0,41/2(PL1)	(7,9...15,4)*	0,8

Примечание: * - для разных режимов работы и условий приема.

Полученные данные подтверждают необходимость точной оценки момента старта прямого ДПФ по отношению к началу полезной части OFDM-символов, позволяют сформулировать требования к точности временной синхронизации и на основе этих данных, в конечном итоге, разработать алгоритм и устройство временной, а затем частотной и кадровой синхронизации для DRM-приемника.

Список используемых источников

1. Бакулин М. Г., Крейнделин В. В., Шлома А. М. и др. Технология OFDM: Учебное пособие для вузов. Горячая линия – Телеком, 2016. 352 с
2. Cho Y. S. et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB. John Wiley & Sons, 2010.
3. Гуминский О. А., Мышьянов С. В. Разработка алгоритма синхронизации сигнала для радиоприемного устройства стандарта DRM mode E // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 178–183.
4. ETSI ES 201 980 V4.1.2 (2017-04) Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.; 2017. 195 p.
5. Yang B., Letaief K. B., Cheng R. S., and Cao Z. Timing recovery for OFDM transmission. IEEE Journal on Selected Areas in Commun., 2000. Vol. 18(11), PP. 2278–2291.
6. Schmidl T. M. and Cox D. C. Robust frequency and timing synchronization for OFDM. IEEE Trans. Commun., 1997, Vol. 45(12), PP. 1613–1621.
7. Moose P. H. A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction. IEEE Trans. Commun., 1994. Vol. 42, PP. 2908–2914.
8. Classen F. and Myer H. Frequency synchronization algorithm for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels. IEEE VTC'94, 1994. PP. 1655–1659.
9. Рекомендация МСЭ-R BS.1660-7 (10/2015) Техническая основа планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОБЧ. с. 65.

УДК 621.396.969.3
ГРНТИ 47.14.17

УСТРОЙСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА В ISM-ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

А. С. Дворников, Д. А. Жигальцов

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Современное использование беспилотных летательных аппаратов в вооруженных конфликтах становится все более перспективным направлением военной деятельности. Однако, возникла необходимость в разработке эффективных средств обнаружения и нейтрализации вражеских БпЛА. БпЛА могут быть обнаружены с помощью радиотехнической разведки, которая заключается в приеме и анализе радиосигналов от линий связи и управления. Следовательно, разработка эффективных радиотехнических средств обнаружения и нейтрализации БпЛА становится важной задачей в современной военной сфере.

беспилотные летательные аппараты, радиотехническая разведка, ISM-диапазон, радиомодуль

В настоящее время использование беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) в ходе вооруженных конфликтов является одним из наиболее перспективных направлений ведения боевых действий. Они используются при решении различных задач, начиная от авиаразведки и постановки радиопомех, заканчивая управлением огнем и нанесением ударов по наземным и морским целям. В связи с этим возникла необходимость разработки эффективных средств обнаружения и дальнейшей нейтрализации БпЛА противника.

Информация для обнаружения БпЛА может быть получена путем приема специальными средствами отраженной и излучаемой энергии во всех диапазонах спектра электромагнитных и акустических волн. В настоящее время степень заметности БпЛА определяют значением его сигнатур в радиочастотном, инфракрасном (ИК) и видимом диапазонах спектра, а также акустической сигнатурой [1, 2].

БпЛА могут быть обнаружены средствами радиотехнической разведки путем приема и анализа радиосигналов линий связи и управления, радиолокационных высотомеров, постановщиков активных помех и радиолокационных станций [3]. Этот метод требует минимального оборудования и позволяет быстро обнаружить цель с возможностью дальнейшей выдачи целеуказаний на средства оптического или ИК наблюдения [4].

Исходя из анализа характеристик радиооборудования, распространенных БПЛА общего пользования [5], можно сделать вывод, что частота радиосигналов трансляции видео и передачи сигналов управления зависит от фирмы и модели производителя. При этом, большинство моделей БПЛА для управления используют частоту 2,4 ГГц, а для передачи видео частоту 5,8 ГГц.

Управление БПЛА осуществляется при помощи пульта дистанционного управления на частоте 2,4 ГГц. Информационный обмен в данном случае осуществляется в пакетном режиме с использованием протокола MAVLink. Данный протокол не использует шифрование и применяется в большинстве БПЛА общего пользования самолетного и вертолетного типа [6].

2,4 ГГц – это широко распространенная в городских условиях частота Wi-Fi сигнала, поэтому для обнаружения БПЛА в зоне боевых действий необходимо сканировать именно этот частотный диапазон из-за отсутствия нежелательных помех от других объектов.

В качестве аппаратного и программного решения, используемого для разработки устройства, выбрана микропроцессорная система с радиомодулем, так как она не требует большого количества ресурсов и специальных средств, таких как антенны специализированного назначения, и наиболее проста в построении.

Разработанное устройство представляет собой сканер ISM-диапазона (Industrial, Scientific, Medical) частот от 2400 МГц до 2527 МГц и предназначено для обнаружения находящихся в воздухе БПЛА путем детекции сигналов управления между БПЛА и пультом управления. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема сканера ISM-диапазона

Радиомодуль nRF24L01+ представляет собой низкоомный беспроводной передатчик и приемник, который работает в диапазоне частот 2,4 ГГц. Он имеет небольшой радиус действия, но при этом обеспечивает достаточно стабильную связь. Радиомодуль nRF24L01+ широко применяется в системах радиоприема и беспроводной связи, охватывает все необходимые частотные диапазоны передачи сигналов БПЛА, поддерживает простые протоколы обмена данными с управляющим микроконтроллером, имеет широкий функционал настройки режимов работы и имеет невысокую стоимость, а значит является оптимальным выбором при решении поставленной задачи. Внешний вид радиомодуля nRF24L01+ представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид радиомодуля nRF24L01+

В качестве управляющего микроконтроллера устройства выбрана плата Arduino Uno, построенная на базе ATmega328. Данный микроконтроллер выбран из-за своей распространенности, достаточного количества ресурсов для решаемой задачи и большого количества готовых программных решений для работы с радиомодулями и выводом информации на дисплей [7].

При работе устройства происходит сканирование не очередного последовательно выводимого на дисплей частотного канала, а всех каналов сразу. Следовательно, появление нового объекта на любом из каналов сразу же фиксируется.

Тестирование разработанного устройства в реальных условиях показало эффективность обнаружения БПЛА различных типов на расстоянии, достаточном для предупреждения потенциальных атак и реагирования на возможное раскрытие позиций, а значит, устройство может применяться в ходе реальных боевых действий.

Список используемых источников

1. Карташов В. М., Олейников В. Н., Шейко С. А., Бабкин С. И., Корытцев И. В., Зубков О. В. Особенности обнаружения и распознавания малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника: Всеукр. межвид. науч.-техн сборник, 2018. Вып. 195. С. 235–243.
2. Карташов В. М., Харченко О. И., Чумаков В. И. Использование эффекта стохастического резонанса для анализа спектров акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника: Всеукр. межвид. науч.-техн сборник, 2019. Вып. 197. С. 100–106.
3. Moses A., Rutherford M. J., Valavanis K. P., Radar-based detection and identification for miniature air vehicles // IEEE International Conference on Control Applications, 2011. P. 933–940.
4. Соловьев В. А. Проблемы обнаружения беспилотных летательных аппаратов оптико-электронными устройствами // Электронный математический и медико-биологический журнал, 2011. Вып. 3. С. 1–13.
5. Корченко А. Г., Ильяш О. С. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // Сборник научных работ Харьковского университета Воздушных Сил. 2012. Вып. 33. С. 27–36.
6. Киричек Р. В., Кулешов А. А., Кучерявый А. Е. Метод обнаружения беспилотных летательных аппаратов на базе анализа трафика // Труды учебных заведений связи, 2016. Вып. 1. С. 77–82.
7. Монк С. Програмуємо Arduino: Основи роботи со скетчами. СПб: Питер, 2016. 176 с.

УДК 004.8
ГРНТИ 90.01.85

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

С. В. Дворников, С. Л. Федоров, А. Ю. Федосов, А. А. Федосова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Приводятся результаты применимости технологий искусственного интеллекта для обработки и визуализации данных. Рассматриваются методы обработки больших объемов данных. В статье приводятся эффективные методы и инструменты, позволяющие анализировать массив данных и создавать наглядные визуализации.

искусственный интеллект, нейросеть, массив данных, визуализация

В настоящее время технологии искусственного интеллекта (ИИ) приобретают все большее значение. С развитием машинного обучения, обработки естественного языка и компьютерного зрения, стало возможным создание и применение новых инновационных методов для анализа огромных объемов данных и их визуализации в удобном формате [1].

Важнейшим направлением работы в области систем ИИ является создание нейросетей – компьютерных программ, имитирующих работу человеческого мозга и обрабатывающих данные с помощью набора простых программ, называемых "нейронами". Полученный результат основан на опыте и ошибках предыдущих вычислений. Основной отличительной особенностью нейросетей от обычных жестко детерминированных компьютерных программ является способность к самообучению [2].

Существуют различные нейросети и их приложения:

- Masterpiece Studio - создание 3D моделей и пространств;
- Altered - редактирование звуковых сигналов;
- CodeSquire - помощник по написанию кода;
- Hypotenuse ai - копирайтинг;
- Autodraw - помощник дизайнера и т.д.

Искусственный интеллект успешно применяется в различных областях:

– Здравоохранение – диагностика болезней и анализа медицинских изображений.

- Финансы – прогнозирование рыночных трендов и обнаружения мошенничества.
 - Информационная безопасность – обнаружение угроз и борьба с кибератаками.
 - Производство – оптимизация процессов и управление качеством и др.
- Это лишь небольшая часть областей, где нейросети находят применение и их потенциал продолжает расширяться [3].

Существует множество инструментов и технологий визуализации данных, которые могут использоваться в сочетании с методами искусственного интеллекта [4]. Некоторые из них включают в себя:

1. Tableau: мощный инструмент для визуализации данных, который может быть интегрирован с различными методами машинного обучения.
2. Power BI: инструмент для создания интерактивных отчетов и дашбордов, который также может использоваться для анализа данных, полученных из методов искусственного интеллекта.
3. Python с библиотеками Matplotlib, Seaborn и Plotly: популярные инструменты для визуализации данных в среде Python, которые могут быть использованы с различными методами машинного обучения [5].
4. D3.js: библиотека JavaScript для создания интерактивных визуализаций данных, которая может быть интегрирована с методами искусственного интеллекта.

Эти инструменты позволяют эффективно визуализировать обработанную информацию, полученные из массива загруженных данных.

В данной работе был использован метод Python с библиотеками Matplotlib, Seaborn и Plotly. Язык Python является наиболее распространенным и простым для понимания. В данный код возможно внести правки, так как ИИ четвертого поколения может не отражать полноту запроса.

В работе был опробован выделенный метод и применен на массиве данных, а именно вариантах заданий из лабораторной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» на тему «Исследование микроклимата в производственных помещениях» (табл. 1). Был проанализирован массив данных, а в последствии визуализированы такие показатели как: средняя температура во всех помещениях, коэффициент корреляции между температурой и скоростью движения воздуха, график зависимости температуры от скорости движения воздуха и т. д. Результаты визуализации представлены на рисунке 1.

ТАБЛИЦА 1. Массив данных

Место проведение за- мера	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость дви- жения воздуха, м/с	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость дви- жения воздуха, м/с
	Замер 1			Замер 2		
Часовая мастерская	23	45	0,1	24	60	0,40
Предприятие связи	22	50	0,1	25	40	0,30
Диспетчерская АТС	20	40	0,2	21	35	0,50
Почтовое отделение, зал сортировки почто- вых отправлений	18	55	0,2	19	45	0,50
Почтовое отделение, главная касса	23	45	0,1	27	65	0,20
Почтовое отделение, отдел посылок	22	45	0,1	25	55	0,30
Швейная мастерская	20	55	0,2	23	70	0,30
Учебное заведение, преподавательская	19	45	0,3	28	60	0,20
Учебное заведение, учебный класс	20	25	0,2	27	60	0,20
Учебное заведение, класс информатики	16	20	0,4	25	70	0,30
Учебное заведение, фойэ	14	30	0,4	24	60	0,40

Применение ИИ имеет потенциал для значительного улучшения эффективности, точности и автоматизации в различных отраслях. Использование ИИ в бизнесе может привести к оптимизации процессов, улучшению качества продукции, снижению затрат и созданию новых возможностей для инноваций, а также исключению эффекта Рингельмана.

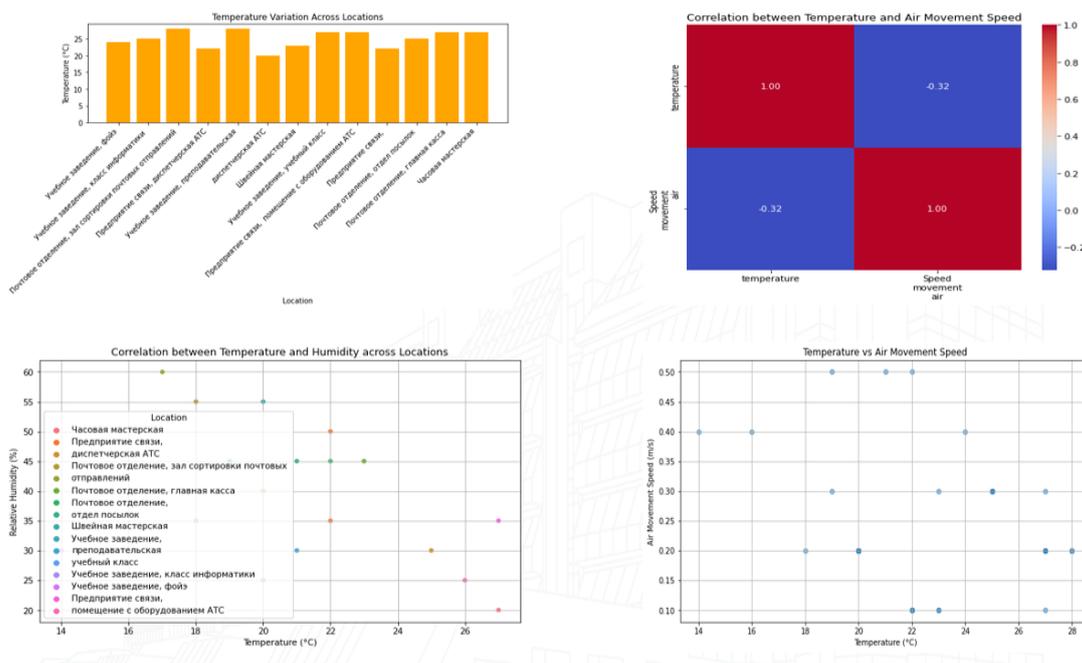


Рис. 1. Результаты визуализации обработанного массива данных

При применении перспективных технологий искусственного интеллекта для анализа практических данных и последующей визуализации возможно существенное улучшение процесса принятия решений, выявление скрытых паттернов и трендов, а также создание более понятных и информативных представлений данных. Использование алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных и выявлять в них сложные зависимости, которые могли бы быть упущены при традиционных методах анализа.

Однако внедрение ИИ также представляет вызовы, включая вопросы конфиденциальности данных, этические соображения и потенциальное сокращение рабочих мест из-за автоматизации. Поэтому внедрение ИИ требует тщательного обсуждения и регулирования для максимизации его пользы и минимизации потенциальных рисков.

Список используемых источников

1. Любимов А.П. Основные подходы к определению понятия «искусственный интеллект» // Научно-техническая информация. Серия 2. Методика и организация информационной работы, 2020. № 9. С. 1–6.
2. Что такое искусственный интеллект. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>
3. Любимов А. П., Майстренко Г. А. Перспективы искусственного интеллекта в России и за рубежом. Журнал Философия науки и техники, 2023. Т. 28. № 1. С. 121–132.
4. Искусственный интеллект для визуализации данных. URL: <https://mspoweruser.com/ru/ai-for-data-visualization/>
5. Как использовать Python для визуализации данных. URL: <https://sky.pro/media/kak-ispolzovat-python-dlya-vizualizaczii-dannyh/>

УДК 537.533
ГРНТИ 47.29.29, 47.09.48

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КАТОДОВ

Н. О. Дёшина, А. Г. Колосько, Т. А. Рыжикова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе представлена классификация спорных фраз, которые ставят авторов научных трудов в неудобное положение и могут послужить причиной коллегиальных споров, а также проблем бюрократического характера. Проблема является широко распространенной, но рассмотрена на примере публикаций, касающихся исследования полевых катодов с наноструктурированной поверхностью, поэтому будет особенно интересна специалистам в области вакуумной наноэлектроники. В данной работе рассматривается анализ и классификация реальных примеров спорных фраз, выявленных в научных спорах в границах лаборатории по изучению полевой эмиссии.

полевые катоды, вакуумная наноэлектроника, лингвистика, эмиссия, нанотрубки

Проведение физико-технических исследований, как правило, сопровождается использованием особой терминологии. Однако, даже находясь в одном лингвистическом поле с коллегами, исследователь часто сталкивается с проблемами взаимопонимания, казалось бы, абсолютно прозрачных лингвистических вопросах. Это непонимание возникает при обсуждении результатов исследования с соавтором, с коллегой по научному направлению, и особенно часто – с рецензентом в ходе подготовки соответствующей статьи к публикации.

Спорным фрагментом может быть научный термин, лингвистический оборот, отдельное предложение или целый набор из нескольких предложений. Решение спора может быть как прямым – нахождение корня проблемы, а затем его устранение путем корректировки текста, так и косвенным – посредством замены спорной части текста на бесспорную.

У каждого текстового фрагмента научной работы есть определенные характеристики, каждая из которых может содержать корень спора. Основными характеристиками являются: семантическое значение использованных в тексте слов, грамматика и стилистика изложения материала, привязка к конкретному физическому объекту.

Фраза «Омонимов» связана с множественностью значений слов: автор работы под смыслом фразы имеет в виду одно, а оппонент видит другое. Например, слово «применим» может употребляться с двумя разными ударениями. Автор работы пишет: «Закон Фаулера-Нордгейма применим к ана-

лизу характеристик полевых катодов». Это соответствует действительности, так как закона Фаулера-Нордгейма был разработан именно для полевых катодов, и часто применяется в анализе экспериментальных вольтамперных характеристик (ВАХ). Коллега-соавтор утверждает, что в тексте грамматическая ошибка и меняет слова местами: «Применим закон Фаулера-Нордгейма к анализу характеристик полевых катодов».

«Хитрое предложение» показывает грамматические ошибки в тексте работы, которые могут оказаться весьма неочевидны для автора, недостаточно искусственного в знании русского языка. Из графика видно, что сигнал эмиссионного тока достаточно шумный и для обработки зависимостей потребовалось применение статистической обработки.

Дело в том, что напряжение может быть высоким, а измерительная установка может быть высоковольтной, что подразумевает применение высокого напряжения. Однако самих по себе высоких вольт не существует, также как не существует и высоковольтного напряжения.

Что касается оценки площади эмиссии, здесь ситуация требует дополнительных теоретических разработок, согласование аналитических результатов данных и данных моделирования.

«Графоман» является вариантом, где фразы перегружены научными терминами и написаны в стиле графомана. В них нет ошибки, но удобочитаемость текста может поставить в тупик как минимум соавтора, который написал свою часть текста в совершенно другом стиле и не представляет эти два текста рядом.

«Новый термин» связан с проблемой применения термина, который недостаточно однозначно описывает объект, так что его можно трактовать по-разному. Термин рождается, когда автор желает кратко передать суть объекта, чтобы в дальнейшем неоднократно ссылаться на этот объект, ради чего и придумывает новый термин.

Например, в работе [1] вводится термин «картина свечения». Это словосочетание призвано указывать на картину из светящихся пятен, которая возникает на люминофорном покрытии анода в установке, которая называется полевым эмиссионным проектором.

Каждое пятно картины свечения создается электронным потоком от отдельного эмиссионного центра на поверхности полевого катода. Такими центрами могут быть углеродные нанотрубки, микроскопические кремниевые пирамидки и другие выступы на поверхности катода. То есть получаемая картина характеризует эмиссионную активность и взаимное расположение выступов на изучаемом катоде.

При неаккуратном введении в оборот термин «картина свечения» может быть воспринят рецензентом как схема процесса возникновения свечения люминофора. Отметим, что в подобных случаях применение адекватной иллюстрации помогает убрать разночтения.

Другим примером является введение в той же работе [1] названия «кривая сбора». Дело в том, что под действием адсорбционных процессов эмиссионные центры стохастически меняют свою активность, так что пятна на «картине свечения» мерцают во времени, не позволяя увидеть структуру катода с одного кадра. В связи с этим применяется компьютерная регистрация и накопление найденных светящихся пятен (отдельных эмиссионных центров). «Кривая сбора» обозначает зависимость от времени числа найденных центров.

При переводе на английский получается «Accumulation curve», что созвучно со словом «аккумуляция» и для ряда читателей ассоциируется с энергетическими характеристиками объекта. Автором было предложено и использовано в переводе название «Collection curve», которое уводит читателя от слова «аккумуляция» и приближает его к понятию «сбор». Однако этот перевод созвучен со словом «коллекционирование», что подразумевает сбор принципиально отличающихся объектов, а не близких по форме и яркости пятен (хотя каждое из них и отражает эмиссионные свойства отдельного участка катода).

Такие фразы, как «Определение» вызывают наиболее сложные споры. Они содержат термины, которые в науке имеют разные определения и, соответственно, разные исследователи по-разному их трактуют. Встречаются варианты, когда термин, имеющий конкретное определение, применяется параллельно с термином, имеющим сходное значение. Например «туннелирование электрона» и «полевая эмиссия электрона» [2].

Туннелирование электрона – квантово-механическое явление, при котором электрон, проходит через потенциальный барьер, где полная энергия электрона меньше потенциальной. Согласно принципам классической механики такое перемещение невозможно, так как кинетическая энергия в области барьера отрицательна. Квантовая же механика это перемещение разрешает, так как электрон может перейти в состояние, где он «присутствует» и до барьера, и после одновременно.

Прохождение электронов через тонкий диэлектрический слой, расположенный между двумя проводящими материалами, однозначно считается туннелированием, так как для электронов на зонных диаграммах диэлектрик является тем самым потенциальным барьером. При этом вероятность прохождения через диэлектрик зависит от соотношения величины приложенного напряжения и толщины диэлектрика.

Полевая эмиссия – выход электронов из материала (катода) в вакуум под действием сильного электрического поля. При этом, согласно теории, путешествие электронов также происходит «под» потенциальным барьером, который за счет внешнего электрического поля принимает форму близкую к треугольной. Вероятность прохождения электронов под барьером в

этом случае зависят от приложенного напряжения, а также от степени фокусировки электрических полей на поверхности катода за счет его вытянутой формы.

Этот эффект также, как и прохождение электронов через диэлектрик, включает в себя процесс туннелирования. Однако ряд ученых не считает полевою эмиссию туннелированием, а возникающий поток электронов не называет туннельным током. В этом своем мнении они опираются на работы авторитетных ученых, где одновременно встречаются оба термина, и туннелированием называется именно проход электрона через диэлектрик, а эмиссией – именно выход электрона в вакуум.

Иногда возникают случаи, когда одна спорная фраза в ходе спора перетекает в другую. Например, в работе [3] спорной фразой типа «Определение» оказался термин «эффективные эмиссионные параметры». В работе [3] авторами были представлены и проанализированы различные виды площади эмиссии. Однако вооруженный богатым экспериментальным опытом, рецензент был искренне удивлен заявленным многообразием площадей. В результате недопонимания авторы получили возражение о том, что площадь эмиссии у полевого катода всегда одна, и она «равна площади поверхности катода, испускающей электроны в вакуум», безо всяких разночтений. Авторы же в свою очередь были удивлены таким возражением, так как хорошо знали, что туннелирование электронов – процесс вероятностный, и для некоторых типов эмиттеров его интенсивность плавно падает от вершины эмиттера к основанию, так что указание той самой «поверхности катода, испускающей электроны» оказывается затруднительным.

К аналогичной путанице приводит употребление терминов «катод» и «эмиттер». Катод – это электрод, находящийся под единым отрицательным электрическим потенциалом, а эмиттер – та часть катода, с которой в вакуум выделяется наибольшая доля электронов эмиссионного тока.

Например, было замечено, что термин «площадь полевого эмиссии» обладает целой серией различных определений в научной литературе. Причем некоторые определения происходят из метода расчета этой площади по экспериментальным данным. Метод расчета превращается в определение, если вместо экспериментальных данных (ВАХ) взять модельные (идеальная ВАХ). В случае плоского идеального катода все эти определения дают одну и ту же величину, но при переходе к трехмерным катодам-выступам начинают существенно отличаться друг от друга.

Отметим непредвиденное возникновение в названии работы «Десять способов определения площади полевого эмиссии» фразы типа «Омоним». Дело в том, что слово «определение» может быть как существительным, которое подразумевает некий текст, определяющий термин, так и отглагольным существительным, подразумевающим процедуру вычисления некой физической величины (площади эмиссии).

Эффективными параметрами (ЭП) обычно являются площадь полевого эмиссии и коэффициент усиления поля полевого катода. Их вычисление

позволяет сопоставить реальный катод сложной формы (например, катод на основе нанокompозита из углеродных нанотрубок) и некий виртуальный катод идеальной формы. Это позволяет сравнивать разнородные катоды друг с другом в ходе, например, технологической оптимизации.

При публикации работы возник необычный спор. Рецензента не устроило наличие разных методов оценки ЭП, поэтому он предположил, что авторы должно быть ищут физическую модель катода и поэтому у них так много различных оценок одних и тех же величин. Главный автор возразил ему, сказав, что физическую модель полевого катода построить почти невозможно, поэтому её никто не ищет. А соавтор при этом заявил, что физическая модель катода в работе давно присутствует. Дискуссия сфокусировалась на новой спорной фразе – «Физическая модель».

В ходе обсуждения выяснилось, что рецензент имел в виду абстрактную модель с определенными параметрами, которая наиболее близко имитирует поведение реального полевого катода. Некий плоский эмиттер, подчиняющийся уравнению эмиссионного тока (из семейства уравнений Фаулера-Нордгейма) и включающему в себя найденные ЭП. Автор же имел в виду компьютерную модель, которая для полевых катодов практически не может быть построена по экспериментальным данным. Соавтор же имел в виду математическую модель, в основе которой лежит уравнение типа Фаулера-Нордгейма, но без указания конкретных параметров площади и коэффициента усиления поля.

Спор был решен предоставлением рецензенту демонстрационной компьютерной модели в виде единичного эмиттера в форме углеродной нанотрубки. Сравнение ЭП этой модели с ЭП, полученными при анализе экспериментального образца, удовлетворили рецензента, и работа была успешно опубликована.

В заключение отметим, что главными моментами в решении описанного класса спорных ситуаций являются терпение, стремление понять логику собеседника и понимание того, что в отличие от математических формул язык имеет свойство содержать в одном предложении несколько смыслов. Именно эта многогранность языковых форм позволяет создавать информационные мостики между человеческим разумом и ассоциативными образами, которые в то же время порождают спорные фразы.

Список используемых источников

1. Kolosko A. G., Filippov S. V., Popov E. O., Ponyaev S. A., Shchegolkov A. V. Investigation of the current level instability of the multitype field emitters with computerized field emission projector. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 2020. Vol. 38(6) <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-statistical-analysis-characteristics>.
2. Егоров Н. В., Шешин Е. П. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы. 2011.
3. Попов Е. О., Колосько А. Г., Чумак М. А., Филиппов С. В. Десять способов определения площади полевой эмиссии // *Журнал технической физики*, 2019. № 89(10), 1615–1625.

УДК 621.396.67.012.12
ГРНТИ 47.45.29

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ КУ И УБЛ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

В. В. Дмитриева, К. О. Коровин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Одним из методов оптимизации параметров систем является использование эвристических алгоритмов. Во многих случаях данные методы позволяют отыскать удовлетворительное решение за меньшее время, и, кроме того, могут быть реализованы аппаратно с меньшими затратами. В данной работе рассмотрен вопрос оптимизации уровня боковых лепестков антенных решеток при помощи генетического алгоритма и алгоритма роя частиц. Произведен анализ данных алгоритмов и оценка применения эвристических алгоритмов для данной задачи.

генетический алгоритм (ГА), алгоритм роя частиц, коэффициент усиления, уровень боковых лепестков

Введение

В последние годы требования к антенным системам претерпевают изменения в связи с ростом трафика и скоростей передачи данных. При анализе перспективных мобильных систем видно, что уже в поколении 5G вся структура формирования луча претерпевает изменения, что подразумевает формирование диаграммы направленности (ДН) при помощи активной или гибридной схем [1]. Такая технология необходима в связи с началом использования миллиметрового диапазона волн (mmWave), отличающегося повышенным уровнем ослабления сигнала при распространении. Это приводит к необходимости обеспечения высокого коэффициента усиления при различных углах сканирования. При этом, высокий уровень боковых лепестков может приводить к электромагнитным помехам, которые влияют на общую производительность антенной системы.

Для формирования высокого КУ при низком УБЛ можно применять различные амплитудно-фазовые распределения (АФР). Получить АФР можно при помощи различных методов оптимизации, такие как: численные или эвристические. Отличие численных методов заключается в поиске оптимального решения, но в значительной вычислительной сложности. В случаях невозможности применения численных методов на помощь приходят методы эвристической оптимизации, например, в работе приведен анализ эвристических алгоритмов для задачи оптимизации размещения антенн [2]. Поэтому, в случаях, когда применение аналитических методов невозможно,

на помощь приходят методы глобальной оптимизации, такие как – генетический алгоритм, алгоритм роя частиц, алгоритм имитации отжига и т.д.

В данной работе произведен сравнительный анализ применения некоторых эвристических алгоритмов оптимизации для уменьшения уровня бокового излучения при использовании различного количества антенн.

Целевая функция

Для эвристических алгоритмов важно определить целевую функцию, поскольку оптимизация происходит путем поиска наилучшего решения распределения амплитуд и фаз по элементам с минимальными затратами исходя из нее.

Целевая функция оптимизации уровня боковых лепестков включает входные параметры: начальный набор весовых коэффициентов, парциальную диаграмму каждого элемента в зависимости от угла. В данной работе рассмотрен вопрос уменьшения уровня боковых лепестков, поэтому целевую функцию запишем в виде [3]:

$$F(x) = (abs(SLL1) - abs(SLL2)), \quad (1)$$

где SLL1 – полученное значение УБЛ, SLL2 – требуется найти.

Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм, основанный на модели эволюции, включающий в себя элементы селекции и мутации для отбора наилучшего варианта [4].

Алгоритм роя частиц – это эвристический алгоритм, также основанный на биологических процессах, а именно поведении косяков рыб и стай птиц [2].

На рисунке 1 а,б продемонстрирована скорость сходимости алгоритмов для случая 32 элементной АР. По графикам и таблицам 1, 2 и 3 генетический алгоритм уступает по времени работы алгоритму роя частиц. Такая же тенденция сохраняется при изменении количества элементов антенной решетки.

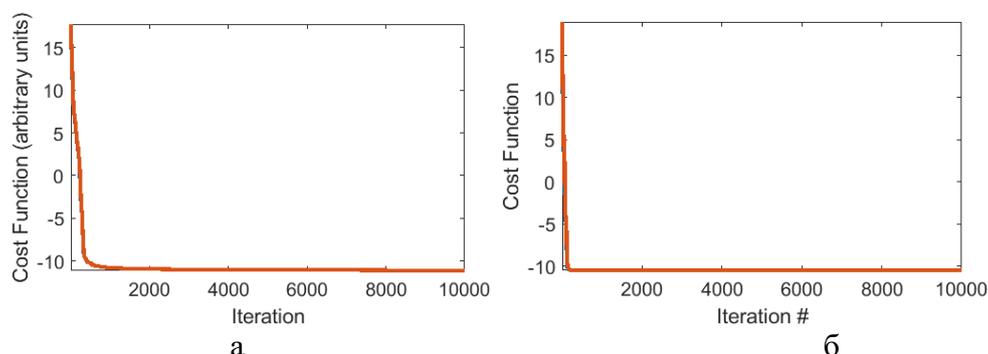


Рис. 1. Скорость сходимости для случая 32-элементов АР
а) ГА б) алгоритма роя частиц

Пример работы алгоритмов представлен на рисунках 2а и 2б. Они иллюстрируют диаграммы направленности 32-элементной антенной решетки при использовании полученных весов.

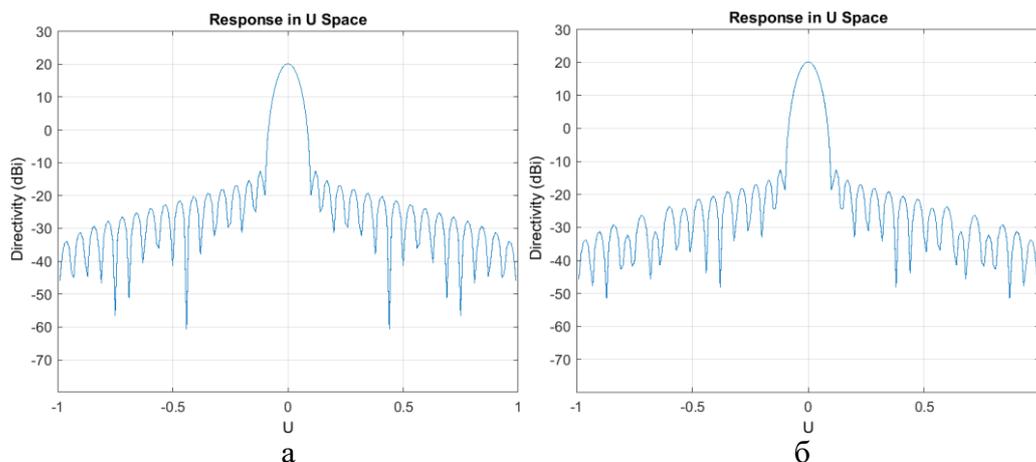


Рис. 2. Синтезированные ДН при использовании АФР, полученного при помощи а) ГА б) алгоритма роя частиц

В таблицах, приведенных далее, сравнение описанных алгоритмов оптимизации. Элементы антенной решетки расположены линейно с равномерным расстоянием между элементами и принимается за половину длины волны. Амплитуда и фаза меняются в зависимости от количества излучателей и результата работы алгоритма.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение алгоритмов для 32 элементов АР

Алгоритм	КУ, дБ	УБЛ, дБ	Время работы, мин
ГА	20.10	-32.50	0.18331
Рой частиц	20.10	-32.60	0.16502

ТАБЛИЦА 2. Сравнение алгоритмов для 16 элементов АР

Алгоритм	КУ, дБ	УБЛ, дБ	Время работы, мин
ГА	16.99	-32.00	0.16478
Рой частиц	16.97	-33.20	0.1579

ТАБЛИЦА 3. Сравнение алгоритмов для 8 элементов АР

Алгоритм	КУ, дБ	УБЛ, дБ	Время работы, мин
ГА	13.91	-37.10	0.15698
Рой частиц	13.95	-37.05	0.1541

Выводы

Анализ алгоритмов показывает их результативность в качестве синтеза диаграммы направленности, поскольку в обоих случаях УБЛ достигается не хуже -32 дБ для разного количества элементов. Скорость сходимости алгоритма роя частиц выше, чем у генетического алгоритма.

Список используемых источников

1. Roh W. et al. Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: Theoretical feasibility and prototype results // IEEE communications magazine, 2014. Т. 52. №. 2. С. 106–113
2. Гимпилевич Ю. Б., Савочкин Д. А. Эвристическая оптимизация размещения антенн RFID-системы при реализации комбинированного метода пространственной двумерной локализации // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, 2015. №. 4 (90). С. 61–67.
3. Saleem S. S. et al. Optimization of linear antenna array for low SLL and high directivity //2016 19th International Multi-Topic Conference (INMIC). IEEE, 2016. PP. 1–6.
4. Тиников А. В., Щербинин В. В. Применение методов глобальной оптимизации для решения задачи синтеза антенных решёток // Известия Алтайского государственного университета, 2013. Т. 2. №. 1 (77). С. 194–198.

УДК 621.396.677.71
ГРНТИ 47.45.29

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕНН, ПОСТРОЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ SIW

В. В. Дмитриева, К. О. Коровин, Ф. С. Поткин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современном мире частотный ресурс является фундаментом телекоммуникаций, спрос постоянно растет в связи с увеличением количества пользователей и объемов передаваемой информации. Одним из способов расширения данного ресурса является переход на менее используемые частотные диапазоны: миллиметровые волны. В данной работе произведен анализ применения волноводно-щелевых антенн в миллиметровом диапазоне, в том числе перспективной технологии волноводно-щелевых антенн на основе интегрированных в подложку печатной платы волноводов.

антенны, волноводно-щелевая антенна, 5G, mmWave, SIW

Использование диапазона миллиметровых волн (mmWave) в сетях 5G ставит перед собой уникальный набор проблем. Уязвимость к препятствиям, затуханию и большие потери на трассах, вызванные высоким уровнем поглощения, требуют тщательного планирования для достижения желаемого качества обслуживания. Работать с данным диапазоном частот довольно давно научились при фиксированном оборудовании, но, когда идет речь о подвижной системе, возникает множество трудностей: обеспечить устойчивую связь даже при отсутствии прямой видимости, обеспечить должный уровень покрытия сети, при факторе сильного затухания волн в атмосфере. Из этого следует, что антенна базовой станции должна обладать узкой диаграммой направленности, с высокими показателями коэффициента усиления [1].

Перспективными в миллиметровом диапазоне являются волноводно-щелевые антенны, так как такие излучатели имеют малые поперечные размеры, простую конструкцию и сравнительно легкую реализацию электрического сканирования ДН за счет изменения рабочей частоты. Помимо того, щелевые антенны имеют высокий КПД.

В [2] подробно описана методика расчета ВЩА. После проведенных расчетов была построена модель ВЩА в Ansys HFSS и представлена на рис. 1.

На рис. 2 продемонстрированы графики ДН в полярной системе координат, спроектированной антенной системы по углу места и азимуту. Параметр S_{11} на рис. 3 – в полосе 24.4 – 27.5 ГГц достигается коэффициент отражения менее -10 дБ.

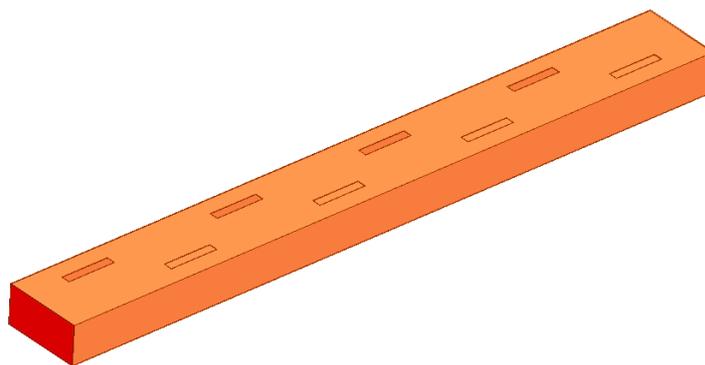


Рис. 1. Модель волноводно-щелевой антенны

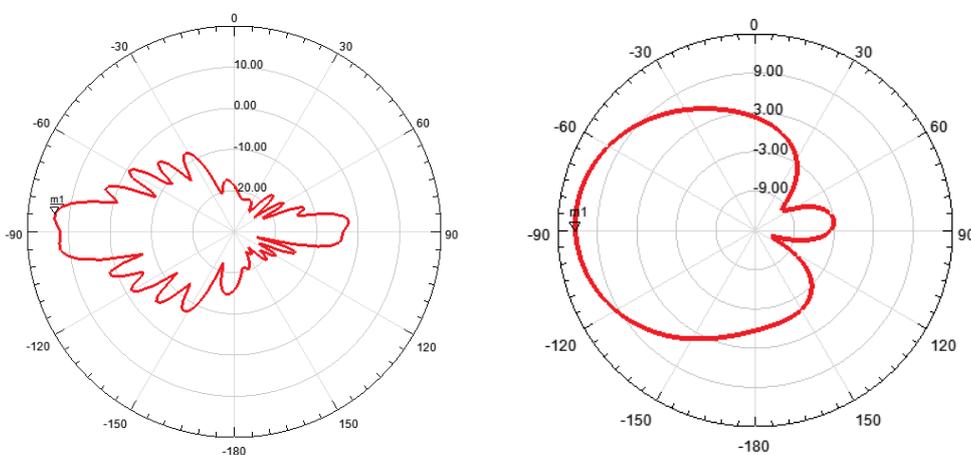


Рис. 2. Диаграмма направленности в плоскости угла места и азимута ВЦА

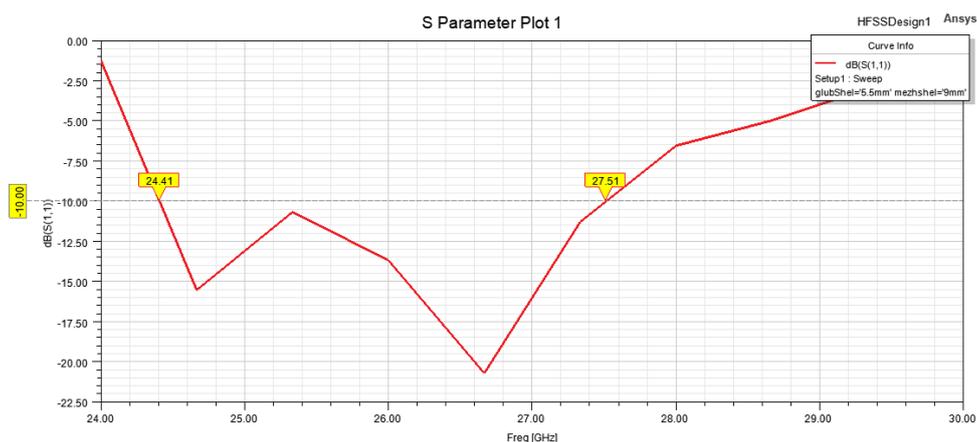


Рис. 3. Коэффициент отражения ВЦА

Для уменьшения размеров ВЦА перспективной технологией является SIW (substrate integrated waveguide) – это волновод, интегрированный в подложку [3]. Для печатного исполнения SIW-волновода использован полиэтилен высокой плотности (HDPE) с диэлектрической проницаемостью

$\epsilon = 2.25$. Прямоугольный волновод в неизменном виде не может быть интегрирован в печатную плату, поскольку технологически невозможно внедрить в диэлектрическую подложку сплошные металлические боковые стенки. В SIW-волноводе эти стенки могут быть реализованы путем плотного размещения рядов металлических штырей или металлизированных сквозных отверстий, соединяющих верхнюю и нижнюю металлические пластины подложки. Высоту полого прямоугольного волновода можно заменить на толщину подложки, поскольку размер узкой стенки волновода не влияет на распространение основного типа волны H_{10} . Напротив, от размера широкой стенки волновода диапазон рабочих частот зависит, поэтому для сохранения его неизменным по сравнению с полным прямоугольным волноводом необходимо, чтобы выполнялось условие: $Ae = A/\sqrt{\epsilon}$.

На рисунках 5, 6 представлены результаты моделирования ВЦА с применением технологии SIW рис. 4.

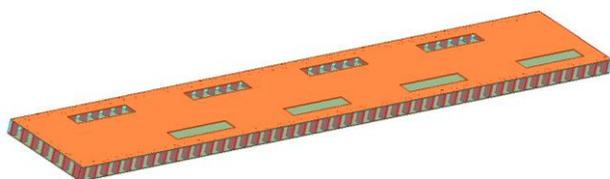


Рис. 4. ВЦА с SIW

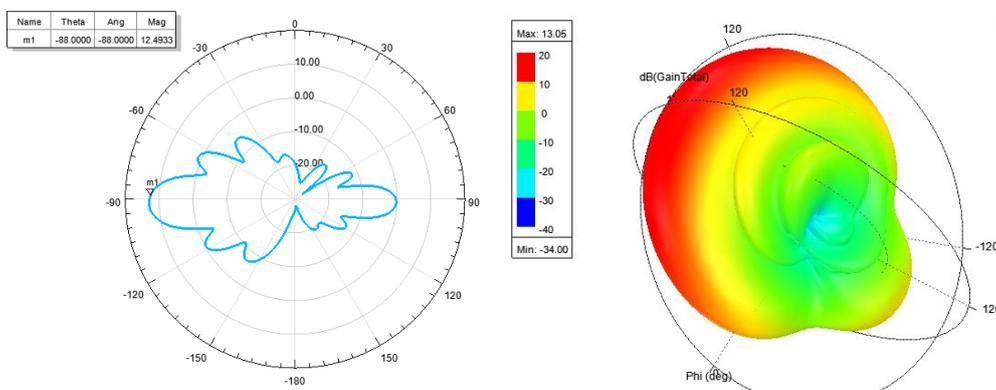


Рис. 5. Диаграмма направленности в плоскости угла места и в объёме ВЦА с SIW

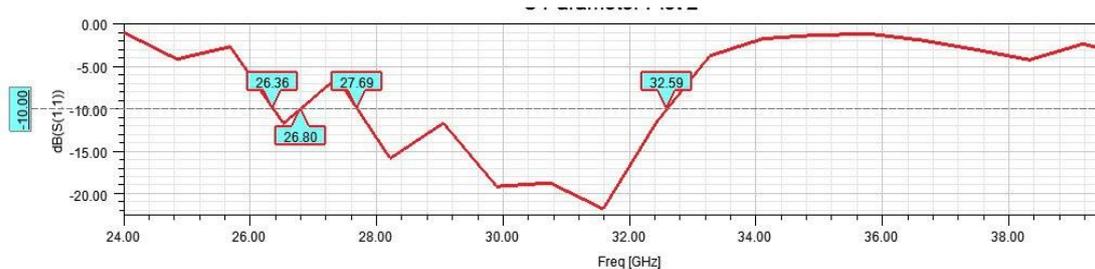


Рис. 6. Коэффициент отражения ВЦА с SIW

В настоящей работе рассмотрены антенные системы миллиметрового диапазона, проведен расчет и моделирование ВЩА и ВЩА с использованием технологии SIW. Как видно по рисункам 3 и 6 коэффициент отражения по уровню минус 10 дБ, она же полоса пропускания, значительно расширился, из этого следует, что использование SIW технологии оправданно. Форма ДН изменилась незначительно.

Список используемых источников

1. Anjinappa S. K., Erden D. & Guvenc I. Base Station and Passive Reflectors Placement for Urban mmWave Networks // IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2021. Vol. 70(4). PP. 3525–3539.
2. Минаев И. М., Сергейчев К. Ф. Плазменные антенные решетки (волноводно-щелевые и вибраторные) // Российская академия наук, 2014. Т. 70. С. 186–213.
3. Кошкдько В. Г., Гальцов Я. О., Портных Д. А. Волноводно-щелевая антенна на основе SIW-волновода. Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2023. Т. 26, № 4. С. 70–80.

УДК 004.421
ГРНТИ 47.14.17

ОБЗОР МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

А. В. Запайщиков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная работа посвящена обзору возможных математических методов анализа биомедицинских сигналов, а именно, сигналов электроэнцефалограммы. Приводятся и рассматриваются: временной, частотный (спектральный) и частотно-временной методы анализа. Обращается особое внимание на математический анализ ЭЭГ с помощью вейвлетов – вейвлет анализ, позволяющий получить наиболее полную информацию о наличии в сигнале ЭЭГ таких данных как основные ритмы и артефакты.

электроэнцефалограмма, математические методы анализа, временной анализ, частотный (спектральный) анализ, частотно-временной анализ, вейвлет-анализ

Целью данной работы является обзор возможных современных математических методов анализа биомедицинских сигналов, а именно, сигналов электроэнцефалограммы.

В рамках данной статьи предлагается обратить внимание не на каждый из существующих классических методов математического анализа сигналов, коих большое множество, а выделить лишь основные направления.

Электроэнцефалограммой (ЭЭГ) называется сигнал, который может быть зарегистрирован на поверхности головы человека и является результатом суммации и фильтрации электрической активности отдельных групп нейронов [1]. Используя полученные данные электроэнцефалограммы, при применении того или иного математического метода анализа ЭЭГ, можно проводить функциональную диагностику головного мозга человека [2].

На рисунке 1 представлен пример графического изображения электроэнцефалограммы.

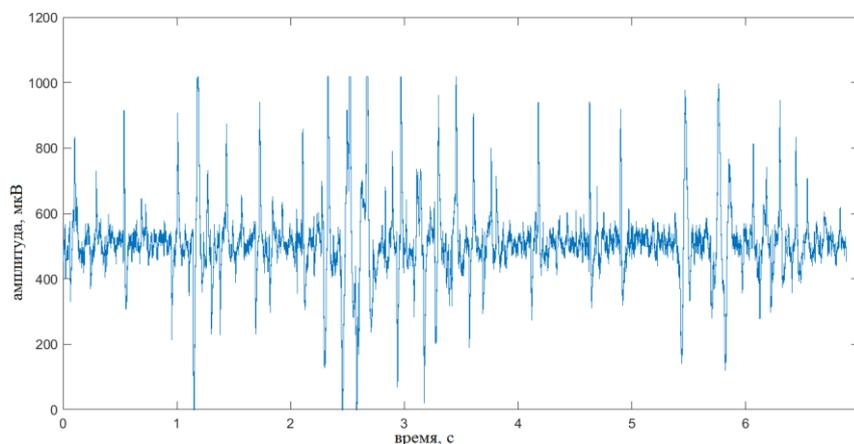


Рис. 1. Внешний вид электроэнцефалограммы во временной области

Разработка устройств персонализированной медицины, в частности, портативных электроэнцефалографов, является очень важной и актуальной задачей [3, 4].

Основные методы анализа биомедицинских сигналов можно подразделить на три крупные категории:

- методы анализа во временной области;
- методы анализа в частотной области;
- методы анализа в частотно-временной области (методы на основе вейвлет-преобразований).

Методы анализа во временной области предлагают способ оперативного измерения основных свойств сигнала посредством расчета на основе времени, что требует менее сложного оборудования по сравнению с обычным частотным анализом [5].

Среди данных методов, в свою очередь, можно выделить два основных метода:

- метод линейного предсказания, который дает оценочное значение, равное линейной комбинации прошлого выходного значения с настоящим и прошлым входным значением;
- метод компонентного анализа, который использует математическую обработку сигналов, при которой набор данных сопоставляется с набором некоторых функций.

На рисунке 2 представлено изображение, отражающее процесс анализа электроэнцефалограммы во временной области.

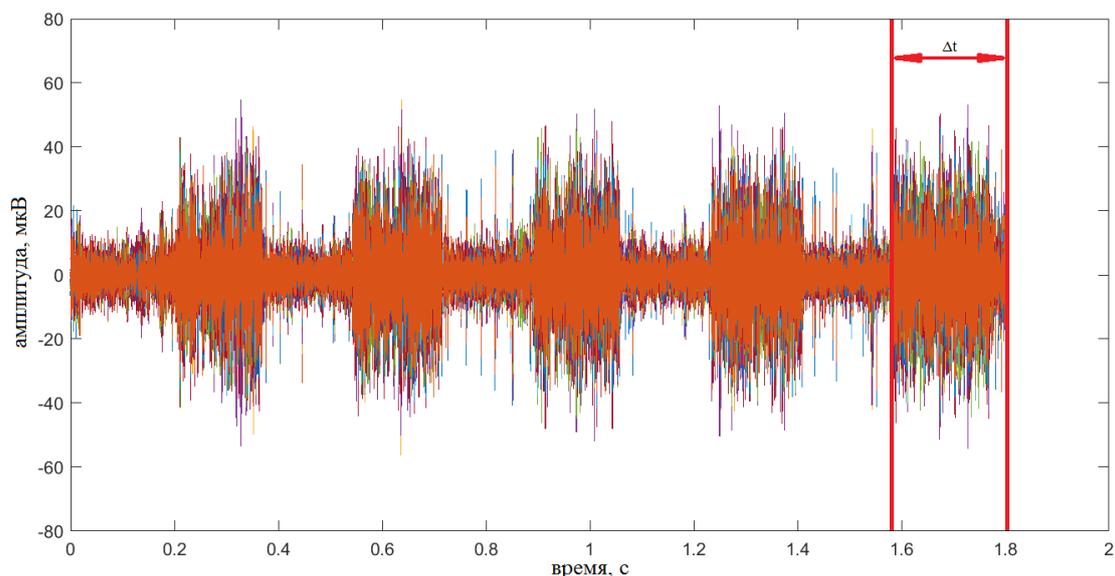


Рис. 2. Анализ электроэнцефалограммы во временной области

Частотные (спектральные) методы анализа дают представление об информации, содержащейся в частотной области сигналов ЭЭГ, с использованием статистических методов и преобразования Фурье [6].

Совокупность данных методов может быть применена для исследования энергетических изменений различных частотных составляющих в сигналах ЭЭГ. Например, изменение эмоционального состояния человека, смена фазы сна, напряженность при усиленном мышлении и т. п. обычно вызывают соответствующие изменения в спектральной плотности мощности ЭЭГ, по которым и можно определять эти признаки.

На рисунке 3 представлена спектральная плотность мощности сигнала электроэнцефалограммы, позволяющая определить основные ритмы.

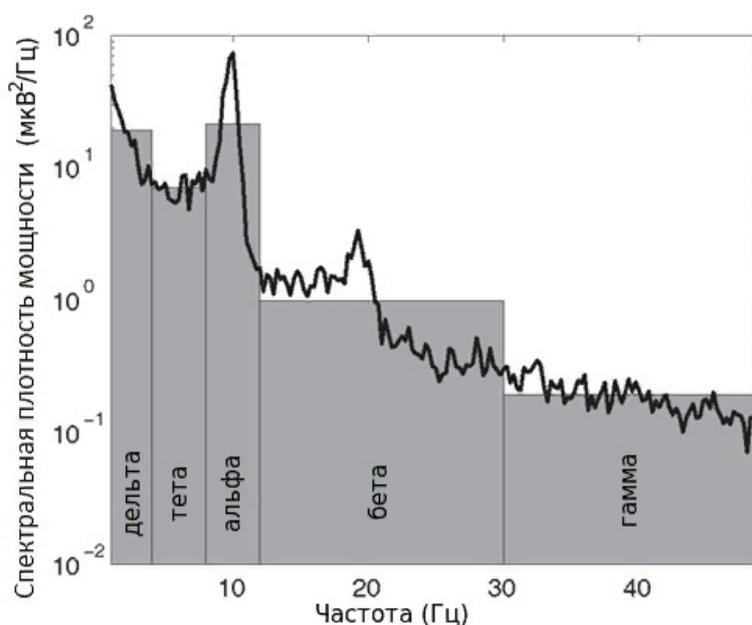


Рис. 3. Анализ электроэнцефалограммы в частотной области (определение её основных ритмов) [7]

Наиболее полную информацию, содержащуюся в сигнале электроэнцефалограммы, можно получить при помощи комбинированных методов анализа как в частотной, так и во временной области. Такую возможность обеспечивает вейвлет-анализ [8].

Вейвлет (от английского слова *wavelet* – маленькая волна, всплеск) – это математическая функция для частотно-временного анализа сигналов, которая позволяет анализировать сигналы как по времени, так и по частоте, что даёт возможность получения большей информации об обрабатываемом сигнале [9].

Для работы с сигналами в частотно-временной области используется операция, называемая вейвлет-преобразование. Данное преобразование обычно подразделяется на три категории [8]:

- непрерывное вейвлет-преобразование (НВП);

- дискретное вейвлет-преобразование (ДВП);
- гармоническое вейвлет-преобразование (ГВП).

Достаточно частым и распространённым является именно метод НВП. Непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) (от английского continuous wavelet transform) – это математические функции, обеспечивающие сверхполным представлением обрабатываемого сигнала, при котором такие параметры как масштаб и сдвиг непрерывно изменяются с течением времени [10].

В отличие от преобразования Фурье, НВП почти идеально локализует сигнал как по времени, так и по частоте. Это позволяет получить больше сведений о сигнале, более детально и подробно обработать любой сигнал, при этом сохраняя неизменными все его свойства.

На рисунке 4 представлен результат вейвлет-анализа записанной электроэнцефалограммы.

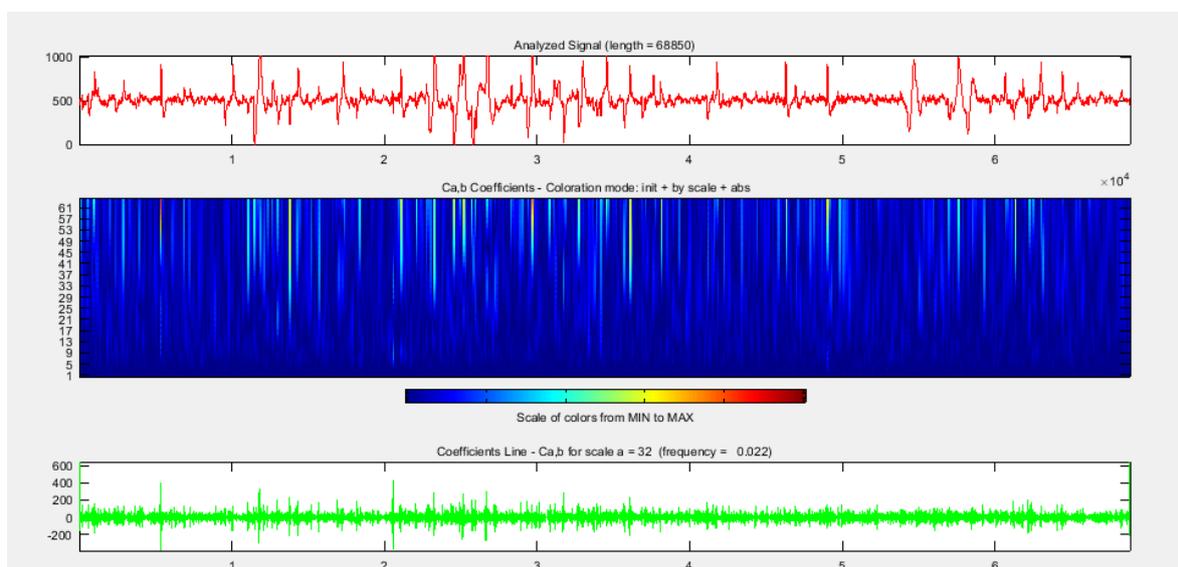


Рис. 4. Результат вейвлет-анализа электроэнцефалограммы, рассчитанный при помощи MATLAB

Таким образом, проанализировав основные методы, можно сделать вывод о том, что по сравнению с временным и частотным методами анализа биомедицинских сигналов метод вейвлет-анализа комбинирует в себе сущность обоих, поэтому является более универсальным.

Список использованных источников

1. Ронкин М. А., Зенков Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней. Руководство для врачей. Изд. 5-е, Издательство МЕДпресс-информ, 2013, 488 с.
2. Арбузов С. М., Степанов А. Б. Применение методов вейвлет-анализа в электроэнцефалографии. СПб.: Линк, 2009. 104 с.

3. Степанов А. Б., Козлов Д. В., Запайщиков А. В. Автономный портативный электроэнцефалограф на базе одноплатного компьютера Nvidia Jetson // Вестник Воронежского государственного технического университета 2022. Т. 18. № 2. С. 77–85.
4. Запайщиков А. В., Козлов Д. В., Степанов А. Б. Разработка портативного электроэнцефалографа на базе графического процессора // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики: Всерос. науч.-метод. конф. магистрантов и их руководителей. СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 73–76.
5. Ogilvie R. D.; Simons. I. A.; Kuderian R. H.; MacDonald Th., Rustenburg J. "Behavioral, Event-Related Potential, and EEG/FFT Changes at Sleep Onset". Psychophysiology, 1991, Vol. 28 (1). PP. 54–64.
6. Acharya U. R.; Vinitha Sree S.; Swapna, G.; Martis, Roshan Joy; Suri, Jasjit S. (June 2013). "Automated EEG analysis of epilepsy: A review". Knowledge-Based Systems. 45: 147–165.
7. van Albada S. J. & Robinson P. A. Relationships between Electroencephalographic Spectral Peaks Across Frequency Bands. Frontiers in human neuroscience, 2013. Vol. 7. P. 56.
8. Козлов Д. В., Степанов А. Б. Алгоритм выполнения частотно-временного анализа сигналов с применением непрерывного вейвлет-преобразования и метода периодограмм, и его реализация на графическом процессоре // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2021. Т. 17. № 3. С. 85–93.
9. Stark H.-G. Wavelets and Signal Processing. Berlin: Springer, 2005. 158 p.
10. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. 58 с.

Статья представлена научным руководителем, заместителем директора ИМ СПбГУТ по учебной работе, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры РОС А. Б. Степановым.

УДК 621.398
ГРНТИ 47.49.31

ВЫБОР МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Е. А. Измestьева^{1,2}, О. А. Симонина², С. Б. Шалунов¹

¹ООО «Специальный Технологический Центр»

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Для реализации локальной навигационной системы проводятся испытания, результатом которых становится получение массива данных, нуждающихся в обработке. Присутствие случайных ошибок и искажений из-за внешнего воздействия (погодные условия, попытки подавления канала связи и т.д.), внутренних причин (неидеальность электронных компонентов, шумы от них и т.д.) приводит к необходимости применения фильтрации. Для обработки данных используется пакет Origin. В работе обосновывается выбор перцентильного фильтра для предварительной обработки данных.

подвижное воздушное средство, обработка данных, перцентильный фильтр

Введение

Одной из важных задач при использовании подвижных воздушных средств является создание локальной навигационной системы, позволяющей определять местоположение объекта. Одним из методов, используемых для локализации такого объекта на местности, является метод равносигнальной зоны, который основывается на приеме радиосигнала двумя направленными антеннами для вычисления азимута и расстояния от источника излучения до определяемого объекта [1]. Это возможно за счет применения двух идентичных антенн, расположенных под углом, каждая из которых принимает радиосигнал и регистрирует свой уровень сигнала. Азимут в данном случае определяется разницей принятых уровней, так как на источнике излучения известна зависимость разности уровней радиосигнала от азимута, которая определяется заранее опытным путем.

В натурном эксперименте в качестве снимаемых данных выступала служебная информация об уровнях сигнала, уровней шума для каждой из антенн, а также о коэффициенте усиления малошумящего усилителя. При этом данные сильно зашумлены в силу различных причин (рис. 1), что означает необходимость использования предварительной фильтрации. Задача выбора фильтра является важной при разработке подобных систем, так как напрямую связана с дальнейшей обработкой данных и существенно влияет на точность определения местоположения подвижного средства.

Выбор фильтра

В ходе проведения испытаний были использованы программные скрипты на Python, фиксирующие данные из регистров трансивера. Легко видеть, что в ходе испытания образовалось две кривые изменения уровня сигнала с различной контрастностью и с постоянной разницей между пиками (рис. 1). В подобном случае допускается грубая фильтрация экспериментальных данных на основе контрастности уровней сигнала или количества точек, сконцентрированных на одной линии. Тогда условие фильтрации:

$$x \geq x_{\min}, \quad (1)$$

где x_{\min} – минимальный порог разницы уровней сигнала для обработки, дБ, x – разница уровней, полученная в ходе проведения испытания, дБ. Значение минимального порога примем $x_{\min} = 2,5$ дБ, что связано с минимальным значением нижних пиков наиболее контрастного уровня. Результатом обработки становится выделение одного контрастного уровня, отражающего разницу между сигналами (рис. 2).

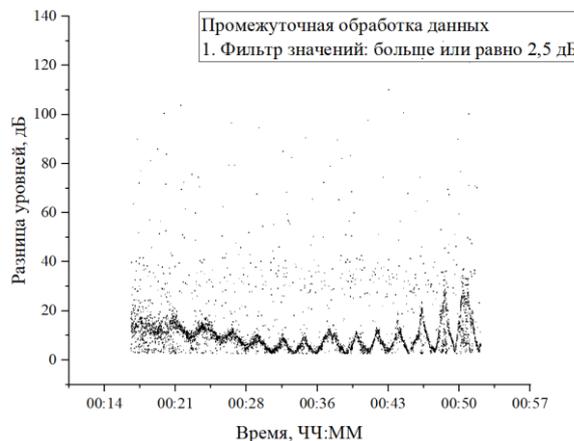
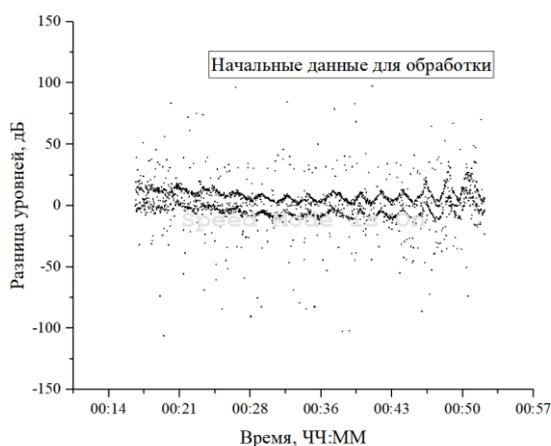


Рис. 1. Необработанные данные с антенн

Рис. 2. Выделение контрастного уровня

Дальнейшая обработка данных посредством применения сглаживающего фильтра позволяет произвести усреднение значений для определения однозначных разниц уровней сигналов и, соответственно, значений азимута для них.

Для дальнейшей фильтрации традиционно используется фильтр Калмана, так как он позволяет прогнозировать и корректировать прогноз движения объекта в реальном времени на основе имеющихся данных и шума, тем самым обеспечивая сглаживание, которое возможно принимать за наиболее близкое значение к реальной разнице уровней [2]. Обобщенный механизм вычисления оптимальной оценки [3] представляется следующим образом:

$$\hat{x}_k^- = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}, \quad (2)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-), \quad (3)$$

где \hat{x}_k^- – предсказание разницы уровней сигналов в текущий момент времени, F – матрица перехода между состоянием, \hat{x}_{k-1} – разница уровней в прошлый момент времени, B – матрица применения управляющего воздействия, u_{k-1} – управляющее воздействие в прошлый момент времени, \hat{x}_k – оценка разницы уровней с учётом изменения, K_k – коэффициент Калмана, z_k – измеренная разница уровней в текущий момент, H – матрица измерений, отображающая отношение измеренных и предсказанных разниц уровней.

Так как функционал пакета Origin не имеет в своем составе готового фильтра Калмана, то можно воспользоваться существующими библиотеками фильтров [4], показатели которых приближены к фильтру Калмана. В пакете представлены следующие фильтры инструмента Smooth, предназначенные для сглаживания: Adjacent Averaging, Savitzky-Golay, Percentile Filter. После анализа наличия в данных уровней с отличной от нормальных значений разницы был выбран Percentile Filter, то есть перцентильный фильтр [4]. Принцип работы данного фильтра заключается в усреднении координаты каждой точки с учетом группы окружающих точек. Учитывая, что вокруг контрастного уровня разницы сигналов антенн, отражающего траекторию подвижного средства, находятся точки с отличием от данного плотного уровня на 100 дБ и выше, то применение перцентильного фильтра оправдано.

В основе перцентильного фильтра лежит способ медианного вычисления значения из количества точек, задаваемых движущимся окном, являющимся изменяемым параметром фильтра. Необходимая вероятность определения значения разницы уровней задается пользователем, как и количество оцениваемых значений. В окне каждая точка оценивается по принципу [5]:

$$y = \begin{cases} x_j, & \text{if } g = 0 \\ x_{j+1}, & \text{if } g > 0 \end{cases} \quad (5)$$

где $npts$ – количество точек в движущемся окне (ширина окна), g – дробная часть выражения (4), отображающего расчет целой и дробной части, j – целая часть выражения (4), p – вероятность, x – значение разницы уровней, i – положение точки в заданном окне. Ширина окна рассчитывается как:

$$I - \text{floor}(npts/2) < m < I + \text{floor}(npts/2), \quad (6)$$

где I – количество входных точек, m – значение в окне. Таким образом, данный параметр отображает количество значений, полученных в ходе испытания.

На рисунке 3 показан результат применения перцентильного фильтра с шириной окна 30 pts и 60 pts. Меньшее количество точек приводит к излиш-

нему усреднению, что наблюдается на последнем пике, где образуется существенное отклонение, поэтому для дальнейшей обработки выбрана ширина окна 60 pts. Эффективность работы примененной фильтрации оценивается при сравнении полученных значений с координатами от GPS-системы, принятыми за эталонные (рис. 4).

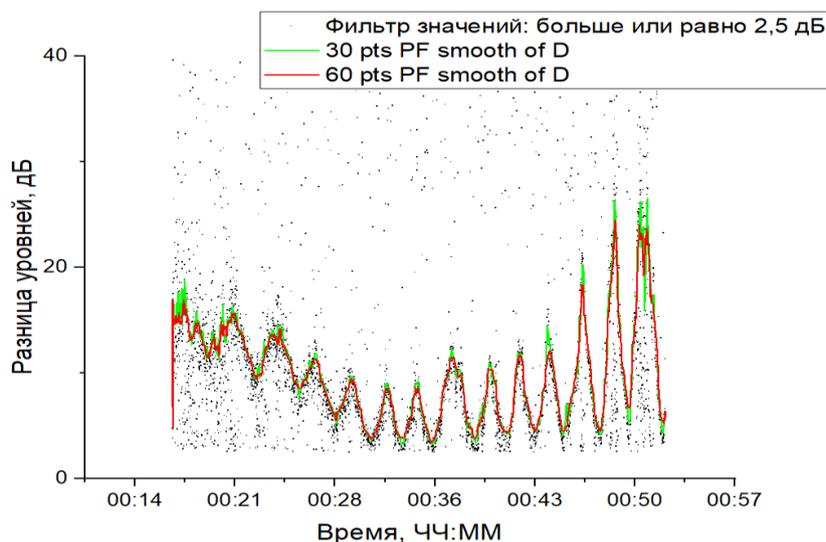


Рис. 3. Результат применения перцентильного фильтра

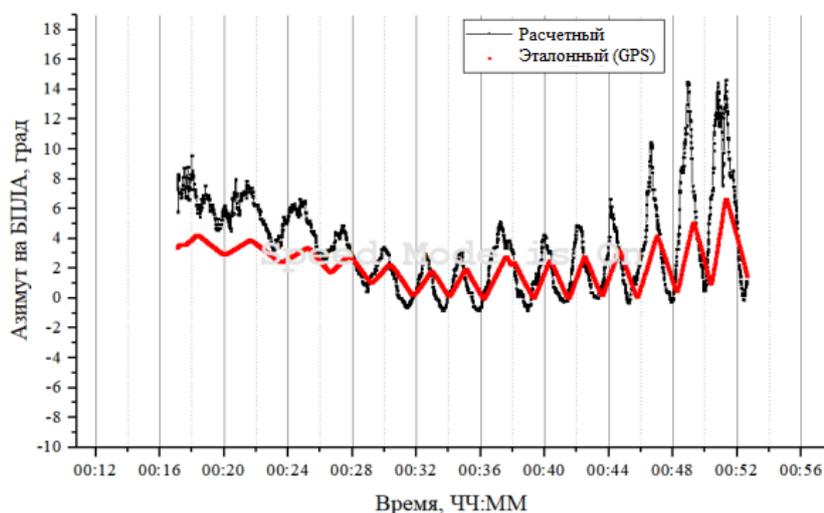


Рис. 4. Сравнение полученных значений азимута с эталонными

Внесение поправочных коэффициентов

В результате полученные значения отличаются от эталонных по таким параметрам как угол наклона антенны, смещение по времени и по уровню сигнала. Поэтому была произведена ручная корректировка с учетом поправочных коэффициентов: по уровню -1 дБ, по времени 13 сек., по углу наклона уменьшение в 3,1 раза (рис. 5).

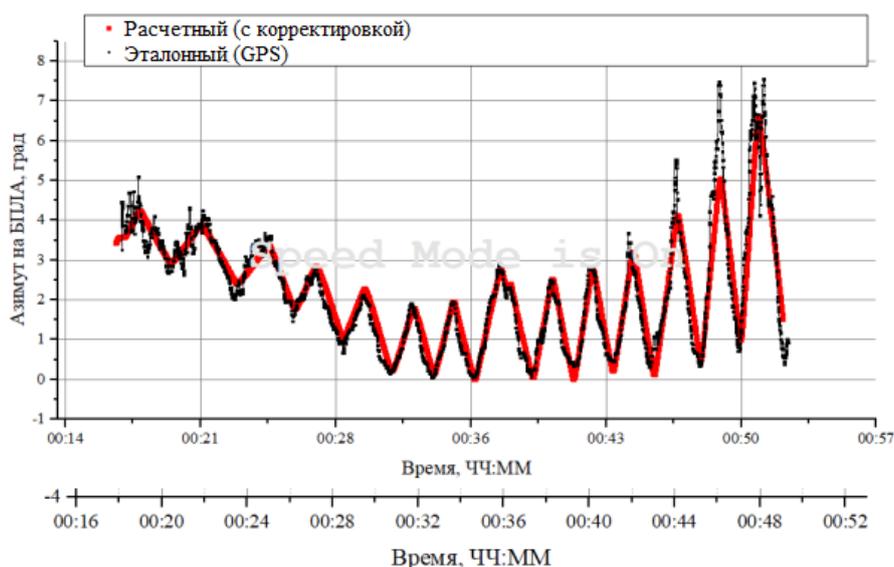


Рис. 5. Результат обработки данных перцентильным фильтром с последующей коррекцией

В результате расчетные амплитуды значений разницы уровней сигналов превышают реальные не более чем на 5 градусов, что является пределом основной рабочей зоны равносигнального метода.

Заключение и дальнейшие исследования

Таким образом, применение перцентильного фильтра с последующим внесением поправочных коэффициентов позволило добиться достаточной точности равносигнального метода при обработке экспериментальных данных, полученных от движущегося объекта.

В дальнейшем необходимо провести анализ причин расхождений значений параметров и анализ механизмов их возникновения, а также разработать методику автоматической коррекции.

Список используемых источников

1. Титков И. В., Ермаков Д. О. Способ определения направления на источник радиоизлучения методом анализа области относительно оси симметрии двух рупорных антенн // Патент РФ № RU2593835C2 22.10.2014
2. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Journal of Basic Engineering, 1960, № 82 (Series D). PP. 35–45.
3. Sazdovski V., Kolemishvaska-Gugulovska T., Stankovski M. Kalman Filter Implementation for Unmanned Aerial Vehicles navigation developed within a graduate course // IFAC Proceedings Volumes, 2005, Vol. 38, Issue 1. PP. 12–17.
4. Smoothing // OriginLab. URL: <https://www.originlab.com/doc/Origin-Help/Smoothing> (дата обращения 18.02.2024)
5. Algorithms (Smooth) // OriginLab. URL: <https://www.originlab.com/doc/Origin-Help/Smooth-Algorithm> (дата обращения 18.02.2024)

УДК 681.5
ГРНТИ 50.39.15

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО РАБОТНИКА МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Е. А. Исупова, Т. В. Матюхина, С. М. Сотенко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются способы создания комплексного автоматизированного рабочего места медицинского работника на основе интеграции и взаимодействия систем и сервисов обмена данными и реализации бизнес-процессов с использованием принципов асинхронного и синхронного взаимодействия, что позволяет эффективно управлять потоком данных и обеспечивать точное время ответа. Применение методов интеграции и принципов взаимодействия позволяет интегрировать современные платежные системы, системы управления контентом и взаимодействие с внешним программным интерфейсом приложений, что позволит создать гибкие, масштабируемые и функциональные медицинские сервисы высокой производительности.

протокол обмена данными, автоматизированное рабочее место, асинхронное и синхронное взаимодействие

Медицинские информационные системы становятся важной и неотъемлемой частью существования медицинских организаций. Они необходимы для упрощения, систематизации, хранения информации и улучшения работы медицинского персонала медицинского учреждения. В этих условиях крайне важно, чтобы структура информационной системы в целях всеобъемлющего охвата всех аспектов деятельности медицинской организации была легко масштабируема без потери производительности, сохраняла возможность наращивания включаемых в рассмотрение параметров, процедур, потоков информации и траекторий администрирования и в обязательно порядке имела возможность работы с различным специализированным программным обеспечением, обслуживающим оборудование различных производителей [1].

Рассмотрим задачу создания автоматизированного рабочего места (АРМ) медицинского работника, структура которой представлена в общем виде на рис. 1. Укрупненно, в круг основных задач АРМ входят программно-аппаратные комплексы, предназначенные для упрощения, систематизации, хранения информации и автоматизации работы медицинского персонала медицинского учреждения всех уровней квалификации и

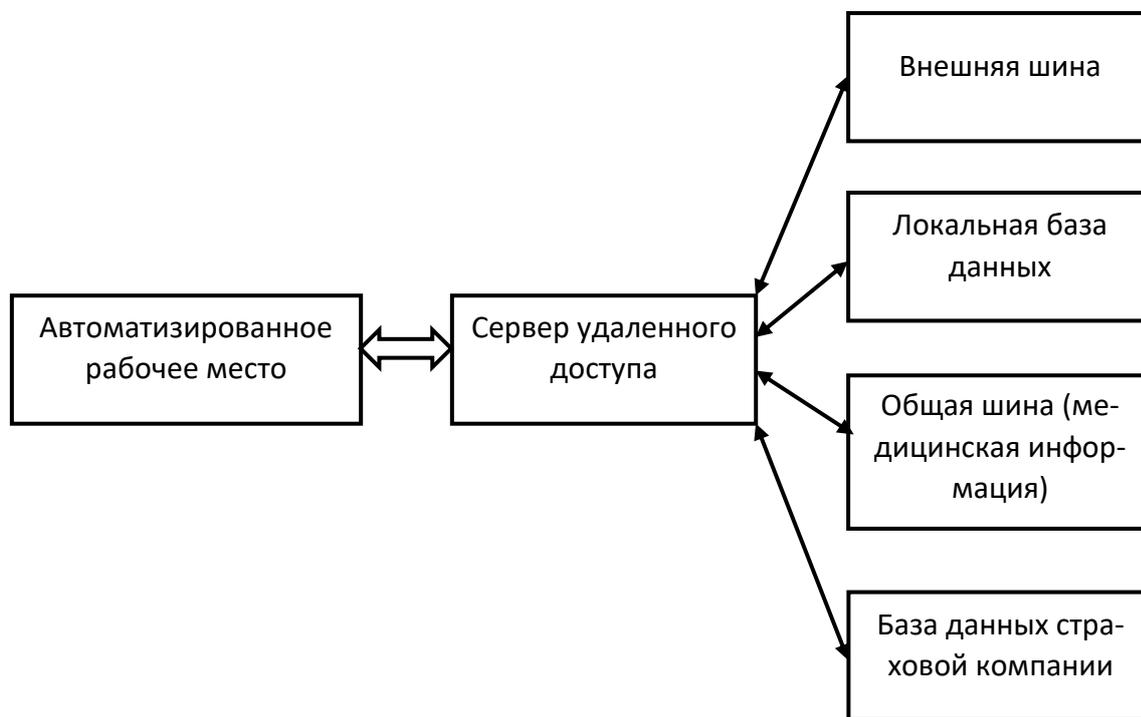


Рис. 1. Структура медицинской информационной системы

специальностей. Первая составляющая АРМ – это структура информационной системы, вторая часть – программный комплекс взаимодействия оконечного пользователя и технической системы (API), третья часть – интерфейс пользователя медицинской организации [2].

Проанализируем структуру и взаимодействие различных АРМ сотрудника медицинской организации на примере АРМ «врача», АРМ «администратора» и АРМ «пользователя». АРМ «врача» позволяет быстро и эффективно обрабатывать информацию о пациентах, включая медицинские карты, результаты лабораторных исследований, диагностические изображения и другие данные, связанные со здоровьем пациентов. АРМ «администратор» – это программно-технический комплекс специалиста, главными функциями которого являются диспетчерская работа, согласование работы отдельных АРМов, связь с внешними сетями и системами, содержание общих баз данных в актуальном состоянии и выполнение некоторых других общесистемных задач. Типовая структура АРМ «пользователь» в рассматриваемом случае – это рабочее место специалиста, оснащенное персональным компьютером, комплектом специализированного программного обеспечения и совокупностью информационных ресурсов индивидуального или коллективного пользования, которые позволяют ему вести обработку дан-

ных с целью получения информации, обеспечивающей поддержку принимаемых им решений при выполнении профессиональных функций в рамках его зоны ответственности. При этом функции основного опорного АРМ в рассматриваемой системе возлагаются на АРМ «администратора», главная задача которого – связывать все информационные потоки в целях обеспечения стабильной работы всей системы.

В случае использования большого количества удаленных АРМ и существенно разветвленной сети в системе следует использовать специализированные устройства, обеспечивающие решение задачи связи удаленных узлов (в том случае, когда к сети нужно подключить не другую сеть, а автономный компьютер). В таких случаях в центральной сети устанавливается сервер удаленного доступа, который обслуживает доступ к сети большого числа разрозненных компьютеров [3].

Наиболее оптимальным будет случай, когда каждое АРМ включается в информационную систему через посредство сервера удаленного доступа, служащего для подключения удаленных клиентов по аналоговом или ISDN каналам, как наиболее распространенным и повсеместно доступным сетям. Важно, чтобы серверы удаленного доступа имели большое (и при этом легко наращиваемое) количество портов для поддержки модемного пула, соединяющего сервер с городской телефонной или транспортной информационной сетью.

Для увеличения гибкости и обеспечения беспроблемной модифицируемости информационной структуры функции серверов удаленного доступа рационально разделить на серверы удаленных узлов, серверы удаленного управления и терминальные серверы.

В перечень функций серверов удаленных узлов входит обеспечение только транспортного сервиса, соединения АРМ с центральной сетью по протоколам IP, IPX или NetBIOS. В сущности, они выполняют в этом случае роль маршрутизаторов или шлюзов, ориентированных на низкоскоростные модемные соединения, что не требует больших ресурсов.

В свою очередь в перечень задач серверов удаленного управления, кроме обеспечения гибких транспортных интеркоммуникаций, необходимо включить и некоторые дополнительные функции, например, запуск от имени своих удаленных клиентов приложения на высокопроизводительных специализированных компьютерах центральной сети и эмуляция на экране удаленного компьютера графической среды этих выбранных приложений. Как правило, в целях унификации серверы удаленного управления рекомендуется оснащать операционными системами, имеющими наибольшее распространение, например, Windows или Linux.

Терминальные серверы выполняют похожие функции, но в силу более высокой загруженности и ответственности, ориентированы на использование многотерминальных операционных систем - Unix, VAX VMS, IBM VM.

При этом тип внешней шины – REST API или SOAP. Рекомендуемый метод интеграции - REST API (Representational State Transfer), является одним из наиболее распространенных методов интеграции веб-сервисов. Он основан на востребованных архитектурных принципах, позволяющих устанавливать соединение с удаленным сервером и обмениваться любыми данными посредством HTTP-запросов. Основное достоинство REST API - обеспечение простоты, масштабируемости и возможности использования различных легко реализуемых форматов данных, таких как JSON или XML. В более сложных случаях при решении некоторых комплексных задач повышенной ответственности, применяется протокол SOAP (Simple Object Access Protocol), используемый для обмена структурированными данными между веб-сервисами. Он предполагает более строгую спецификацию для взаимодействия и обмена сообщениями между клиентским АРМ и сервером. В данном случае SOAP использует XML-формат для представления данных.

Новое дополнительное положительное качество предлагаемой структуры информационной системы - приобретение возможных преимуществ в многопользовательском режиме, таких как синхронное либо асинхронное взаимодействие рабочих мест специалистов, реализуемое, в зависимости от ситуации, на выбор пользователя (или администратора системы). Так в случае оперативного, “живого” общения и обмена информацией, рекомендуется асинхронное взаимодействие, подразумевающее отправку запроса и продолжение работы без ожидания непосредственного ответа. Это будет особенно полезно, когда требуется обработка длительных операций или когда время ответа может быть неопределенным. Асинхронное взаимодействие реализуется посредством использования типовых механизмов, таких как “коллбэки”, “промисы” или другие подобные асинхронные функции. Синхронное взаимодействие подразумевает ожидание ответа перед продолжением работы. В этом случае, клиент ждет ответа от сервера перед выполнением следующей операции. Это часто используется, когда требуется точное время ответа, или когда последующие операции зависят от результатов предыдущих, что часто встречается при проведении длительных и углубленных медицинских исследованиях [4].

Применение методов глубокой интеграции и предложенных принципов взаимодействия элементов сети позволит расширить функционал медицинской информационной системы путем ее дополнения элементами сети с расширенными функциями, включения и интеграции в нее платежных систем, систем управления контентом и взаимодействия с внешними API. В каждом из этих случаев, дополнительная возможность гибко и правильно выбрать метод интеграции и настроить взаимодействие всех составляющих информационной системы, в соответствии с кругом решаемых задач, позво-

лит создать гибкие, масштабируемые и функциональные системы, а внедрение принципов асинхронного и синхронного взаимодействия поможет разработчикам а также пользователям эффективно управлять потоком данных и обеспечивать точное время ожидаемого ответа от профильных специалистов и других участников сети.

Список используемых источников

1. Автоматизация процессов, цифровые и информационные технологии в управлении и клинической практике лечебного учреждения: научные труды / Под. ред. О.Э. Карпова. М.: Деловой экспресс, 2016. 388 с.
2. Гасников В. К. Особенности управления здравоохранением региона в условиях социально-экономических преобразований. Ижевск, 2006. 360 с.
3. Карпов О. Э., Клейменова Е. Б., Назаренко Г. И., Силаева Н. А. Автоматизированное проектирование медицинских технологических процессов / Под. ред. Г.И. Назаренко. М.: Деловой экспресс, 2016. 200 с.
4. Обмачевская С. Н. Информационные технологии в профессиональной деятельности медицинских работников: учебное пособие / С. Н. Обмачевская. СПб.: Лань, 2021. 184 с.

УДК 621.31
ГРНТИ 47.45.29

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЩЕГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Е. А. Исупова, Т. В. Матюхина, С. М. Сотенко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассматривается способ назначения параметров и определения значений допусков при проектировании сложных радиоэлектронных систем. Решается главная проблема методов синтеза и оптимизации радиоэлектронных средств аналогичного назначения – критичность к размерности задачи, определяемой высокой сложностью проектируемых радиоэлектронных средств. Рассматриваемый способ является переходным от программ нелинейного программирования к программам с использованием эвристических методов поиска оптимального решения что позволяет резко снизить трудоемкость поиска и критичность к размерности задачи, обеспечить нахождение оптимального, наиболее устойчивого решения при наличии многокритериальных ограничений.

нелинейное программирование, параметрический синтез, самообучающийся алгоритм, синтез параметров радиоэлектронных средств

Основная проблема известных методов общего параметрического синтеза радиоэлектронных средств (ОПС РЭС) – это высокая зависимость трудоемкости отыскания значения параметров элементов при одновременном назначении производственных допусков от размерности задачи. Это приводит к невозможности реализации расчетных методов, имеющих теоретическое решение, для обеспечения практического выполнения требований к выходным параметрам, соответствующим техническому заданию (ТЗ).

Постановка задачи ОПС в данном случае остается классической. В соответствии с ней, каждое функционально законченное устройство с заданным схемным решением и строго определенным понятием работоспособного состояния характеризуется совокупностью элементов и их параметров [1]. Состояние РЭС в каждый момент времени определяется вектором X , вектором внутренних параметров, составляющие которого являются параметрами элементов:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n),$$

где n – количество параметров элементов.

Как правило, каждый параметр x_i , имеет ограничения сверху и снизу, например, из-за возможностей физической реализации:

$$X1 \min \leq X1 \leq X1 \max,$$

$$X2 \min \leq X2 \leq X2 \max,$$

$$Xn \min \leq Xn \leq Xn \max.$$

Тогда в пространстве внутренних параметров R^n , представляющем собой евклидово пространство, можно выделить область изменения внутренних параметров

$$S_n(\mathbf{X}) = \{ \mathbf{X} \in R^n \mid x_i \min \leq x_i \leq x_i \max; i=1, \dots, n \}.$$

Выходные параметры РЭС определяются также как вектор-столбец

$$\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m),$$

где m – количество выходных параметров.

При этом существует функциональная связь между внутренним j -м выходным параметром:

$$y_j = \varphi_j(\mathbf{X}). \quad (1)$$

Фактически, выражение (1) это модель проектируемого устройства, представленная в том или ином виде. Именно трудоемкость расчетов характеристик проектируемого устройства в целом по выражению (1) определяет трудоемкость задачи, а в ряде случаев – возможность или нереализуемость решения задачи в целом.

Условия работоспособности РЭУ задаются техническим заданием и в общем виде могут быть представлены неравенствами:

$$y1 \min \leq y1 \leq y1 \max,$$

$$y_j \min \leq y_j \leq y_j \max,$$

$$y_m \min \leq y_m \leq y_m \max,$$

которые отражают предельно допустимые изменения выходных параметров устройства.

Здесь $y_j \min$ и $y_j \max$ - нижнее и верхнее значение j -го выходного параметра, определяемые техническим заданием или из других соображений. Приведение области допустимых изменений выходных параметров к пространству R^n описывает область возможных работоспособных состояний устройства в целом:

$$S_y(\mathbf{X}) = \{ \mathbf{X} \in R^n \mid y_j \min \leq \varphi_j(\mathbf{X}) \leq y_j \max; j = 1, \dots, m \}.$$

Пересечение области изменения внутренних параметров $S_{in}(X)$ с областью внешних параметров $S_y(X)$ образуют в пространстве R^n область работоспособных состояний

$$S_p(X) = S_y(X) \cap S_{in}(X).$$

Для определенного схемного решения РЭС с заданными требованиями на выходные параметры, область работоспособных состояний $S_p(X)$ постоянна и зависит от функциональных связей, определяющих данное устройство, а также от ограничений, накладываемых возможностями физической реализуемости параметров элементов. Имеющаяся информация о параметрах $S_p(X)$ гарантирует возможность назначения номинальных значений параметров элементов и допусков на них, обеспечивающих выполнение ТЗ [1]. Наиболее полную информацию о $S_p(X)$ можно получить, используя классический метод матричных испытаний [2]. Но общее число обращений к модели (количества испытаний) достигает при этом

$$R = \prod_{i=1}^n l^{(i)},$$

где $l^{(i)}$ – количество квантов i -го параметра;

n – количество параметров элементов.

Это очень большое количество испытаний, что делает практически не реализуемым решение задачи, даже при использовании высокопроизводительной ЭВМ, особенно при высоких требованиях к точности модели. Для решения задачи ОПС РЭС средней сложности предлагается использовать модифицированный метод граничных испытаний (ГИ) совместно с определением характеристических параметров РЭС одним из методов теории чувствительности. Стратегия поиска в соответствии с методом ГИ, предполагает определение тем или иным способом все основные параметры $\{x_i\}, i=1, \dots, n$, от которых работоспособность устройства зависит существенным образом. Затем из числа этих параметров выбирают один (крайне редко два) характеристический параметр U , от которого работоспособность устройства зависит наиболее сильно. Далее для каждого из основных параметров определяют границы области устойчивой работы исследуемого устройства или области $S_p(X)$ путем дискретного изменения характеристического параметра через определенный интервал и путем непрерывного изменения основного параметра (или наоборот) или дискретного изменения обоих параметров одновременно (рис. 1) и (рис. 2).

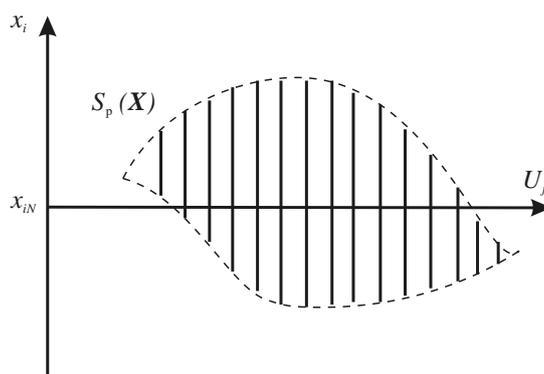


Рис. 1. Случай дискретного изменения характеристического параметра и непрерывного изменения основного параметра

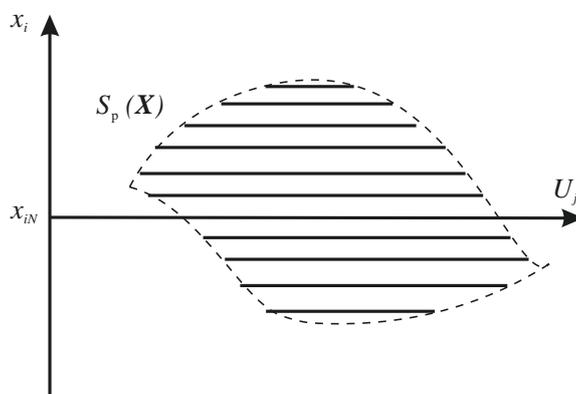


Рис. 2. Случай непрерывного изменения характеристического параметра и дискретного изменения основного параметра

Процедуру выбора основных и далее характеристических параметров предлагается осуществлять с использованием методов теории чувствительности, определяя коэффициенты влияния в рабочей точке выходного параметра классическим способом. Наиболее просто это удастся осуществить с использованием стандартных пакетов программ анализа схемотехнических решений типа Multisim™, Proteus, Micro-Cap и т. п. [3]. При этом, в данном случае размерность задачи будет определяться выражением:

$$R = \prod_{j=1}^k l^{(j)},$$

где $l^{(j)}$ – количество квантов j -го параметра;

k – количество характеристических параметров элементов (достаточно 1, максимум 2-х характеристических параметров).

Основным достоинством данного подхода к решению задачи ОПС является снижение вычислительной трудоемкости, делающей возможной синтез совокупности значения параметров и допусков на них в обозримо приемлемое время, обеспечивающее математически обоснованный выбор и

назначение характеристических параметров, исключая эвристические операции и, как следствие, ошибки, связанные с достаточно искусственным подходом к выработке основополагающих решений [4]. В данном случае главным является замена сугубо степенной на линейную зависимость трудоемкости решения задачи от ее размерности. Дальнейшим шагом в развитии модифицированного метода граничных испытаний будет реализация возможности внедрения «самообучающейся» стратегии, что позволит прогнозируемо получить уменьшение трудоемкости примерно в $\sim 2 \cdot K$ раз.

Список используемых источников

1. Матюхина Т. В., Рыжикова Т. А., Сотенко С. М. Метод общего параметрического синтеза РЭС на основе совместного поиска оптимальных номиналов и допусков Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. с. 412–415.

2. Абрамов О. В., Здор В. В., Супоня А. А. Допуски и номиналы систем управления. М.: Наука, 1976. 160 с.

3. Ильин В. Н., Лепехин А. В. Технология автоматизации структурно-параметрического синтеза на основе метода морфологического ящика // Электронный журнал «Труды МАИ». М.: Изд-во МАИ, 2018. Выпуск № 46. 11 с.

4. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 96 с.

УДК 537.533
ГРНТИ 47.29.29, 47.09.48

РЕГИСТРАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОДОВ ПОЛЕВОЙ ЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

М. А. Капелюш¹, А. Г. Колосько^{1,2}, Б. Э. Мутыгуллин³,
Е. О. Попов², С. А. Соков⁴, С. В. Филиппов²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

⁴ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

В работе представлена разработка и тестирование устройства измерения температуры с дистанционной передачей данных. Устройство предназначено для измерения температуры в экспериментальной установке по исследованию свойств полевых катодов, требующей беспроводной передачи данных для защиты вычислительного оборудования. Особенностью измерения является то, что измерительное устройство находится под потенциалом высоковольтного блока питания. Устройство состоит из датчика температуры «тип-К», платы сбора данных «Arduino», модуля передачи данных «Bluetooth», а также оригинального корпуса с интерфейсом управления и зарядки.

полевая эмиссия, Джоулев нагрев, термопарный датчик, высокое напряжение, беспроводная передача данных

Практически вся современная техника основана на электрических потоках. Одним из разделов электроники является вакуумная электроника, в которой неотъемлемым элементом выступает источник свободных электронов (электроны в вакууме). Классический источник таких электронов – это термокатод, однако на сегодняшний день большими перспективами обладают так называемые полевые катоды, в которых электроны выходят в вакуум не под действием температуры, а под действием сильного электрического поля.

Явление испускания электронов с поверхности проводника в газовую среду или в вакуум под действием сильного поля называется полевая эмиссия. Оно основано на туннелировании электронов через потенциальный барьер на границе проводник/вакуум вблизи поверхности катода.

Ширина барьера зависит от величины внешнего электрического поля. Для эмиссии необходима напряженность не менее 10^9 В/м. Выход электронов происходит с отдельных эмиссионных центров, имеющих как правило вытянутую форму. Вытянутая форма катода усиливает поле на его вершине, что уменьшает пороговое напряжение, необходимое для возникновения полевой эмиссии. Влияние такой фокусировки на электрические процессы

наблюдалось еще древними моряками в виде свечений над верхушками мачт в грозовой шторм, и носило название Огни святого Эльма.

Существенное влияние на поведение и характеристики полевого катода оказывает температура. Саморазогрев эмиссионных центров за счет Джоулева тепла (или за счет ионной бомбардировки поверхности катода) приводит к тому, что значительный вклад в эмиссию начинают вносить термоэлектроны [1], а при достаточно высоких температурах некоторые эмиссионные центры могут даже испытать термический взрыв и разрушиться [2]. При этом вакуум может ухудшиться настолько, что между электродами возникнет вакуумный разряд. Кроме того, от температуры зависит адсорбционное состояние поверхности катода, а так как адсорбаты влияют на работу выхода эмиссионных центров, то в результате саморазогрева может измениться и уровень тока [3].

Внешний нагрев катода является одним из инструментов технологии обработки катода с целью улучшения его эмиссионных свойств. Например, сильный нагрев катода (до 700 К и выше) применяют в качестве отжига, при котором происходит десорбция частиц с его поверхности, что меняет работу выхода и улучшает стабильность тока [3, 4].

Таким образом, регистрация температуры катода является важным аспектом при исследовании полевой эмиссии. Современные исследования требуют автоматизации физического эксперимента, т. е. оцифровку измеряемой температуры и регистрацию этих данных на рабочей станции. Однако не любой термодатчик подойдет для этой цели, так как исследуемый катод находится не только в изолированной вакуумной камере, но и под высоким напряжением (до 10 кВ) [5]. Если термодатчик находится в контакте с катодом, то под высоким напряжением оказывается также и его индикатор, что требует создания гальванической развязки для передачи информации на компьютер.

Существуют разные виды датчиков температуры: терморезистивные, термопарные, оптические, радиационные и световые (т.н. пирометры), акустические датчики, термометры расширения, а также манометрические термометры. В вакуумных установках применяют: терморезистивные, акустические и термопарные датчики (термопара). Все они имеют непосредственный контакт с изучаемым объектом. Классическим датчиком в исследовательских вакуумных установках является термопара.

Целью данной работы являлось создание устройства регистрации температуры на основе термопары с беспроводной передачей данных для обеспечения безопасности вычислительной аппаратуры.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

Разработанное устройство состоит из следующих блоков: датчик-термопара, модуль оцифровки напряжения на термопаре и перевода его в значение температуры, плата сбора данных, Bluetooth.

Вспомогательными блоками являются: источник питания; DC / DC преобразователь; плата зарядного устройства; дисплей для отображения регистрируемой температуры.

Опишем характеристики и особенности блоков.

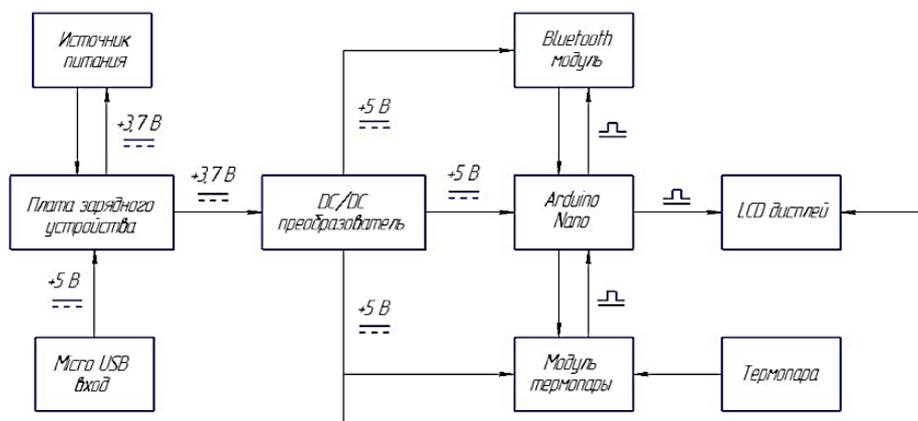


Рис. 1. Структурная схема устройства регистрации температуры полевого катода

Устройство создано для датчика типа **термопара хромель-алюмель** (ТХА, тип-К). Термопара подключается к модулю оцифровки посредством двух винтов, что позволяет менять датчик при необходимости.

Модуль оцифровки напряжения – плата MAX6675K с микросхемой MAX6675ISA, которая переводит значения температуры в цифровой код посредством интерфейса SPI (температура измеряется в градусах Цельсия). Минимальное время конвертации – 200 мс (5 Гц). Разрешение показаний – $0,25^{\circ}\text{C}$ в диапазоне $0 \div 1024^{\circ}\text{C}$.

Плата сбора данных Arduino Nano V3.0 – полнофункциональная миниатюрная плата, построенная на базе микроконтроллера Atmel ATmega328. Как известно, платы Arduino имеют возможность прямой передачи данных. Встроенный USB порт (с micro-USB разъемом) позволяет осуществлять проводную передачу данных, который определяется как виртуальный COM-порт.

Bluetooth модуль (HC05) передает данные на Bluetooth приемник, установленный в компьютере (радиус действия – 10 м). Модуль использует протокол связи V2.0+EDR (скорость до 3 Мбит/с на частоте 2,4 ГГц) и протокол передачи данных UART. При удаленном подключении к компьютеру устройство отображается в списке найденных устройств как «HC05». Затем полученные компьютером (через виртуальный COM порт) данные обрабатываются специальной программой, написанной на LabVIEW.

Источник питания – литий-ионный аккумулятор типоразмера 18650 (напряжение 3,7 В, емкость 600 мА·ч, время работы без подзарядки 26 ч).

DC / DC преобразователь (MT3608) повышает напряжение источника питания с 3,7 В до необходимого для работы основных модулей 5В. Выходное напряжение регулируется подстроечным резистором (от 2 до 24В).

Модуль зарядки аккумулятора Li-Ion с защитой (TP4056), который питается через micro-USB разъем (напряжение питания +5 В).

Дисплей (LCD 1602A) для отображения температуры: в верхней строке высвечивается слово «Температура:», в нижней строке – значение температуры в Цельсиях ($^{\circ}\text{C}$), а также текущее напряжение на аккумуляторе.

Все перечисленные блоки были размещены на общей печатной плате, которая устанавливалась в корпус с соответствующим креплением. Для проектировки платы была использована комплексная система автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств Altium Designer.

Корпус устройства был разработан в Компас 3D и создан на 3D принтере. Материал – АБС пластик толщиной 3 мм. Верхняя крышка выполнена из прозрачного оргстекла для визуального доступа к дисплею и контроля работоспособности устройства. Для доступа к интерфейсам зарядки (micro-USB порт) и подключения проводной связи (micro-USB порт) в корпусе по бокам созданы специальные окна. Включение и выключение осуществляется встроенным в корпус тумблером. Для установки и фиксации аккумулятора в корпусе создан специальный пластиковый отсек.

Для осуществления возможности монтажа устройства на установку на задней стороне корпуса создан хомут, посредством которого корпус прикрепляется к цилиндрической керамической ножке измерительной установки. Эта ножка является высоковольтным вакуумным вводом и используется для подачи высокого напряжения на исследуемый катод.

На рис. 2 представлена предварительная сборка и тестирование устройства на макетной плате, а также готовое устройство в корпусе.

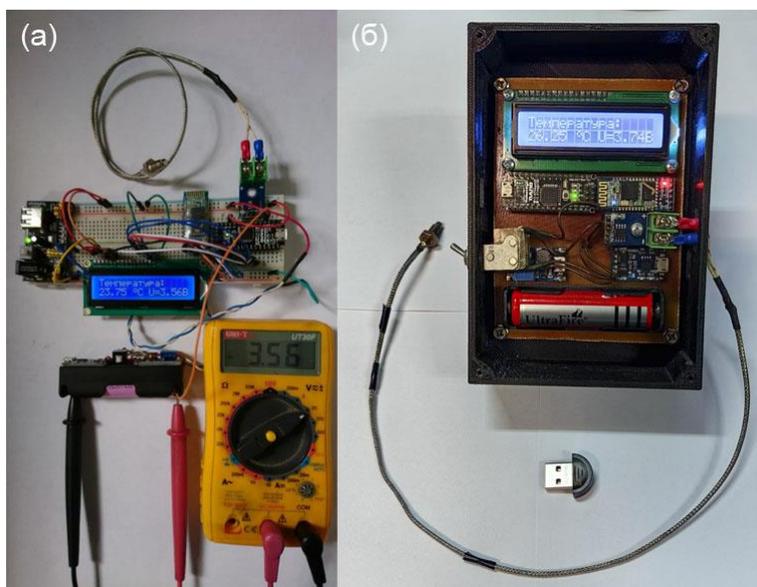


Рис. 2. Собранное на макетной плате устройство и подключенное к установке

В табл. 1 показаны результаты тестирования устройства ($T_{\text{т.п.}}$) различными источниками тепла и сравнение с показаниями ртутного термометра ($T_{\text{р.т.}}$).

ТАБЛИЦА 1. Результаты испытания устройства

Объект измерения	$T_{т.п.}, ^\circ\text{C}$	$T_{р.т.}, ^\circ\text{C}$
Воздух в помещении	25.5	27.5
Ладонь человека	35.7	34.0
Радиатор отопления	57.0	53.0

На рис. 3 представлен результат тестового опыта с паяльной станцией: выход на заданную температуру $T = 290^\circ\text{C}$ при контакте с феном, а также возвращение к комнатной температуре $T = 26^\circ\text{C}$ при устранении контакта. Отметим, что с ростом температуры точность измерений падает.

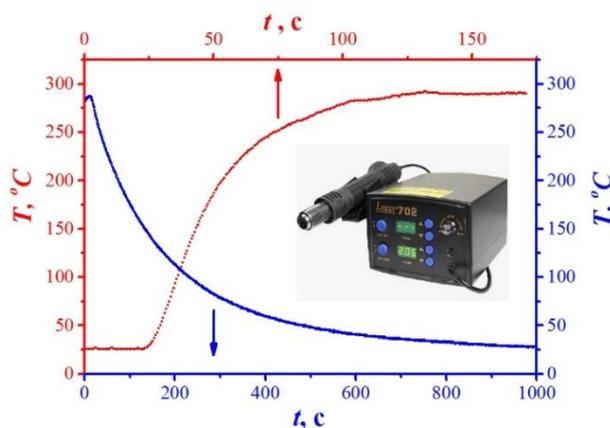


Рис. 3. График выхода на режим до (красный) и после (синий) нагрева от времени

Выход на заданную температуру требует достаточно длительного времени (~ 10 мин) при условии большого перепада исходной и конечной температур, что видимо связано с прогревом и остыванием массивной металлической части термопары (см. рис. 2).

Список используемых источников

1. Lim S. C., Jeong H. J., Kim K. S., Bae D. J., Lee Y. H. Extracting independently the work function and field enhancement factor from thermal-field emission of multi-walled carbon nanotube tips // Carbon, 2005. Vol. 43. №. 13. PP. 2801–2807.
2. Sveningsson M., Morjan R. E., Nerushev O., Campbell E. E. Electron field emission from multi-walled carbon nanotubes // Carbon, 2004. Vol. 42. №. 5–6. PP. 1165–1168.
3. Liu P, Jiang K., Wei Y., Liu K., Liu L., Fan S. Field emission behavior study of multiwalled carbon nanotube yarn under the influence of adsorbents // Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena, 2010. Vol. 28. №. 4. PP. 736–739.
4. Deng J., Deng J.-H., Yang Y.-M., Zheng R.-T., Cheng G.-A. Temperature dependent field emission performances of carbon nanotube arrays: Speculation on oxygen desorption and defect annealing // Applied surface science, 2012. Vol. 258. №. 18. PP. 7094–7098.
5. Попов Е. О., Колосько А. Г., Филиппов С. В. Измерительный стенд для исследования и технологической оптимизации полевых и термополевых источников электронов для применения в космических аппаратах // Космическая техника и технологии, 2023. №. 1 (40). С. 65–74.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.43.29

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОГО И КАНАЛЬНОГО УРОВНЕЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПОМЕХ

Я. В. Кичко¹, Л. П. Сапунова¹, А. М. Чуднов¹

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В минимаксной постановке решается задача анализа и оптимизации параметров физического и канального уровней системы передачи данных, функционирующей в условиях преднамеренных помех. Совокупность используемых исходных данных позволяет учесть, как структуру системы и ограничения на параметры канала передачи данных, так и возможности контрсистемы по постановке оптимизированных помех с учетом диаграмм направленности приемо-передающих средств взаимодействующих объектов. Полученные результаты использованы для формирования маршрутных таблиц и управления маршрутизацией пакетов в системе передачи данных.

система передачи данных, оптимизированная помеха, гарантированная пропускная способность канала, своевременность доставки сообщений.

Введение

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения надежного и безопасного функционирования систем передачи информации (СПИ) с обратным каналом, функционирующих в условиях воздействия преднамеренных помех. Проектирование СПИ из расчета на наихудший случай (наихудшую по структуре помеху в классе помех с ограниченной энергетикой) приобретает исключительную важность в системах и комплексах, в которых должен быть обеспечен обмен сообщениями с заданными гарантированными показателями своевременности и достоверности. При этом под гарантированными параметрами системы принято понимать параметры, которые могут быть обеспечены при воздействии наихудшей (оптимальной, преднамеренной) помехи из класса помех, определенного условием задачи [1–15].

Анализ гарантированных значений показателя эффективности СПИ U в классе \mathcal{V} помех соответствует формализованной постановке задачи:

$$Q(U, V) \rightarrow \min_{V \in \mathcal{V}}, \quad (1)$$

состоящей в определении наихудшего (ν -наихудшего) варианта (стратегии постановки) помехи $V \in \mathcal{V}$, минимизирующего величину показателя эффективности Q СПИ U . Задача синтеза СПИ из класса систем \mathcal{U} направляется на максимизации величины $Q(U) \triangleq \inf_{V \in \mathcal{V}} Q(U, V)$ и формально представляется в виде минимаксной задачи [1–10]:

$$Q(U) = \inf_{V \in \mathcal{V}} Q(U, V) \rightarrow \max_{U \in \mathcal{U}} . \quad (2)$$

Решение задачи (2) (вариант системы U^ε) называется ε -оптимальным, если:

$$Q_\varepsilon \triangleq Q(U^\varepsilon) = \inf_{V \in \mathcal{V}} Q(U^\varepsilon, V) \geq Q^*, \text{ где } Q^* = \sup_{U \in \mathcal{U}} \inf_{V \in \mathcal{V}} Q(U, V).$$

Другими словами, никакой вариант системы из рассматриваемого класса \mathcal{U} не может обеспечить значение показателя $Q(\cdot)$, превышающее величину Q^* более чем на ε . При $\varepsilon = 0$ система $U^\varepsilon = U^0$ называется оптимальной.

Минимаксная задача (2) и двойственная к ней максиминная задача:

$$Q'(V) \triangleq \sup_{U \in \mathcal{U}} Q(U, V) \rightarrow \min_{V \in \mathcal{V}} ,$$

составляют антагонистическую игру $\mathcal{G} = \langle \mathcal{U}, \mathcal{V}, Q \rangle$, заданную на множестве ситуаций $\mathcal{U} \times \mathcal{V}$ с функцией выигрыша 1-го игрока (СПИ) $Q(U, V)$, значения которой определяют также проигрыш 2-го игрока – источника помех (ИП) [1-7]. При условии существования в игре \mathcal{G} равновесной ситуации игра называется определенной, при этом стратегии, формирующие равновесную ситуацию, оказываются оптимальными как в исходной, так и двойственной задаче – изменение таких стратегий не является целесообразным как для СПИ, так и для ИП.

На сетевом уровне СПИ оптимизированная помеха распределяет ресурсы мощности по линиям связи, которые могут быть либо закреплены постоянно назначенными для этого парами приемо-передающих средств, либо создаваемыми для обеспечения сеанса связи, в частности, передачи пакета данных [4]. В теоретико-игровой постановке задача решалась в [4], где алгоритм функционирования СПИ определялся набором маршрутных таблиц, формируемых для каждого узла СПИ в рандомизированном варианте.

Использование принципа доминирования множеств ситуаций [1] позволило редуцировать множеств стратегий \mathcal{U}, \mathcal{V} , ограничившись описанными ниже моделями.

Модель взаимодействия СПИ и ИП

Функционирование СПИ на физическом и канальном уровнях иллюстрируется рис. 1 [10].

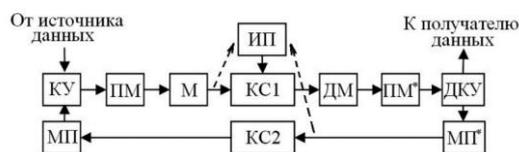


Рис. 1. Функционирование СПИ на физическом и канальном уровнях

Поступающие от источника данных информационные символы $a_i \in \{0,1\}$ подаются в кодирующее устройство КУ, которое формирует канальные блоки (a_1, \dots, a_n) , представляющие собой кодовые слова (n, k) -кода, где n – длина блока, k – число содержащихся в нем информационных элементов. Сформированные в КУ канальные блоки поступают в перемежающий модуль ПМ, где из определенного числа L канальных блоков формируется макроблок из nL символов, перемешанных по псевдослучайному закону, известному как на передающем, так и принимающем концах СПИ. Затем этот макроблок подается в псевдослучайный модулятор М, который преобразует каждый поступивший символ в псевдослучайный сигнал (ПСС) $s(t)$ с подобранным соответствующим образом значением базы b [2-8]. Полученные на передающем конце сигналы $s(t)$ поступают в канал связи КС1, в котором они смешиваются с генерируемой ИП помехой $v(t)$ и совокупностью случайных помех (шумов) $\xi(t)$. При этом принимаемый из КС1 сигнал имеет вид $u(t) = s(t) + v(t) + \xi(t)$. Поступающие из КС1 сигналы $u_1(t), u_2(t), \dots$ подаются на вход демодулятора ДМ, который подает зарегистрированные данные в перемежающий модуль ПМ*, осуществляющий обратное перемежение (восстановление исходного порядка следования) символов макроблока и выдачу сформированных канальных блоков в декодирующее устройство ДКУ. Декодирующее устройство работает в режиме исправления ошибок кратности менее или равной r , причем $r \leq r^*$, где $r^* = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$ – максимальная кратность гарантировано исправляемых заданным кодом ошибок, d – минимальное расстояние кода [17]. В результате неисправленные ошибки либо переспрашиваются по обратному каналу связи КС2 модулем переспроса МП*, а затем повторяются на передаче модулем повторения МП, либо декодируются неправильно и выдаются получателю с ошибкой.

Принцип оптимизации стратегии помехи

Оптимизированная стратегия ИП реализует выпуклую вверх оболочку $R^v(U, e_v)$ зависимости $R(U, e_v)$ относительной скорости передачи битов в канале от энергии помехи, выделенной на блок и приведенной к базе сигнала [1,3]. В силу монотонности и унимодальности функции $R(U, e_v)$ ее выпуклая оболочка определяется соотношением:

$$R^v(U, \delta) = \begin{cases} (1 - p_V \delta), & \text{if } \delta \leq \delta', \\ R(U, \delta), & \text{if } \delta > \delta', \end{cases} \quad (3)$$

δ' – величина средней мощности помехи, определяемая из условия:

$$\delta' = \underset{\delta \leq z \leq \infty}{\operatorname{argmax}} \frac{1}{z} (1 - R(U, z)). \quad (4)$$

Из (3), (4) следует, что при оптимизированном воздействии на канальном уровне ИП формирует помеху в импульсном режиме с энергией импульса $e_V = \delta'$ и вероятностью $p_V = \min\{1, \delta/\delta'\}$. В частности, при $\delta \geq \delta'$ оптимизированная помеха формируется в непрерывном режиме. На основании принципа доминирования множеств ситуаций в случае стационарности исходных данных, определенных в \mathcal{G} -задаче, устанавливается, что изменение стратегий СПИ и ИП с выходом из доминирующего подмножества не даст гарантированного выигрыша никому из участников конфликта, но может привести лишь к потере эффективности его системы.

Методика оптимизации параметров физического и канального уровней СПИ

На физическом уровне предусматривается применение ФМ ПСС, при обработке которых приемником Котельникова обеспечивается вероятность ошибочного приема двоичного символа, аппроксимируемая при $b \geq 10$ соотношением [2, 3, 8]:

$$p_e \approx 1 - \Phi(\sqrt{1/e_V}),$$

в котором $\Phi(\cdot)$ – интеграл вероятностей Гаусса, а величина e_V , как полагается, наряду с преднамеренной помехой учитывает случайные шумы.

Для рассматриваемой СПИ среднее время передачи канального блока при действии помехи с постоянной мощностью определяется как для геометрического распределения соотношением:

$$R(\delta, r) = p(n, r, e_V), \quad (5)$$

где $p(n, r, e_V)$ – вероятность обнаружения декодером ошибки в канальном блоке, содержащем более r ошибок (такие блоки и только такие переспрашиваются и повторяются).

С учетом требований к достоверности передачи информации в практических расчетах в формуле (5) вместо указанной величины, как правило, используется вероятность появления в канальном блоке более r ошибок, что приводит к незначительной погрешности (менее 0,0001 %) рассчитанного значения $R(\cdot)$. Такую погрешность не будем принимать во внимание и в (5) величина $p(n, r, e_V)$ трактуется как вероятность искажения в принятом канальном блоке более r символов и полагается равной:

$$p(n, r, e_V) = 1 - \sum_{i=0}^r C_n^i p_e^i (1 - p_e)^{n-i}.$$

Достоверность передачи канальных блоков характеризуется вероятностью наличия ошибки в выдаваемом получателю слове длины k , которая с учетом повторений переспрашиваемых блоков определяется выражением [5]:

$$P_U(n, k, r) = \frac{P_e(n, k, r)}{1 - (1 - P_e(n, k, r))p(n, r, e_V)}$$

где $P_e(n, k, r)$ – вероятность необнаруженной ошибки (n, k) -кодом, декодируемым в режиме исправления r ошибок, оцениваемая соотношением:

$$P_e(n, k, r) \approx (2^k - 1) \left(2^n \left(\sum_{i=0}^r C_n^i \right)^{-1} - 1 \right)^{-1}.$$

Заключение

Разработанная методика позволяет находить гарантированные значения показателей эффективности, а также осуществлять оптимизацию характеристик СПИ на физическом, канальном и сетевом уровнях в условиях воздействия оптимизированных помех.

Неучет или неполный учет возможностей контрсистемы по осуществлению дестабилизирующих воздействий на СПИ может привести к синтезу неработоспособной системы. Ход зависимостей $R^V(\delta|b^*)$, $R^V(\delta|b)$ указывает на возможность получения выигрыша в эффективности СПИ за счет комплексной оптимизации алгоритма рандомизированного переключения параметров физического и канального уровней системы (см. также [6]).

Список используемых источников

1. Чуднов А. М. Математические основы моделирования, анализа и синтеза систем. 2021. 193 с.
2. Чуднов А. М. О минимаксных алгоритмах формирования и приема сигналов // Проблемы передачи информации, 1986. Том 22. № 4. С. 49–54.
3. Чуднов А. М. Теоретико-игровые задачи синтеза алгоритмов формирования и приема сигналов // Проблемы передачи информации, 1991. Том 27. № 3. С. 57–65.
4. Чуднов А. М., Положинцев Б. И., Кичко Я. В. Анализ помехозащищенности обмена данными группы беспилотных летательных аппаратов в условиях оптимизированных помех // Радиотехника, 2022. Т. 86. № 12. С. 33–46. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202212-03>.
5. Чуднов А. М., Кирик Д. И., Ермакова Е. М. Оптимизация параметров кода и режима обработки сигналов в условиях преднамеренных помех // Труды учебных заведений связи, 2019. Т. 5. № 4. С. 79–86. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-4-79-86.
6. Чуднов А. М., Кичко Я. В., Сапунова Л. П. Оптимизация гарантированной скорости передачи информации псевдослучайными сигналами с рандомизированной базой в условиях преднамеренных помех // Радиотехника и электроника, 2023. Т. 68. № 3. С. 263–270.

7. Вейцель В. А., Жодзишский М. И., Жодзишский Ю. И. Гарантированная помехоустойчивость приема сигналов // Радиотехника и электроника, 1987. Т. 32. № 2. С. 316–321.
8. Чуднов А. М. Помехоустойчивость корреляционного приема псевдослучайных сигналов, модулированных по амплитуде и фазе // Радиотехника и электроника, 1987. Т. 32. № 1. С. 62–68.
9. Sagduyu Y. E., Berry R. A., Ephremides A. Jamming games in wireless networks with incomplete information // IEEE Commun. Mag. 2011. Vol. 49. № 8. PP. 112–118.
10. Пантенков Д. Г., Ломакин А. А. Оценка устойчивости спутникового канала управления беспилотными летательными аппаратами при воздействии преднамеренных помех // Радиотехника, 2019. Т. 83. № 11 (17). С. 43–50. DOI: 10.18127/j00338486-201911(17)-04.
11. Wu Y., Wang B., Liu K. J. R., Clancy T. C. Anti-jamming games in multi-channel cognitive radio networks // IEEE J. Sel. Areas Commun. 2012. Vol. 30. № 1. P. 4–15.
12. Poisel R. A. Modern Communication Jamming Principles and Techniques. Artech, Massachussets, 2004.
13. Poisel R. A. Modern communications jamming principles and techniques. Artech House Publishers, 2004.
14. Mpitziopoulos A., Gavalas D., Konstantopoulos C., and Pantziou G. E. A survey on jamming attacks and countermeasures in wsns // IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2009. Vol. 11. №. 4. PP. 42–56.
15. Feng Z., Ren G., Chen J., Chen C., Yang X., Luo Y., et al. An Anti-Jamming Hierarchical Optimization Approach in Relay Communication System via Stackelberg Game // Applied Sciences, 2019. Vol. 9. Iss. 16. DOI:10.3390/app9163348.
16. Гладких А. А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 379 с.
17. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1976.

УДК 371.687
ГРНТИ 49.45.01

АДАПТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ВИДЕО В СТАНДАРТЕ H.266/VVC

Д. И. Козинцева, С. Л. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Компенсация движения является одной из ключевых технологий, обеспечивающих высокую эффективность сжатия в современных стандартах кодирования видео. Для сжатия сферического видео требуются специальные функции отображения для проецирования его на плоскость двумерного изображения. Искажения, неизбежно возникающие при таком отображении, ухудшают производительность классических моделей движения. В статье представлен новый метод адаптивного моделирования движения в плоскости движения для сферического видео, который позволяет выполнять компенсацию движения в различных плоскостях движения в трехмерном пространстве вместо того, чтобы работать непосредственно с теоретически произвольно отображаемым двумерным изображением.

кодирование видеoinформации, H.266, адаптивное моделирование движения, сферическое видео, компенсация движения.

Сферическое видео, также известное как видео в формате 360 градусов, становится все более популярным форматом контента, который позволяет зрителям погружаться в сцену и видеть все вокруг себя. Однако передача такого видео представляет собой значительную техническую сложность из-за большого количества данных, особенно из-за высокой требуемой частоты кадров и формата разложения изображения.

Как правило, двумерное представление сферического видео требуется для обеспечения сжатия с использованием существующих методов кодирования видео, таких как стандарты H.265/HEVC или H.266/VVC. По сравнению с кодированием обычного видео, эффективность сжатия современных видеокодеров заметно снижается [1]. Одной из причин этого являются искажения, которые неизбежно возникают из-за отображения сферического видео на плоскость двумерного изображения [2], как показано на рис. 1.



Рис. 1. Сферическое видео, отображенное на плоскость двумерного изображения с использованием равноугольной проекции

Предлагается интегрировать новую адаптивную модель движения в плоскости движения (МРА) для сферического видео в стандарт кодирования H.266/VVC. Модель позволяет выполнять компенсацию движения в различных плоскостях движения в трехмерном пространстве, в то время как любое движение в этих плоскостях моделируется исключительно с использованием горизонтальных и вертикальных сдвигов. На рис. 2 представлено интуитивное понимание этой концепции, где виртуальная перспективная камера размещена в сферическом видео.

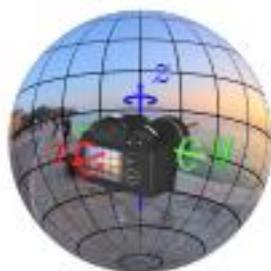


Рис. 2. Визуализация концепции плоскостей движения, где виртуальная перспективная камера расположена в видеосфере с углом обзора 360 градусов.

Изображение, видимое данной камерой, представляет собой плоскость движения, ориентация которой соответствует ориентации камеры. Любое движение, перпендикулярное нормали камеры, может быть идеально представлено с помощью модели поступательного движения в соответствующей плоскости движения.

Компенсация движения или промежуточное предсказание является ключевым компонентом любого современного гибридного видеокodeка, где предсказание формируется на основе уже закодированного опорного кадра, так что необходимо передавать сигнал только о разнице между предсказанным блоком и фактическим блоком.

Используя модель поступательного движения, кадр с компенсацией движения или прогнозируемый кадр могут быть получены как в кодере, так и в декодере путем извлечения значений пикселей с компенсацией движения из опорного кадра. Внутри требуется подходящий метод интерполяции, чтобы получить доступ к значениям пикселей в дробных положениях пикселей. Для каждого блока кодер выполняет поиск вектора движения t , что обеспечивает максимальную эффективность сжатия в процессе, называемом оптимизацией скорости искажения.

Чтобы повысить эффективность сжатия видеокodeков для сферического видео, основные усилия были направлены на разработку усовершенствованных моделей движения, основанных на известных сферических характеристиках.

Любая допустимая функция проекции $\xi : S \rightarrow R^2$ обратима и описывает соотношение между координатой трехмерного пространства $S = (x, y, z)^T \in S$

на единичной сфере и соответствующей координате пикселя $p=(u,v)^T \in R^2$ на плоскости двумерного изображения, где $S=\{s \in R^3 \mid \|s\|_2=1\}$ описывает набор всех координат на единичной сфере.

Равноугольная проекция $\xi_{erp} : S \rightarrow R^2$ является популярным и широко применяемым примером общей 360-градусной проекции. Он сопоставляет полярный угол $\theta \in [0, \pi]$ с вертикальной осью v и азимутальный угол $\varphi \in [0, 2\pi]$ с горизонтальной осью u плоскости двумерного изображения. Обратная равноугольная проекция $\xi_{erp}^{-1} : R^2 \rightarrow S$ отменяет эту процедуру и проецирует координату пикселя на плоскости двумерного изображения обратно в единичную сферу.

Для отображения данных из единичной сферы в желаемую плоскость движения применяется перспективная проекция. Поскольку перспективная проекция в основном определяется только для углов падения $\theta < \pi/2$, предлагается обобщенная перспективная проекция $\xi_p : S \rightarrow R^2$, которая проецирует световые лучи, соответствующие углам падения $\theta > \pi/2$, на так называемую виртуальную плоскость изображения на противоположной стороне линзы [3], как показано на рис.3.

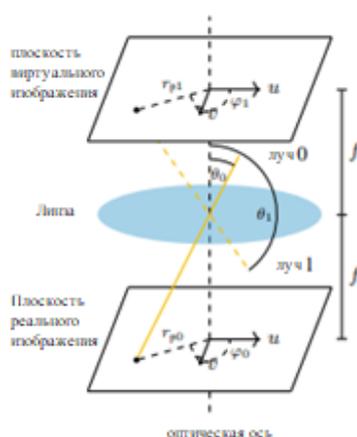


Рис. 3. Перспективные плоскости изображения. Световые лучи с углами падения $\theta < \pi/2$ проецируются на плоскость реального изображения, в то время как световые лучи с углами падения $\theta > \pi/2$ проецируются на плоскость виртуального изображения.

Если предположить, что оптическая ось перспективной проекции совпадает с осью z в трехмерном пространстве, угол падения θ и азимутальный угол φ светового луча, соответствующий координате пикселя s на единичной сфере, могут быть непосредственно получены из его представления в сферических координатах (ρ, θ, φ) . Радиус пересечения r_p светового луча с реальной или виртуальной плоскостью изображения получается с помощью

$$r_p = \begin{cases} f \tan(\theta) \text{ if } 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}, \\ f \tan(\pi - \theta) \text{ if } \frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi, \end{cases}$$

и соответствующая координата пикселя p_p получается путем преобразования полярных координат (r_p, φ) точки пересечения в декартовы координаты. Функция обратной проекции $\xi_p^{-1} : \mathbb{R}^2 \rightarrow S$ инвертирует эту процедуру и выдает координату пикселя s на единичной сфере на основе координаты пикселя p_p на плоскости перспективного изображения.

Модель движения. На первом этапе исходная координата пикселя p_o проецируется на координату пикселя p_p на желаемой плоскости движения, описываемой R , с использованием функции перепроецирования $\zeta_R : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ определяется, как:

$$p_p = \zeta_R(p_o) = \xi_p \left(R \xi_o^{-1}(p_o) \right), \quad (1)$$

где ξ_o^{-1} проецирует исходную координату пикселя p_o на единичную сферу, матрица вращения плоскости движения $R \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ вращает координату пикселя на единичной сфере в соответствии с желаемой ориентацией плоскости движения, а затем ξ_p проецирует координату пикселя на плоскость движения.

На втором этапе поступательное движение в соответствии с вектором движения t выполняется в полученной плоскости движения, что дает координату перемещенного пикселя:

$$p_{p,m} = p_p + t. \quad (2)$$

На последнем третьем этапе координата перемещенного пикселя $p_{p,m}$ на плоскости движения проецируется обратно в исходный 360-градусный формат для получения координаты перемещенного пикселя в сферической проекции $p_{o,m}$ с использованием функции обратного перепроецирования ζ_R^{-1}

$$p_{o,m} = \zeta_R^{-1}(p_{p,m}) = \xi_o \left(R^{-1} \xi_p^{-1}(p_{p,m}) \right). \quad (3)$$

Объединив шаги (1)–(3), общая модель движения m_{mpa} определяет, как:

$$m_{mpa}(p_o, t, R) = \zeta_R^{-1}(\zeta_R(p_o) + t).$$

Схематическое изображение описанной модели движения показано на рис. 4. Для применения МРА в видеокодировании формируется ограниченный набор из трех матриц вращения, дающих плоскости движения спереди/сзади, слева/справа, сверху/снизу, которые выбираются отдельно для каждого кадра.

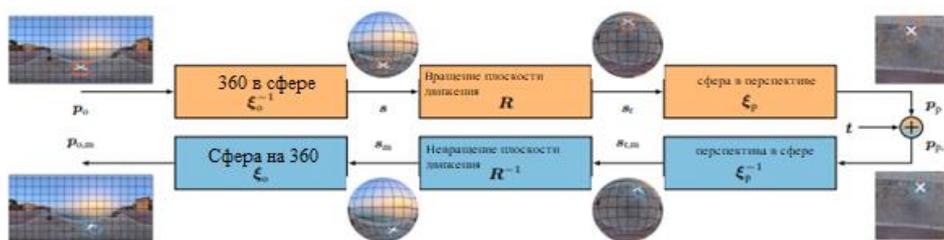


Рис. 4. Схематическое представление модели адаптивного движения в плоскости движения с визуализацией процедуры для примерного блока в сферическом изображении

Для визуализации показано движение блока для примерного вектора движения и матрицы вращения. Отчетливо видно, что предложенная модель движения способна точно воспроизвести искажения блока, возникающие в результате поступательного движения в нижней плоскости.

В этой статье предложена новая адаптивная модель движения плоскости движения для сферического видеокодирования, которая позволяет выполнять взаимное предсказание на разных плоскостях движения в трехмерном пространстве.

Список используемых источников

1. Bross B., Wang Y.-K., Ye Y., Liu S., Chen J., Sullivan G. J., and Ohm J.-R. Overview of the Versatile Video Coding (VVC) Standard and its Applications // IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 2021. Vol. 31, №. 10. PP. 3736–3764.
2. Pearson I. I. Map Projections Theory and Applications, 2nd ed. // Boca Raton, Fla: CRC Press, Mar. 1990.
3. Regensky A., Herglotz Ch., Kaup A. Motion-Plane-Adaptive Inter Prediction in 360-Degree Video Coding // IEEE, 2023. 876 p.

УДК 621.391
ГРНТИ 47.49.31

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Е. В. Кокорева, К. И. Шурыгина

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Услуга отслеживания движущихся объектов внутри помещений без использования GPS или ГЛОНАСС является актуальной и востребованной в различных сферах человеческой деятельности. В данной статье приводится описание разработанного авторами программного обеспечения в составе локальной системы определения местоположения мобильного объекта в централизованной сети Wi-Fi.

Android, Java, WifiManager, RSSI, клиент-серверная архитектура, программное обеспечение, параметры Wi-Fi сигнала

Глобальные навигационные системы (GPS, ГЛОНАСС) показывают весьма посредственные результаты внутри зданий из-за значительного затухания спутникового сигнала при прохождении через препятствия, отсутствия прямой видимости между передатчиком и приемником и влияния многолучевости. Этих недостатков лишены системы локального позиционирования и навигации, о которых пойдет речь в данной статье.

Существующие сегодня на российском рынке предложения не обеспечивают достаточную точность отслеживания абонента, кроме того, большинство из них требует больших временных и финансовых затрат на внедрение, а также выделения дополнительных площадей для размещения оборудования. Системы геолокации от зарубежных производителей в основном недоступны для российских пользователей или не соответствуют требованиям информационной безопасности. Поэтому перед авторами поставлена задача – разработать программно-аппаратный комплекс для трекинга мобильного объекта в сети Wi-Fi внутри зданий.

Программное обеспечение системы определения местоположения представляет собой распределенное приложение, реализующее архитектуру клиент-сервер. Клиентская часть приложения включает в себя пользовательский интерфейс, формирование и отправку запросов к серверу, обработку ответов от него и вывод на экран местоположения пользователя на карте помещения.

Работа приложения для клиентских устройств в рамках системы определения местоположения подвижных объектов внутри зданий и помещений предполагает измерение и обработку данных (сетевых и вспомогательных

параметров) на устройстве и дальнейшую их запись в файл, сохраняемый в памяти устройства, или отправку на сервер.

Полученное приложение с названием MultiScanner может быть запущено на любом смартфоне с версией ОС Android 6.0 и выше.

Основной функционал программы реализован на языке Java в среде Android Studio [1–3]. Для получения результатов сканирования Wi-Fi сетей используется стандартный класс операционной системы Android WifiManager [4]. Данный класс отвечает за сканирование всех точек доступа, сигнал которых достигает абонентского устройства, и за выбор из них точки доступа для подключения на основе полученной информации об их параметрах. Работа с классом производится его собственными стандартными средствами, без использования сторонних библиотек для внесения каких-либо модификаций.

Сначала требуется зарегистрировать слушатель события `SCAN_RESULTS_AVAILABLE_ACTION`, который сообщает, что сканирование Wi-Fi диапазона завершено и доступны его результаты.

Запрос сканирования производится методом `startScan()`, при этом необходимо также запросить значение вспомогательной булевой константы `WifiManager.EXTRA_RESULTS_UPDATED`, которое говорит об успешности проведенного сканирования. Есть несколько причин, по которым запрошенное сканирование не обновляет результаты: ограничение на количество сканирований со стороны системы, неактивность устройства и отключение функции сканирования, а также неполадки в аппаратном обеспечении.

После подтверждения успешно проведенного сканирования производится запрос результатов методом `getScanResults()`. Этот метод возвращает самые последние зарегистрированные системой результаты сканирования, которые могли остаться от предыдущей попытки, если текущая не была успешно завершена. Поэтому сначала требуется произвести обращение к `SCAN_RESULTS_AVAILABLE_ACTION`.

Результатом сканирования является список (List) объектов специального класса `<ScanResult>`, каждый из которых содержит информацию об обнаруженной точке доступа Wi-Fi. Полями этого класса являются следующие параметры:

- `BSSID` – MAC-адрес точки доступа;
- `SSID` – символьное название точки доступа;
- `channelWidth` – ширина канала;
- `frequency` – центральная частота канала;
- `level` – уровень сигнала в дБм, то есть `RSSI`,
- `operatorFriendlyName` – имя оператора в сети Passpoint;
- `timestamp` – временная метка результата в микросекундах, отмеряемая с загрузки устройства;
- `venueName` – название места, в котором установлена сеть, задано только для сетей Passpoint, если точка доступа публикует эту информацию.

– centerFreq0 и centerFreq1 – параметры частотного диапазона 80 + 80 МГц, которые означают центральную частоту первого (0) и второго (1) сегмента;

– capabilities содержит одновременно метод аутентификации, алгоритм использования ключей шифрования, метод шифрования и др.

Кроме того, при запросе сканирования отслеживаются параметры качества (quality), шума (noise) и максимальной битовой скорости (maxbitrate), которые на данный момент недоступны для использования сторонними разработчиками.

Основным из приведенных параметров для данного исследования являлся RSSI, значение которого применялось для вычисления местоположения. Разумеется, RSSI необходимо было связать с MAC-адресом точки, от которой пришел сигнал. В качестве вспомогательных параметров использовались SSID, частота и ширина канала.

Для доступа к полному функционалу приложения от пользователя требуется вручную выдать разрешения: на определение точного местоположения (ACCESS_FINE_LOCATION) и на запись данных во внешнее хранилище (WRITE_EXTERNAL_STORAGE).

Другие необходимые разрешения, указанные в файле манифеста приложения, программа получает от операционной системы автоматически, так для этого не требуется отдельное согласие пользователя. К ним относятся разрешения на доступ к интернету, к состоянию сети и Wi-Fi сети, а также к изменению состояния Wi-Fi сети.

Для упрощения процесса управления разрешениями была использована библиотека RxPermissions, свободно распространяемая по лицензии Apache License 2.0. Она позволяет применять фреймворк RxJava2 с моделью разрешений Android [5]. Пример применения библиотеки RxPermissions приведен на рис. 1.

```
RxPermissions rxPermissions = new RxPermissions( activity: this);
rxPermissions
    .requestEach(Manifest.permission.ACCESS_FINE_LOCATION,
        Manifest.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE)
    .subscribe(permission -> {
        if (permission.granted) {
} else if (permission.shouldShowRequestPermissionRationale) {
    Toast.makeText(context,
        text: "Для корректной работы необходимы все разрешения", Toast.LENGTH_SHORT).show();
}
        else {
    Toast.makeText(context,
        text: "Для корректной работы необходимы все разрешения", Toast.LENGTH_SHORT).show();
        }
    });
```

Рис. 1. Запрос разрешений на определение точного местоположения и запись во внешнее хранилище

Ключевыми являются классы `Timer` и `TimerTask`, которые используются в связке. При создании собственного объекта класса `TimerTask` можно определить блок действий, который будет выполнен классом `Timer` через заданное время [6]. При этом таймер выполняется в своем отдельном потоке и не может по умолчанию задействовать элементы графического интерфейса программы, которые выполняются в главном потоке. Для внесения необходимых изменений в визуальное представление программы параллельно работе в фоновом потоке существует метод `runOnUiThread()`, позволяющий вынести любую задачу на выполнение в главном потоке. Метод `cancel()` позволяет остановить таймер даже из класса `TimerTask`, если, например, в ходе отработки `TimerTask` было достигнуто определенное значение переменной-счетчика или выполнено другое условие.

В рамках данной разработки интерес представлял метод класса `Timer` `scheduleAtFixedRate(TimerTask task, long delay, long period)`, предназначенный для планирования периодического выполнения одних и тех же действий. Первый параметр метода – это ссылка на объект класса `TimerTask`, задающий последовательность действий, второй – временная задержка перед первым выполнением в миллисекундах, третий – интервал между повторениями последовательности действий в миллисекундах.

При выполнении измерений параметров точек доступа эти классы использовались для автоматического повторения сканирования и записи результатов сканирования Wi-Fi диапазона произвольное количество раз с произвольными интервалами времени между ними. При работе с сервером, эти классы использовались для отправки данных на сервер через заданный временной интервал.

При разработке приложения использовались внешние свободно распространяемые по лицензии Apache License 2.0 библиотеки Apache POI, которые добавляют в язык Java возможность работы с форматами файлов Microsoft Office [7]. В данном случае использовались файлы формата `.xlsx` для записи данных в электронные таблицы, что позволило производить следующие расчеты в подходящей для этого среде Excel.

Фрагмент создания листа, строки и ячеек в файле `.xlsx` можно видеть на рис. 2.

В первой строке файла записывается несколько характеристик телефона, которые позволяют отличить его от других устройств в сети: производитель устройства, модель устройства и ее уникальный идентификатор для конкретного приложения `Android_ID`, который представляет собой 64-разрядное шестнадцатеричное число.

Для передачи данных на сервер использовалась внешняя свободно распространяемая по лицензии Apache License 2.0 библиотека Retrofit 2, разработанная компанией Square [8, 9], которая предоставляет типобезопасный HTTP-клиент для Android и Java, позволяющий упростить процессы клиент-серверного обмена через HTTP-протокол, создание подключения к серверу в отдельном потоке и конвертацию классов Java в объект типа `json` (неупорядоченное множество пар “ключ:значение”).

```

Sheet sheet1 = null;
sheet1 = wb.createSheet( s: "Протокол измерений " + Build.MANUFACTURER + " " + Build.PRODUCT);

String device;
device = deviceId();

Row rows[] = new Row[10000];
rows[0] = sheet1.createRow( i: 0);
c = rows[0].createCell( i: 0);
c.setCellValue(Build.MANUFACTURER + " " + Build.PRODUCT + " DeviceId: " + device);

rows[1] = sheet1.createRow( i: 1);
c = rows[1].createCell( i: 0);
c.setCellValue("PointMarker");
c.setCellStyle(cs);

c = rows[1].createCell( i: 1);
c.setCellValue("SSID");
c.setCellStyle(cs);

c = rows[1].createCell( i: 2);
c.setCellValue("MAC");
c.setCellStyle(cs);
    
```

Рис. 2. Создание таблицы в Excel программным образом

Примеры применения приложения приведены на рис. 3а–в.

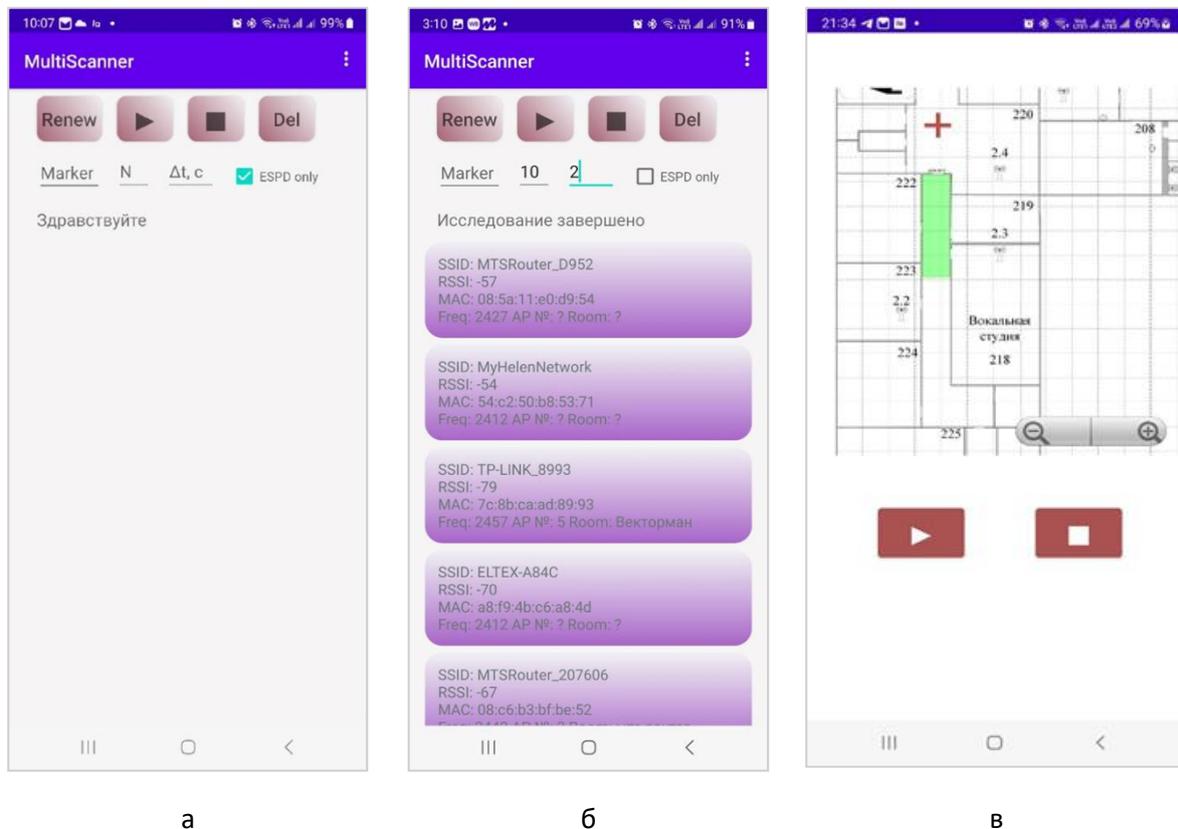


Рис. 3. Примеры применения приложения: а – запуск приложения; б – главный экран с выводом результатов сканирования; в – карта помещения с отображением местонахождения мобильного объекта, полученная от сервера

Работа выполнена в рамках Госзадания № 071-03-2024-008 от 19.01.2024.

Список используемых источников

1. Гриффитс Д., Гриффитс Д. Head First. Программирование для Android. 2-е изд. СПб.: Питер, 2018. 912 с.
2. Develop for Android. URL: <https://developer.android.com/docs> (дата обращения: 04.02.2024).
3. Эккель Б. Философия Java. 4-е изд. СПб.: Питер, 2019. 1168 с.
4. WifiManager. URL: <https://developer.android.com/reference/android/net/wifi/WifiManager> (дата обращения 11.02.2024).
5. RxPermissions. URL: <https://github.com/tbruyelle/RxPermissions> (дата обращения 11.02.2024).
6. Таймер – классы Timer и TimerTask. URL: <https://developer.alexanderklimov.ru/android/java/timer.php> (дата обращения 11.02.2024).
7. Apache POI – the Java API for Microsoft Documents. URL: <https://poi.apache.org/> (дата обращения 17.02.2024).
8. Поллард Б. HTTP/2 в действии. М.: ДМК-Пресс, 2021. 424 с.
9. Retrofit: A type-safe HTTP client for Android and Java. URL: <https://square.github.io/retrofit/> (дата обращения 15.02.2024).

УДК 537.533
ГРНТИ 47.29.29, 47.09.48

ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА МНОГООСТРИЙНОГО ПОЛЕВОГО КАТОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭФФЕКТА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ

А. Г. Колосько, А. А. Мицкевич, Я. А. Синичкин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе представлен проект эмиссионной ячейки с самомодифицирующимся анодом, обладающей повышенной токоотдачей. Представлены физические аспекты технологической оптимизации, связанные с локальным изменением межэлектродного расстояния за счет термического испарения материала анода.

полевая эмиссия, многоострийные катоды, коэффициент усиления поля, испарение анода

Двадцатый век принес немало открытий в самых разных областях науки. Одним из перспективнейших направлений оказалось развитие вакуумной электроники. Основным эффектом, применяющимся в приборах этой области, является эмиссия электронов из проводника в вакуум. Разновидностью такого процесса является рождение свободных электронов под действием сильного электрического поля, так называемая *полевая эмиссия*. Для возникновения этого эффекта нужны высокие напряженности, которые достигаются с применением эффекта фокусировки поля на вытянутых проводящих объектах. Древние греки наблюдали такую фокусировку в природе в виде коронного разряда, происходящего на вершинах одиноких деревьев и скал во время сильной грозы, и называли его Огнями Кастора и Поллукса. Полевая эмиссия возникает при напряженностях поля свыше 10^7 В/см на поверхности проводящих материалов. В XX веке это явление теоретически объяснили Фаулер и Нордгейм (1928 г.) [1].

Чтобы понизить напряженность поля, требуемую для возникновения полевой эмиссии, используют катоды вытянутой формы. А для увеличения общей силы тока увеличивают количество острий на поверхности (т.н. многоострийные катоды). Однако на данный момент устройства с полевыми катодами еще не обладают мощностями (силой тока и его стабильностью), позволяющими в полной мере конкурировать с устройствами на основе классической термоэмиссии.

В XXI веке были открыты наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки (УНТ), и созданы наноструктуры, такие как матрицы микроскопиче-

ских полупроводниковых острий (Si-FEA). Их применение позволяет расположить на одном квадратном сантиметре устройства десятки тысяч миниатюрных эмиттеров, что открывает возможности существенного технологического прогресса в области полевых катодов. Прямо сейчас перед исследователями стоит задача повышения эффективности полевых катодов.

Связь между плотностью тока полевой эмиссии и параметрами эмиттера описывает закон Фаулера-Нордгейма. В приближении Форбса-Дина [2] (приближение плоского эмиттера с потенциальным барьером Шоттки) форма этой зависимости имеет следующую математическую структуру:

$$J = A \cdot E^{2-\eta/6} \cdot \exp\left(-\frac{B}{E}\right) \quad (1)$$

В этой формуле J – плотность эмиссионного тока в заданной точке на поверхности эмиттера, E – напряженность электрического поля на вершине эмиттера, A , B и η – коэффициенты, зависящие от работы выхода материала.

Напряженность поля можно представить, как $E = \gamma U/d$, где d – расстояние между анодом и катодом, U – межэлектродное напряжение, γ – коэффициент усиления поля, который является отношением локальной и общей напряженностей поля: $\gamma = E/E_{macr}$, где $E_{macr} = U/d$. В первом приближении γ на вершине эмиттера пропорционален его высоте h и обратно пропорционален радиусу закругления вершины r .

Современные методы создания многоостриевых катодов не позволяют добиться равномерности высот эмиттеров в их составе. Чем больше высота эмиттера, тем больше коэффициент усиления поля на его вершине. Ввиду малого размера эмиттеров $h \ll d$, так что напряженность макроскопического поля E_{macr} можно считать одинаковой для всех эмиттеров. Таким образом, у самого высокого эмиттера будет самая высокая плотность тока.

Итак, при любом напряжении U , приложенном к устройству, разные эмиттеры катода будут выдавать разный ток. В то же время предел допустимого тока I_{max} для каждого эмиттера одинаков. Таким образом, в реальных катодах возникает ситуация, когда при низких напряжениях работают высокие эмиттеры, а низкие не работают (рис. 1а). Если же мы увеличим напряжение, низкие эмиттеры смогут включиться, однако предел по току для высоких эмиттеров будет превышен, из-за чего произойдет их деструкция (рис. 1б).

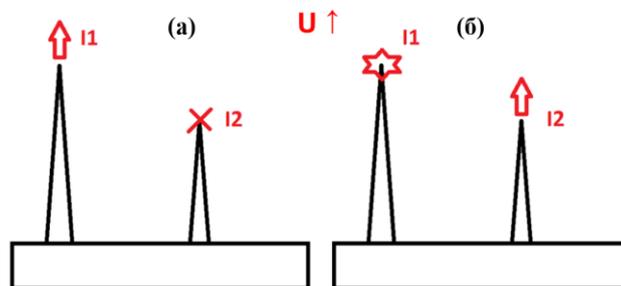


Рис. 1. Работа полевых эмиттеров разных высот: а) напряжение недостаточное для включения в эмиссию низкого эмиттера, б) напряжение достаточно для эмиссии из низкого эмиттера, но превысило критическое для высокого эмиттера

Возникает дилемма: если использовать низкие напряжения – работают низкие острия, но высокие – остаются “закрытыми”. Если повысить напряжение – подключатся высокие острия, но низкие оплавятся и больше не смогут работать в полную силу. А так как современные методы создания многоострийных катодов всегда дают разброс по высоте, получается, что сколько бы острий не присутствовало в составе катода, он никогда не будет работать в полную силу.

Методы выравнивания эмиссионной активности эмиттеров:

- механическое выравнивание или срезание лазером;
- отжиг при высоких температурах (слетают мешающие эмиссии частицы);
- тренировка высоким напряжением (сгорают самые длинные и острые);
- ионная бомбардировка (обработка плазмой, фокусируется на высоких).

Предложенный в данной работе метод основан не на выравнивании геометрических размеров острий-эмиттеров, а на локальной модификации расстояния между анодом и катодом.

Рассмотрим воздействие на анод эмиссионного потока электронов.

При полевой эмиссии вылетевшие из катода электроны достигают анода, теряя по дороге потенциальную энергию поля и приобретая кинетическую. Эта энергия, сообщенная электронам полем, при их соударении с анодом переходит в тепло. При постоянном потоке электронов анод постепенно нагревается.

В работе [3] был показан нагрев поверхности анода при полевой эмиссии. Отдельный эмиттер создает на аноде зону повышенной температуры в форме пятна с максимальным нагревом в центре.

Распределение электронов, вылетающих с поверхности острия эмиттера, было смоделировано в работе [4] для различных форм эмиттера: усеченный конус со сферическим или параболическим наконечником. Также был определен угол, ограничивающий основной поток электронов ($\sim 120^\circ$).

В результате нагрева на поверхности анода происходят различные физические процессы: десорбция с поверхности молекул различных веществ, изменение структуры материала и даже разрушение материала при достаточно высоких температурах.

Неравномерность нагрева, рассмотренная выше, приводит к тому, что разрушение анода будет иметь вид выжженных лунок на его поверхности. Причем геометрические параметры (диаметр и глубина) этих лунок будут зависеть от эмиссионной активности соответствующих эмиттеров.

Подобный эффект наблюдался на оксиде индия–олова (ИТО), покрытого тонкой пленкой полиметилметакрилата (РММА) в виде круглых областей локальной перестройки материала под действием потока электронов от разных эмиттеров катода [5]. Для выявления этих участков применялась промывка слоя РММА ацетоном, отчего эти области принимали форму лунок, которые затем изучались, как источник информации о расположении и активности эмиссионных центров.

В данной работе эффект разрушающего воздействия эмиссионных потоков на анод будет использован для выравнивания активности эмиттеров.

Если эмиссионный ток отдельного эмиттера создаст напротив него в аноде лунку глубиной, пропорциональной его эмиссионной активности (включая коэффициент усиления поля), то и межэлектродное расстояние для этого эмиттера изменится, соответственно. Известно, что межэлектродное расстояние влияет на эмиссионный ток экспоненциально. Так что в результате эмиссионная активность каждого эмиттера уменьшится пропорционально глубине лунки. Глубина лунки будет расти дол тех пор, пока сила тока, приходящегося на этот участок анода, не упадет до определенной пороговой величины I_0 (уровень тока, ниже которого разрушение анода прекращается). Таким образом, сила эмиссионного тока по всей поверхности катода выравнивается и станет равной I_0 .

В основе предложенной модели лежит зависимость плотности тока от межэлектродного расстояния: $j(d)$ (см. ф.1). Для примера возьмем стандартный коэффициент усиления УНТ ($\gamma = 1000$), известную работу выхода УНТ ($\phi = 4,6$ эВ) и уровень напряжения, при котором наблюдается полевая эмиссия для межэлектродных расстояний $\sim 100 \mu\text{m}$, ($U = 1$ кВ).

На рис. 2а представлена зависимость $I(d)$ в диапазоне $d = 100 \div 130$ мкм, где уровень эмиссионного тока меняется на порядок: от 52 мкА до 5 мкА.

Полный ток эмиссии рассчитывался по формуле [7]: $I = J \cdot A_e$, где A_e – площадь эмиссии (для УНТ принята равной $A_e = 10 \text{ nm}^2$ [6]), плотность тока J рассчитывалась по формуле (1). Зависимость от расстояния в этом приближении может быть выражена простой формулой:

$$I = A_1 \cdot \exp(-B_1 \cdot d) / d^{2 - \eta/6} \quad (2)$$

где A_1 и B_1 – коэффициенты, зависящие от работы выхода материала, коэффициента усиления поля γ и приложенного напряжения U (согласно ф. 1).

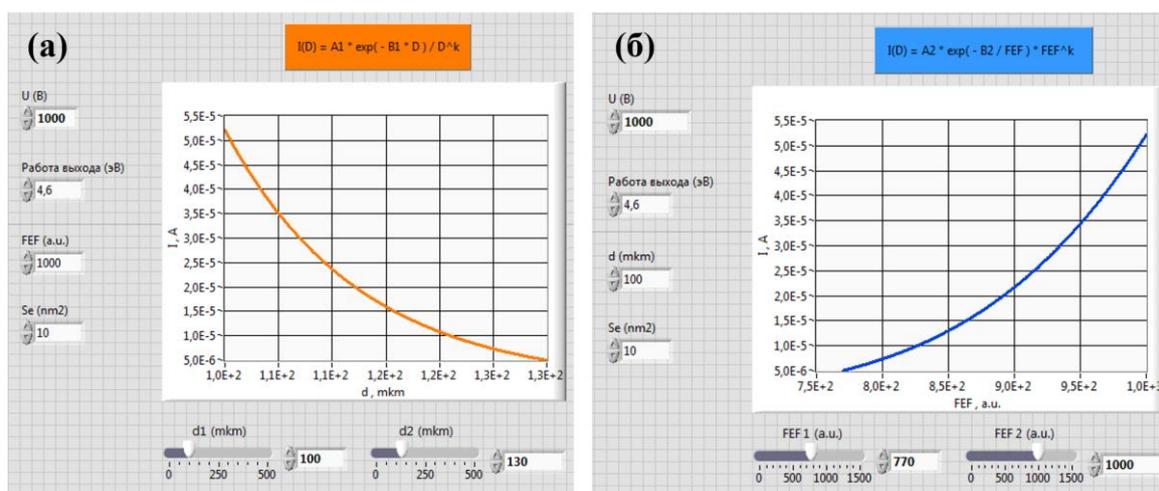


Рис. 2. Зависимость эмиссионного тока от параметров эмиссионной системы: а) от межэлектродного расстояния, б) от коэффициента усиления поля (FEF)

Зависимость уровня эмиссионного тока от коэффициента усиления поля отдельного эмиттера показана на рис. 2б (в диапазоне $\gamma = 1000 \div 1097$ уровень эмиссионного тока меняется на порядок: от 50 мкА до 5 мкА).

Зависимость от γ , согласно ф.1, имеет вид:

$$I = A_2 \cdot \exp(-B_2 / \gamma) \cdot \gamma^{2 - \eta/6}. \quad (3)$$

где A_2 и B_2 – коэффициенты, зависящие от работы выхода материала, коэффициента усиления поля и приложенного к катоду напряжения.

Из полученных зависимостей видно, что разница в коэффициентах усиления поля эмиттеров равная $\Delta\gamma = \gamma_2 - \gamma_1 = 230$ (~30% от γ_1) приводит к разнице в эмиссионных токах на порядок ($I_2 / I_1 \sim 10$) с максимальным током $I_2 = 52 \mu\text{A}$. В то же время уменьшение уровня тока в десять раз может быть достигнуто за счет изменения межэлектродного расстояния на величину $\Delta d = d_2 - d_1 = 30$ мкм (~30% от d_1) при таком же максимальном токе $I_2 = 52 \mu\text{A}$. Таким образом, массив полевых эмиттеров в виде УНТ, разбросанных по γ в диапазоне $770 \div 1000$, может быть выравнен по уровню тока за счет изменения толщины анода на 30 мкм.

Отметим, что испарение материала анода может приводить к покрытию поверхности катода дополнительным слоем проводящего вещества. Однако распыление материала в вакууме и подбор параметров процесса могут существенно снизить толщину этого слоя. А если вылетающие частицы окажутся заряжены электрически, то электрическое поле притянет их обратно к аноду, где-то в стороне от места испарения.

Представленный проект требует дальнейших расчетов с использованием данных о реальном катоде, подбора типа материала анода с необходимыми характеристиками, а также экспериментальной проверки эффекта.

Список используемой литературы

1. Nordheim L.W. // Proc. R. Soc. Lond. A. 1928. V. 121. P. 626–639.
2. Попов Е. О., Колосько А. Г., Филиппов С. В. Тест на соответствие режиму холодной полевой эмиссии с применением приближений Элинсона–Шредника и Форбса–Дина (координаты Мерфи–Гуда) // ПЖТФ, 2020. Т. 46. № 17. С. 6–9.
3. Liu H., Kato S., Saito Y. Empirical expression for the emission site density of nanotube film emitters // Nanotechnology, 2009. V. 20. № 27. P. 275206-1–7.
4. Vincent M., Rowe S. W., Poulain C., Mariolle D., Chiesi L., Houz e F., Delamare J. Field emission and material transfer in microswitches electrical contacts // Applied Physics Letters, 2010. V. 97. №. 26, P. 263503-1–4.
5. Li Y., Sun Y., Jaffray D.A., Yeow J.T.W. A novel field emission microscopy method to study field emission characteristics of freestanding carbon nanotube arrays // Nanotechnology. 2017. V. 28. №. 15. P. 155704-1–13.
6. Popov E. O., Kolosko A. G., Filippov S. V., Ponyaev S. A. Methods for measuring the local emission characteristics of CNT based multi-tip emitters // Journal of Physics: Conference Series, 2021. V. 2103. № 1. P. 012116-1–7.
7. Liu H., Kato S., Saito Y. Empirical expression for the emission site density of nanotube film emitters // Nanotechnology, 2009. V. 20. № 27. P. 275206-1–6.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ 8-ЭЛЕМЕНТНОЙ РЕШЕТКИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ СИНФАЗНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТРЕХ СОСЕДНИХ ЭЛЕМЕНТОВ

К. О. Коровин, П. А. Межевов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассматривается возможность создания диаграммообразующей схемы (ДОС) для использования совместно с кольцевой антенной решеткой из 8 элементов. Разрабатываемая ДОС должна обеспечивать переключение активной антенны для возможности работы в выбранном азимутальном направлении. Полученная ДОС позволяет возбуждать отдельный элемент, два соседних элемента или три соседних элемента. Полученные результаты могут быть использованы для использования совместно с кольцевой антенной решеткой на беспилотном летательном аппарате в целях повышения дальности связи.

диаграммообразующая схема, кольцевая антенная решетка, БПЛА

В современных беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) в основном используются всенаправленные антенны [1, 2]. Одной из причин выбора является подвижность БПЛА, т.е. БПЛА может быть ориентирован любой стороной к наземной станции, что приводит к необходимости всенаправленной ДН в азимутальной плоскости. Однако, всенаправленные антенны обладают рядом недостатков, а именно низким коэффициентом усиления (КУ), и, как следствие, низкой защитой от помех. В работе [3] рассматривается возможность создания кольцевой антенной решетки (КАР) для использования в качестве бортовой антенной системы БПЛА.

Помимо разработки самой антенной системы, необходимо уделить внимание созданию подходящей ДОС, позволяющей либо возбуждать один элемент антенной решетки, либо несколько соседних. Стоит отметить, что масса-габаритные параметры создаваемых антенн и ДОС являются, в некотором смысле, определяющими при выборе бортовой антенной системы на БПЛА. Из чего можно сделать вывод о необходимости минимизации, в первую очередь, массы и габаритов.

В данной работе приводятся структурные схемы предлагаемых диаграммообразующих систем для антенной решетки, состоящей из 8-ми элементов и сравнение их массы. На рисунке 1 приводится ДОС, позволяющая выбирать в качестве активного излучателя 1 элемент, любые 2 соседние или 3 соседних элемента. Такая схема состоит из 16 делителей (по 8 на 2 и 3 канала) и 17 переключателей.

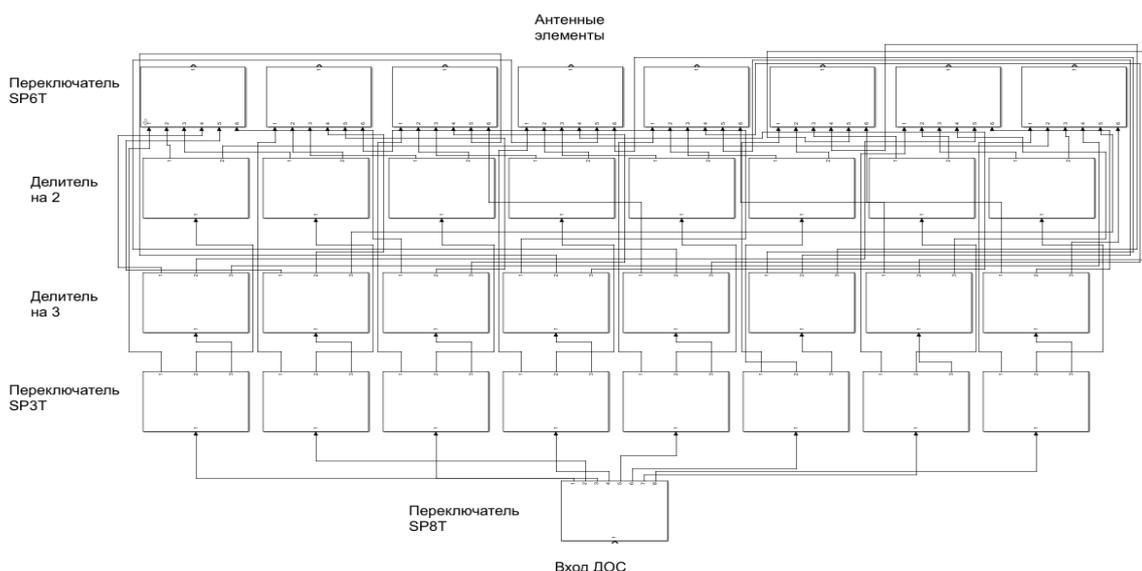


Рис. 1. Диаграммообразующая схема для возбуждения 1, 2 или 3 соседних излучателей

Из переключателей и делителей, представленным на рынке, были отобраны наиболее легкие и их суммарная масса составляет около 1300г (без учета соединений).

Для БПЛА малого размера такой вес ДОС может оказаться избыточным, поэтому такая схема может быть использована только на БПЛА с высокой грузоподъемностью. Кроме того, данная схема имеет достаточно высокие потери.

В работе [3] было показано, что использование 3 соседних элементов приводит к повышению КУ антенны, поэтому первым шаг по уменьшению массы ДОС – убрать возможность питания любых 2 соседних элементов. Полученная схема представлена на рисунке 2, общая масса снижена до 900г за счет отказа от половины делителей.

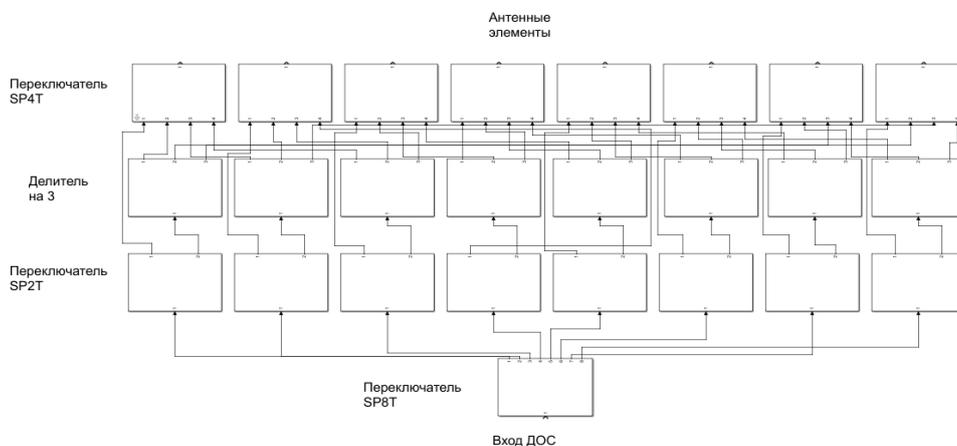


Рис. 2. Диаграммообразующая схема для возбуждения 1 или 3 соседних излучателей.

Дальнейшее упрощение приводит к простейшему решению в виде 1 переключателя на 8 элементов. Схема представлена на рисунке 3.

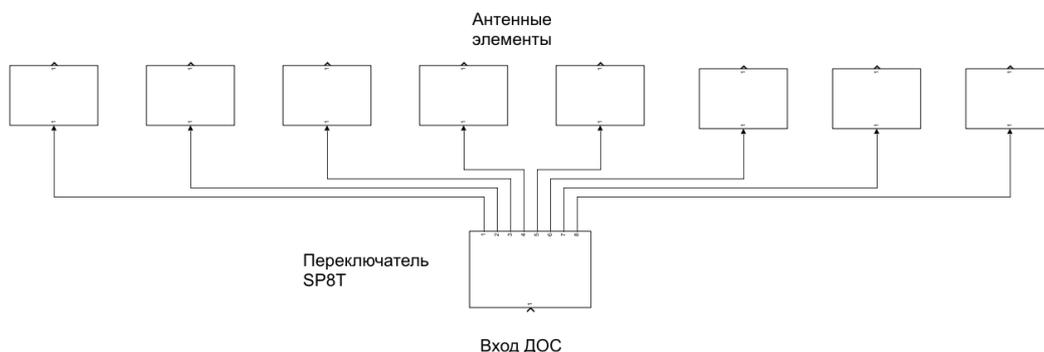


Рис. 3. Диаграммообразующая схема для поэлементного возбуждения.

Такая схема требует всего лишь один переключатель, что приводит к значительному снижению массы схемы, до 30г.

Результаты сравнения по массе схем (без учета соединений) и по потерям (на делителях и переключателях), полученных ДОС сведены в таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение ДОС

	3, 2, 1 элемента	3, 1 элемента	1 элемент
Делители, шт.	16	8	0
Переключатели, шт.	17	17	1
Общая масса, г.	$\approx 1300 \pm 200$	$\approx 900 \pm 200$	$\approx 30 \pm 3$
Минимальные потери до элемента, dB	≈ 3	≈ 3	≈ 1
Максимальные потери до элемента, dB	≈ 9	≈ 9	≈ 1

Как видно из сравнения, ДОС для поэлементного возбуждения обладает не только минимальным весом, но и минимальными потерями до элемента, однако, стоит отметить, что при питании 3 соседних элементов возможно получение большего КУ антенной системы.

Список используемых источников

1. Антонов А. С. и др. Низкопрофильная антенна для БПЛА // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2013. № 6. С. 3–7.
2. Ананьев А. В., Катруша А. Н. Экспериментальная разработка внешних ДКМВ магнитных антенн беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Журнал радиоэлектроники, 2017. № 11. С. 11–11.
3. Межевов П. А., Коровин К. О., Ликонцев А. Н. Создание кольцевой антенной решетки на основе излучателей Вивальди для широкополосного канала связи с ретрансляцией // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника, 2023. Т. 26. № 3. С. 58–66.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

СОЗДАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА БПЛА

К. О. Коровин, П. А. Межевов, М. А. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе описывается созданию микрополоскового элемента для кольцевой антенной решетки на беспилотных летательных аппаратах. В работе проводится процесс разработки и оптимизации микрополоскового элемента с целью повышения эффективности и дальности работы антенной системы на БПЛА. Результаты исследования могут быть полезны при проектировании беспилотных летательных аппаратов со сложными антенными решениями.

микрополосковая антенна, диаграмма направленности, коэффициент стоячей волны

В современных беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) эффективная антенная система играет ключевую роль для обеспечения стабильной связи и передачи данных. В большинстве работ, посвященных антеннам на БПЛА, используются всенаправленные системы [1]. Однако использование направленных систем с возможностью переключения или адаптации главного лепестка диаграммы направленности (ДН) позволяет увеличить дальность связи.

Работа посвящена анализу процесса создания и оптимизации микрополоскового элемента для кольцевой антенной решетки на БПЛА.

Излучатель в антенной решетке должен иметь малые массогабаритные параметры, а также иметь ДН, позволяющую построить антенную решетку с охватом (при переключении активного элемента) всех направлений возможной связи с БПЛА. Так, например, для 8 элементной решетки элемент должен иметь ширину главного лепестка ДН не менее 45 градусов в азимутальной плоскости, и довольно широкую (в лучшем случае, наклоненную в сторону земли) ДН в угломестной плоскости.

Выбор микрополоскового излучателя обусловлен несколькими факторами. Прежде всего, его компактные размеры играют ключевую роль для БПЛА, которым необходимы компоненты миниатюрных размеров. Кроме того, легкость интеграции также имеет большое значение, поскольку эти элементы могут быть легко внедрены в различные поверхности.

Основным диэлектрическим материалом для микрополосковой антенной являются высокотехнологичные полимеры, такие как PTFE (Teflon),

FR-4, PTFE с керамическим наполнителем, они обеспечивают высокую диэлектрическую проницаемость и низкие потери [2, 3]. В работе был выбран FR-4, так как этот материал обладает превосходной электрической изоляцией и низким коэффициентом диэлектрических потерь, что позволяет достичь высокой эффективности передачи сигнала.

Для микрополосковых антенн часто используют подложки с толщиной от 0.254 мм до 1.6 мм, в зависимости от требуемых характеристик антенны и условий работы.

Интегрирование микрополосковых антенн в кольцевую антенную решетку представляет несколько значительных преимуществ:

1. Пространственная эффективность: кольцевая антенная решетка позволяет эффективно использовать ограниченное пространство на поверхности БПЛА. Интегрирование микрополосковых антенн в решетку позволяет получить максимальное количество антенн на ограниченной площади, что особенно важно для компактных устройств, таких как беспилотные летательные аппараты.

2. Устойчивость к помехам: интегрирование микрополосковых антенн в кольцевую антенную решетку приводит к увеличению помехоустойчивости благодаря применению пространственной селекции помех. Этот подход позволяет снизить влияние нежелательных сигналов и помех, которые могут возникать в окружающей среде.

3. Повышенная направленность: кольцевая антенная решетка может обеспечить более высокую направленность в сравнении с всенаправленными антеннами. Это позволяет более точно управлять направлением передачи сигнала и увеличить дальность связи.

В рамках требований к разрабатываемому излучателю элемент должен быть спроектирован таким образом, чтобы обладать следующими характеристиками: шириной диаграммы направленности в азимутальной плоскости не менее 45 градусов. Дополнительно необходимо учитывать, что излучатель будет функционировать в диапазоне частот 5,8 ГГц и иметь ширину полосы пропускания не менее 20 МГц, при этом допустимый уровень коэффициента стоячей волны (КСВ) не должен превышать 2. На рис. 1. представлен разрабатываемый излучатель.

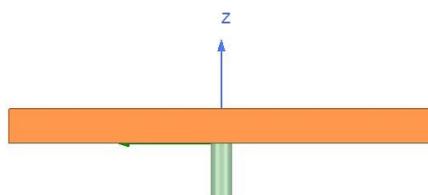


Рис. 1. Микрополосковый элемент

В ходе оптимизации разработанного излучателя путем варьирования положения точки подачи питания удалось достичь значительных улучшений. Следствием этих усовершенствований стали новые выходные параметры, представляющие собой ключевые характеристики данного излучателя.

На рис. 2. представлен график с шириной главного лепестка ДН в азимутальной плоскости равной 80 градусам.

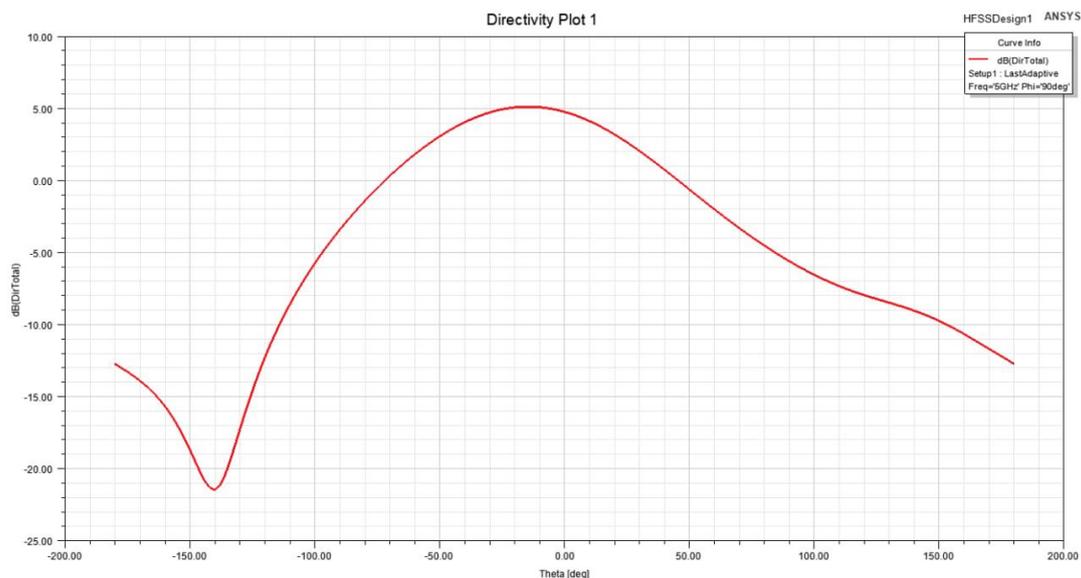


Рис. 2. Диаграмма направленности в азимутальной плоскости

На данный момент коэффициент усиления (КУ) антенны в максимуме составляет 6.1 дБ, как изображено на рисунке 3. В последующих исследованиях планируется провести оптимизацию с целью достижения большего КУ при соблюдении требований к ширине ДН.

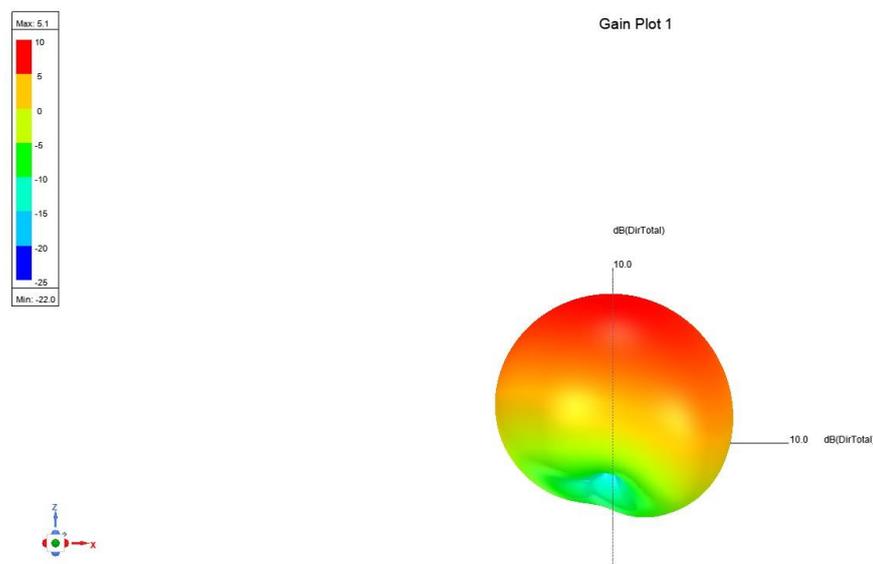


Рис. 3. Трехмерная диаграмма направленности

На рисунках 4 и 5 показаны параметры коэффициента отражения (S_{11}) и КСВ, соответственно. Как видно из результатов моделирования, требования, поставленные к системе, удовлетворяются.

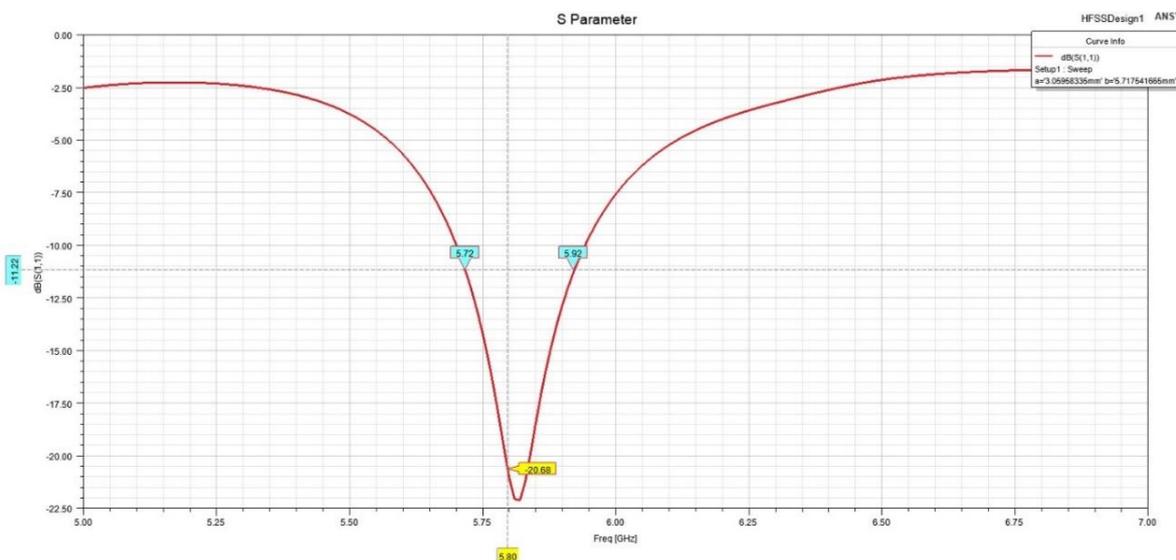


Рис. 4. Коэффициент отражения

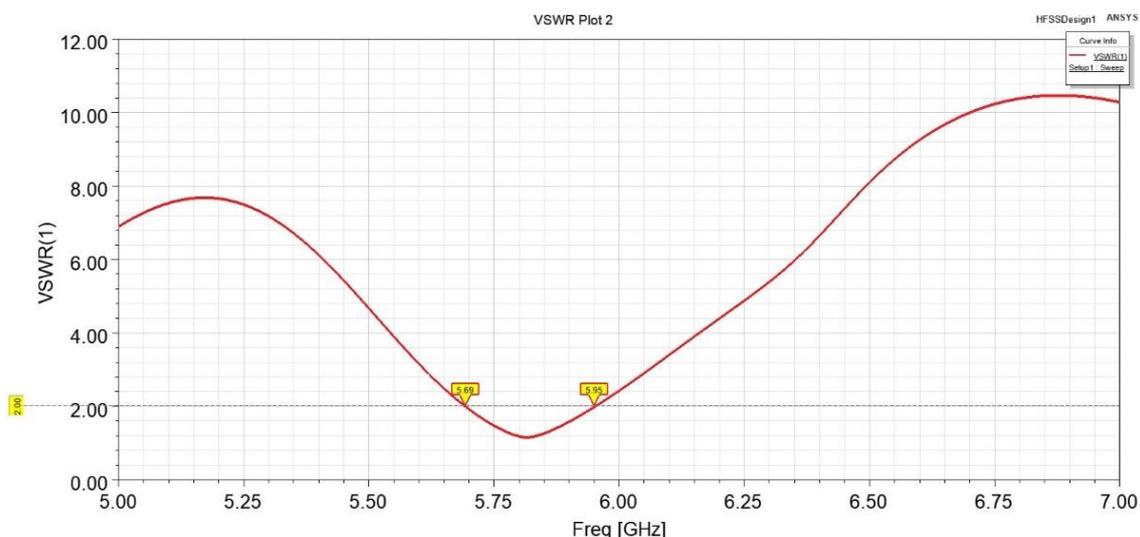


Рис. 5. КСВ микрополоскового элемента

В заключении статьи о создании микрополоскового элемента для кольцевой антенной решетки на БПЛА можно отметить полученные значения коэффициента отражения, коэффициента стоячей волны, и диаграммы направленности. Дальнейшие улучшения будут проводится путем оптимизации геометрических параметров антенны по критерию максимизации КУ, при требуемой ширине ДН.

Список используемых источников

1. Smith R. C. Design and Optimization of Microstrip Antennas. New York: Springer, 2018.
2. Иванов А. П., Сидоров В. Г. Антенные устройства для беспилотных летательных аппаратов. Москва: Книжный дом, 2017.
3. Смирнов Д. О., Кузнецов П. И. Технологии разработки и моделирования микрополосковых антенн. Москва: Техническая литература, 2015.

УДК 654.164
ГРНТИ 49.43.29

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА ДАЛЬНЕЙ КВ РАДИОСВЯЗИ СПБ – ИРКУТСК

В. Е. Коротин, Р. Е. Кротов, А. И. Рыбаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Коротковолновая связь с помощью ионосферного канала широко используется в течение многих лет, и она обладает целым рядом несомненных достоинств. Но есть у нее и серьезные недостатки, такие как низкая скорость и помехоустойчивость передачи информации, вследствие проявления физических свойств канала связи – анизотропии ионосферы. Именно структура ионосферы Земли и сложность распространения в ней пока не позволяет найти определенные технические и научные решения, обеспечивающие достижение больших возможностей в скорости и помехоустойчивости передачи информации по ионосферному каналу связи.

коротковолновая связь, ионосферный канал, модуляция, помехоустойчивость, канальный эквалайзер

Повышение пропускной способности, помехоустойчивости и скорости передачи информации по коротковолновым (КВ) каналам радиосвязи может быть достигнуто при различных рассматриваемых вариантах [1, 2]:

- параллельные каналы передачи информации;
- пространственно-временной и частотный разнос радиосигналов;
- широкополосные сигналы;
- современные виды модуляции радиоволн при передаче информации.

Все перечисленные направления не обеспечивают принципиально нового решения задачи создания ионосферных линий радиосвязи, поэтому поиск радикальных и совершенных решений целесообразен в настоящее время. Для каждого из этих вариантов критически важным является влияние Допплеровского сдвига и в статье предлагается способ снижения влияния Допплеровского сдвига путем применения канального эквалайзера.

Канальный эквалайзер представляет собой цифровой фильтр, весовые коэффициенты которого меняются в соответствии с определенным алгоритмом.

Результаты проведенных ранее исследований по теме [3, 4] привели к необходимости проведения трассовых испытаний.

Эксперимент проводился 28 ноября 2023 года и включал в себя две стационарные позиции в городах Санкт-Петербург и Иркутск.

Протяженность ионосферной линии связи между городами составляет 4450 км. Имеет две точки отражения радиоволны от ионосферы, на рис. 1 представлено теоретическое отображение точек отражения радиоволны от ионосферы и поверхности земли.

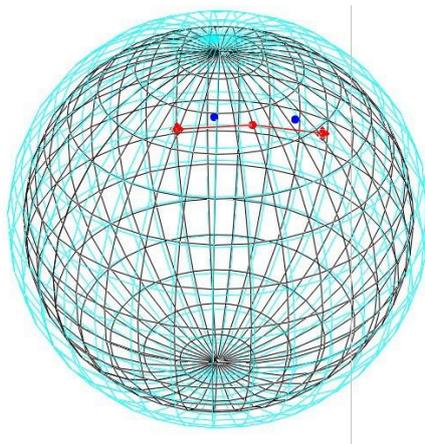


Рис. 1. Отображение точек отражения радиоволны на пути распространения, где синие точки – точки отражения от ионосферы, красные – от поверхности Земли

В трассовых испытаниях использовался следующий комплект оборудования:

- трансивер Icom IC-7300;
- антенна магнитная SpiderLoop A100;
- вспомогательное оборудование в виде источника питания и фидерных линий 50 Ом.

На рис. 2 представлено оборудование абонентов канала связи, используемое в проведении трассовых испытаний.



Рис. 2. Комплект оборудования абонентов канала связи

Для проведения эксперимента был выбран сигнал с 4-позиционной фазовой манипуляции (QPSK) со скоростью 800 бит/с, в среде Matlab при помощи функции «pskmod». Длительность сигнала – 5 секунд, частота дискретизации – 8000 Гц. В результате был сформирован вектор данных,

содержащий 40000 отсчетов. Полученный вектор вставлялся в заранее созданный «чистый» файл – формата «WAV».

Передача файла производилась с SDR трансивера Icom IC-7300 при помощи стандартной функции воспроизведения WAV файлов. На рис. 3 представлен спектр сформированного QPSK сигнала.

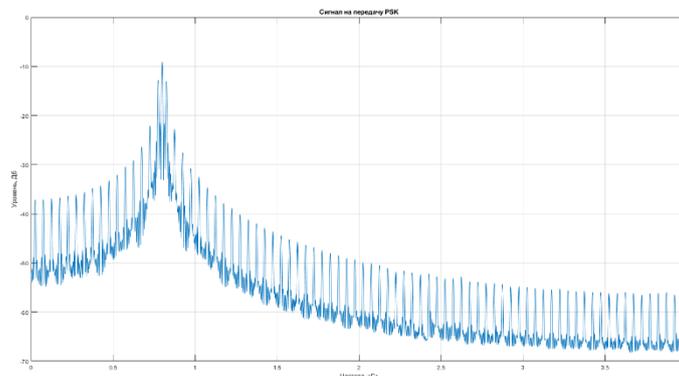


Рис. 3. Спектр сформированного QPSK сигнала

Прием файла – запись сигнала на приемной стороне производилась встроенными средствами трансивера Icom IC-7300 и содержала демодулированную запись радиоэфира в полосе звуковых частот с параметрами цифрового полосового фильтра – 0,3 ... 3,1 кГц.

Записанный файл представлен в формате WAV, с теми же параметрами, что и передаваемый файл. Представляется возможность анализа двух сигналов в векторной форме при помощи MATLAB. Для обнаружения сигнала в ранее записанном файле, применяется функция Xcorr. Xcorr – это функция в MATLAB, которая возвращает взаимную корреляцию двух векторов. На рис. 4 показан результат работы коррелятора.

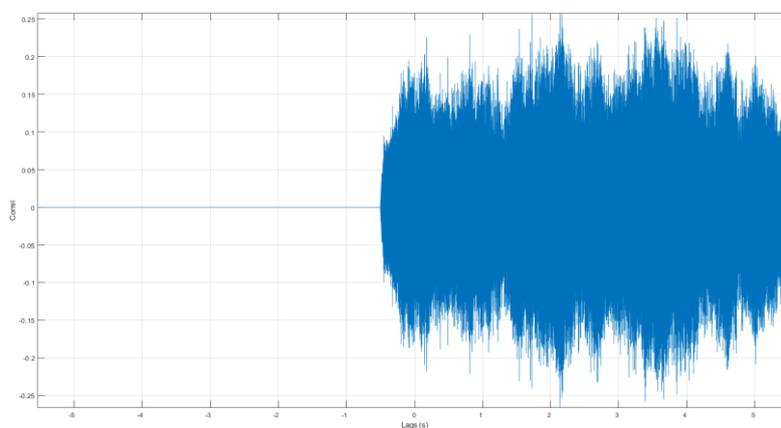


Рис. 4. Взаимная корреляция принятого и передаваемого сигнала

Поскольку запись радиоэфира начиналась заранее, до появления сигнала, то около половины длительности принятого сигнала – шум радиоприемника, с середины файла происходит обнаружение сигнала. Неполная магнитура работы коррелятора связана с наличием битовых ошибок в принятом файле, поскольку сигнал распространялся в нестационарном ионосферном канале радиосвязи. После обнаружения сигнала в векторной форме производится наложение спектров сигналов для однозначной идентификации, результат представлен на рисунке 5.

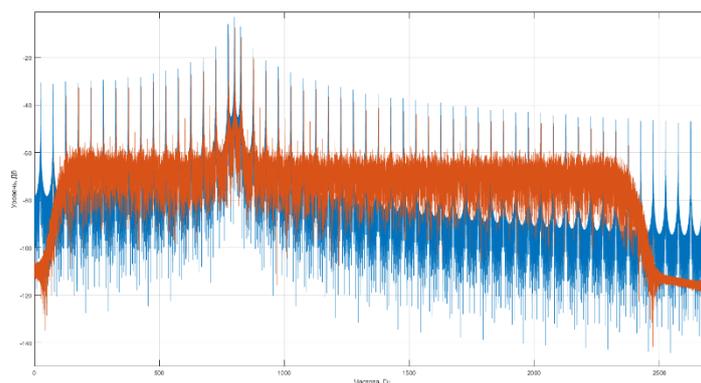


Рис. 5. Спектры переданного (синий цвет) и принятого (оранжевый цвет) сигналов

На рис. 5 видно, что спектры переданного и принятого сигналов совпадают – сигнал идентифицирован верно. Проведя анализ спектральных составляющих, обнаружено несовпадение частот. Это связано с Допплеровским сдвигом частоты. На рис. 6 представлен фрагмент спектров переданного и принятого сигналов, с демонстрацией Допплеровским сдвига частоты.

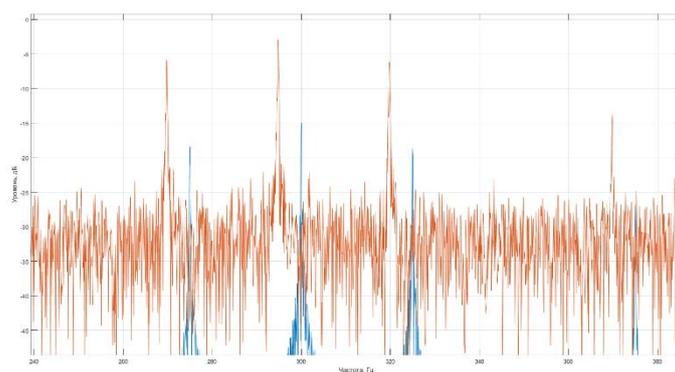


Рис. 6. Фрагмент спектров переданного и принятого сигналов, с Допплеровским сдвигом частоты

Для повышения помехоустойчивости в исследуемом ионосферном канале радиосвязи, путем борьбы с Допплеровским сдвигом применяется канальный эквалайзер с алгоритмом работы RLS. В зависимости от длины

преамбулы, будет меняться эффективность работы эквалайзера. Зависимость эффективности работы эквалайзера, выраженная в количестве битовых ошибок (BER) от длины преамбулы [3, 4], произведя анализ кривых, представленных на рис. 7, видно, что при длине преамбулы 40 символов и более (в составе пакета 800 бит) достигается допустимый уровень битовых ошибок 10^{-3} , начиная с $\text{SNR} = 20$, для преамбулы 100 символов, приемлемое количество битовых ошибок достигается при $\text{SNR} = 20$. Увеличение длины преамбулы более 100 бит не приводит к существенному повышению помехоустойчивости. Без применения канального эквалайзера (кривая синего цвета), количество битовых ошибок составляет 0,5.

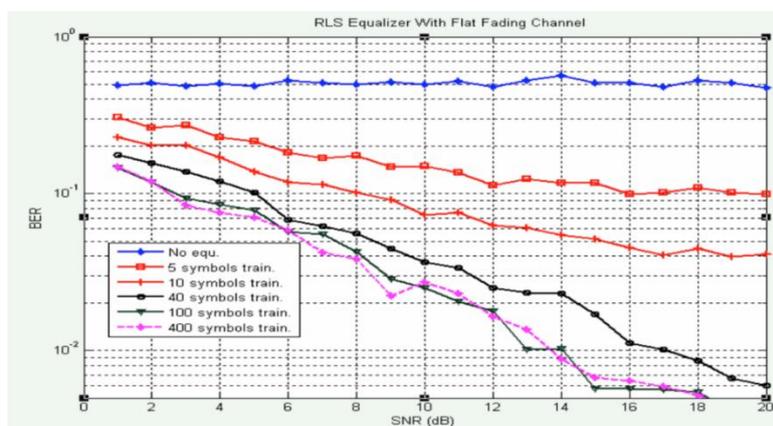


Рис. 7. Зависимость количества битовых ошибок от длины преамбулы

Рекомендации: на примере ионосферного канала радиосвязи, протяженностью 4450 км, применение канального эквалайзера позволяет существенно снизить уровень битовых ошибок – количество битовых ошибок снижается с 0,5 до 10^{-3} . Оптимальная длина преамбулы – от 40 до 100 бит в пакете.

Кроме применения канальных эквалайзеров, помехоустойчивое кодирование способно дополнительно снизить требование к уровню сигнала на 4 – 6 дБ, при этом понизив скорость передачи полезной информации.

Список используемых источников

1. Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Исследование и анализ основных качественных характеристик модели радиоканала с вариативной преамбулой // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 245–249.
2. Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Методика расчета уровня сигнала от КВ-передатчика в точке приёма // Информатизация и связь, 2019. № 2. С. 97–102.
3. Воробьев О. В., Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Моделирование двунаправленной структуры адаптивного эквалайзера на основе алгоритма Калмана // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 147–151.
4. Farhan M. M., Nameed A., Combination of LMS and RLS Adaptive Equalizer for Selective Fading Channel // Nakkash. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X. 2010. Vol. 43, № 1. PP. 127–137.

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ RFID И NFC ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СКЛАДА

Е. В. Кравец, А. В. Чернышова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена анализу радиочастотной идентификации и коммуникации ближнего поля и их применению для усовершенствования работы складов. Рассматриваются базовые принципы работы, структура и ключевые компоненты обеих систем. Также описываются преимущества и возможности этих технологий, и упоминаются обнаруженные недостатки. В статье приводятся примеры успешного внедрения RFID и NFC в процессы складской логистики и возможности их использования в производстве.

RFID-технология, NFC, склад, логистика

Автоматизация складского хозяйства является важным элементом в современной логистике. От эффективности системы складского учета зависит скорость обработки заказов, качество обслуживания клиентов и уровень инвентаризации. В настоящее время существует несколько технологий, предназначенных для автоматизации процессов управления складом, из которых две самые распространенные – RFID (Radio Frequency Identification) и NFC (Near Field Communication).

RFID и NFC – технологии беспроводной связи, которые позволяют устройствам взаимодействовать друг с другом без физического контакта при использовании [1]. Несмотря на определенные сходства, между этими двумя технологиями существуют ключевые различия.

Радиочастотная идентификация (RFID) – это технология, которая позволяет считывать и записывать информацию на радиочастотные метки без физического контакта.

Система RFID включает в себя три основных элемента (рис. 1): RFID-метки, RFID-ридеры и серверную систему или программное обеспечение для обработки данных [2]. Метки и ридеры взаимодействуют друг с другом, а серверная система обрабатывает полученные данные.

RFID-метки бывают активными и пассивными, в зависимости от того, есть ли у них собственный источник питания. У активных меток есть внутренний источник энергии, который питает их, а у пассивных меток питание обеспечивается считывателем через радиоволны.

Пассивной RFID-метки требуется питание от считывателя, чтобы передавать сигнал на небольшое расстояние (около 20 сантиметров). Активные метки способны передавать сигналы на большие расстояния, так как имеют собственный источник питания.



Рис. 1. Структурная схема работы технологии RFID

RFID используется во многих отраслях, таких как промышленность, животноводство, медицина, библиотеки и логистика. В розничной торговле данная технология также помогает предотвратить кражи. В RFID-системах не требуется прямой видимости или физического контакта между меткой и считывающим устройством для получения информации. RFID-метки могут быть прочитаны через упаковку или на расстоянии от 20 см до 300 метров.

Преимущества RFID:

- высокая скорость сканирования;
- возможность автоматического сканирования большого количества товаров одновременно;
- возможность работы в условиях повышенной загруженности склада;
- уникальный идентификатор каждого товара, что обеспечивает точность учета.

Недостатки RFID:

- высокие затраты на оборудование и внедрение системы;
- ограниченный радиус действия считывателей;
- возможность вмешательства в сигналы и нарушения конфиденциальности.

Near Field Communication (NFC) – технология беспроводной высокочастотной связи, предназначенная для обмена данными между устройствами на коротких расстояниях (до 4 сантиметров).

NFC работает по принципу электромагнитной индукции (рис. 2), когда два устройства с поддержкой NFC образуют соединение, в том случае, если они расположены близко друг к другу. Для установления канала связи NFC использует высокочастотные радиоволны (13,56 МГц) [0].

NFC может работать в активном и пассивном режимах. Для первого необходимо, чтобы оба девайса имели собственный источник питания, а для второго достаточно и одного [0].

Активный режим подразумевает, что одно устройство получает свою энергию из электромагнитного поля, созданного другим устройством. Этот режим позволяет передавать данные на большие расстояния, но требует подключения к источнику питания.

Пассивный режим используется для считывания информации с чипов или меток NFC. Он не требует подключения к источнику питания и позволяет считывать данные на небольших расстояниях. Этот режим часто используется в торговых точках для замены штрихкодов и предоставления информации о товарах покупателям.

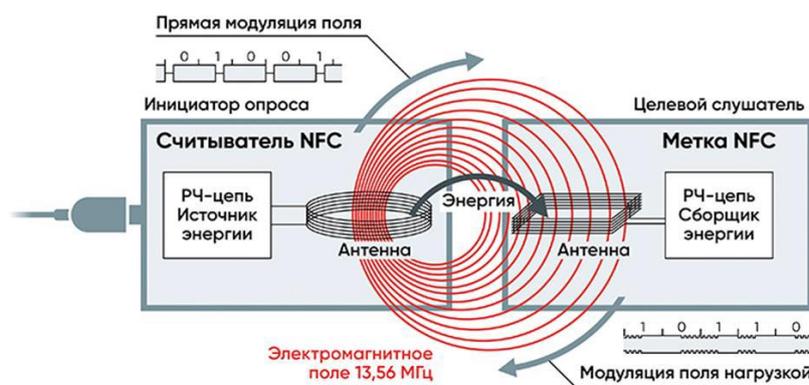


Рис. 2. Структурная схема работы технологии NFC

Преимущества NFC:

- низкие затраты на оборудование;
- надежная связь на ближнем расстоянии;
- возможность использования современных мобильных устройств для сканирования.

Недостатки NFC:

- ограниченный радиус действия;
- более низкая скорость сканирования по сравнению с RFID;
- ограниченная пропускная способность для одновременного сканирования большого количества товаров.

Применение RFID для автоматизации склада

Автоматизированная инвентаризация: RFID-метки могут быть прикреплены к каждому объекту на складе. Когда RFID-ридер проходит над меткой, он считывает информацию о ней и передает ее в систему управления складом [4]. Это позволяет быстро и точно провести инвентаризацию склада.

Улучшение безопасности: RFID-метки можно использовать для контроля доступа к определенным зонам склада или для отслеживания перемещения объектов. Если метка не отвечает на запрос, система может заблокировать доступ или отправить уведомление администратору.

Оптимизация рабочего процесса: RFID-метки позволяют автоматизировать процесс приема, перемещения и отгрузки товаров. Сотрудники могут использовать свои RFID-считыватели для выполнения задач, что ускоряет процесс и снижает вероятность ошибок.

Управление запасами: RFID позволяет отслеживать перемещение товаров на складе, что помогает контролировать запасы и избегать потерь.

Повышение эффективности использования складских помещений: RFID-метки помогают определить местоположение объектов на складе, что позволяет оптимально использовать пространство и сократить время на поиск товаров.

Применение NFC для автоматизации склада

Автоматическая идентификация товаров: метка NFC может быть прикреплена к каждому товару на складе. При сканировании этой метки с помощью NFC-считывателя, информация о товаре передается на устройство обработки данных. Это ускоряет процесс инвентаризации и обеспечивает точность данных.

Автоматизация процессов приемки и отгрузки: сотрудники склада могут использовать свои смартфоны с поддержкой NFC для автоматической регистрации товаров при их поступлении или отправке. При этом информация о каждой операции будет передана в систему управления складом и отразится в реальном времени.

Бесконтактная передача данных: NFC позволяет передавать данные между устройствами без необходимости подключения кабеля или использования других интерфейсов. Это упрощает процесс обмена информацией между сотрудниками и сокращает время на выполнение операций.

Мобильная маркировка: метки NFC могут быть прикреплены к товарам или контейнерам и использоваться для определения их местоположения и статуса в режиме реального времени. Это позволяет оптимизировать рабочие процессы и повысить эффективность работы склада.

Управление доступом: NFC также может быть использован для управления доступом на склад. Считыватели NFC могут быть установлены на дверях или воротах, и сотрудники могут проходить через них, просто приложив свои NFC-совместимые смартфоны или карты к считывателю.

Заключение

Сравнение RFID и NFC технологий показывает, что каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. RFID технология обеспечивает высокую точность идентификации объектов и возможность отслеживания их перемещения, однако она требует больших инвестиций и специального оборудования для работы. NFC технология, в свою очередь, предлагает более низкую стоимость меток и простоту использования, но имеет меньший радиус действия и ограниченный объем памяти.

Для автоматизации склада оптимальным решением может стать комбинация этих двух технологий. RFID-метки могут использоваться для идентификации и отслеживания перемещения товаров на складе, а NFC-метки – для быстрой и удобной обработки товаров на рабочих местах. Такой подход позволит использовать преимущества каждой технологии и минимизировать их недостатки, обеспечивая эффективность и гибкость автоматизации складских процессов.

Список используемых источников

1. Хамзаев Д. И., Хамзаев И. Х. Сравнительный анализ между RFID и NFC технологиями // Технические науки: электрон. научн. журн., 2024. №1(118). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16699>
2. Барышников А. А., Куприянов А. С., Скоробогатов М. Э. Анализ технологий RFID и NFC для автоматизации складской деятельности производства. // Молодая наука Сибири, 2023. №3(21). URL: <https://ojs.ircgups.ru/index.php/mns/article/view/1452>
3. Тимергалин А. Р., Ахметов Р. Д., Князев О. А. NFC как средство автоматизации бытовой и промышленной среды // Мировая наука, 2021. №7(52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nfc-kak-sredstvo-avtomatizatsii-bytovoy-i-promyshlennoy-sredy> (дата обращения: 06.02.2024)
4. Багиров А. И. RFID-технология автоматизации склада // Научный журнал, 2020. №5 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rfid-tehnologiya-avtomatizatsii-sklada> (дата обращения: 08.02.2024).

УДК 629.783
ГРНТИ 89.29.55

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА СИГНАЛОВ В СПУТНИКОВЫХ КООПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

А. Н. Ликонцев, Д. А. Нев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современном мире улучшение качества передачи и приема сигнала кооперативных спутниковых систем является передовым направлением в развитии технологий подвижной связи. В связи с этим в данной статье рассматривается возможность применение алгоритмов определения угла прихода сигнала для адаптивного управления диаграммой направленности. Производится сравнение выигрыша, получаемого при использовании различных алгоритмов DoA. Результатом работы является модель спутникового канала с применением алгоритмов DoA.

спутниковые системы, формирование луча, адаптивное диаграммообразование

Спутниковые системы, играющие важную роль в связи, навигации и метеорологии, стали неотъемлемой частью современного общества. Они обеспечивают дальнейшую связь и доступность в телекоммуникационной отрасли. Однако увеличение числа спутниковых систем и информационного потока вызывает проблемы с обеспечением высокоскоростной связи.

Применение алгоритмов определения угла прихода сигнала для адаптивной диаграммы направленности может стать одним из решений этой проблемы. Эти методы улучшают разрешение стандартных диаграмм направленности, улучшают качество сигнала и повышают пропускную способность системы. Основная концепция заключается в использовании антенной решетки, каждый из элементов которой имеет свою диаграмму направленности. Комбинирование данных от всех антенн позволяет получить более точную диаграмму направленности.

Алгоритмы определения угла прихода сигнала используются для определения угла между направлением, из которого приходит сигнал, и направлением на приемник. Сигнал является обязательным параметром для определения местоположения и направления движения источника излучения.

В спутниковых кооперативных системах сигнал можно определить с помощью антенн, установленных на спутниках. Однако, точность определения угла входного сигнала может быть ограничена рядом факторов, такими как шум и ограничения на размеры антенн.

В дальнейших исследованиях в качестве алгоритмов различения сигналов будут использоваться метод Beamscan и MUSIC.

Суть метода Beamscan заключается в сканировании лучом интересующей области и вычислении выходной мощности для каждого угла сканирования луча. С увеличением углов обзора θ и φ рассчитывается вектор отклика антенной решетки $\vec{a}(\theta, \varphi)$. Формула алгоритма Beamscan выглядит следующим образом:

$$P_{CBF}(\theta) = \frac{\vec{a}(\theta, \varphi)^H * R_{xx} * \vec{a}(\theta, \varphi)}{\vec{a}(\theta, \varphi)^H * \vec{a}(\theta, \varphi)}, \quad (1)$$

где R_{xx} – автоковариационная матрица принятого сигнала, H – Эрмитово сопряжение, а $\vec{a}(\theta, \varphi)$ – вектор отклика антенной решетки.

Т. к. $P_{CBF}(\theta, \varphi)$ – пространственный спектр, то оценкой алгоритма являются углы θ и φ , которые соответствуют максимальному значению спектра выходной мощности.

Существенным преимуществом алгоритма является относительно простая вычислительная сложность. Однако, одним из слабых мест алгоритма Beamscan является неспособность распознавать близко расположенные источники. То есть, когда два сигнала поступают из направлений, разделенных расстоянием, меньшим ширины луча, Beamscan не определяет направление каждого из сигналов.

Метод MUSIC (Multiple Signal Classification) – это метод, основанный на пространственном спектре. Его суть заключается в использовании свойств пространственного спектра для определения направления прихода сигнала (DoA). Также как и в алгоритме Beamscan с увеличением углов обзора θ и φ рассчитывается вектор отклика антенной решетки $\vec{a}(\theta, \varphi)$, формула пространственного спектра алгоритма MUSIC будет иметь следующий вид:

$$P_{MUSIC}(\theta, \varphi) = \frac{1}{\vec{a}(\theta, \varphi)^H * S_n * \vec{a}(\theta, \varphi)}, \quad (2)$$

где: $P_{MUSIC}(\theta, \varphi)$ – пространственный спектр, $\vec{a}(\theta, \varphi)$ – вектор отклика антенной решетки, S_n – матрица шума, H – Эрмитово сопряжение.

Т. к. $P_{MUSIC}(\theta, \varphi)$ – пространственный спектр, то оценкой алгоритма являются углы θ и φ , которые соответствуют максимальному значению спектра выходной мощности [1].

Отличие метода MUSIC от метода Beamscan заключается в том, что MUSIC использует информацию о шуме для улучшения оценки DoA, что делает его более точным и эффективным при наличии множества источников сигнала.

Для сравнения целесообразности применения алгоритмов DOA была создана модель в программе MatLab. Модель позволяет сгенерировать ситуацию, когда ряд приемных станций имеет случайные координаты, а передатчик на спутнике, получает информацию о расположении приемников и адаптирует диаграмму направленности. Адаптивное диаграммообразование позволяет управлять направленностью антенны в зависимости от угла прихода сигнала. Оно основано на использовании массива антенн. Когда сигнал поступает на антенную решетку, каждая антенна принимает сигнал с различной фазой и ампли-

тудой. Используя эту информацию, можно изменять диаграмму направленности, таким образом, чтобы покрывать только ту зону, где находятся приемные станции [2]. Принцип работы схематично показан на рисунке 1.

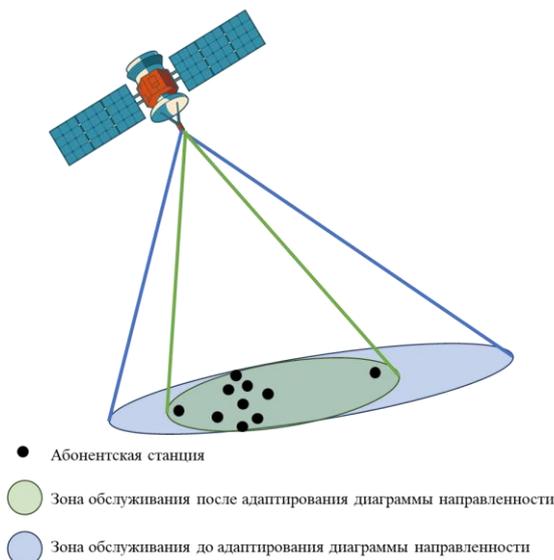


Рис. 1. Сравнение зон обслуживания спутника до и после адаптации диаграммы направленности

Для симуляции были выбраны следующие изначальные данные:

- долгота: 30.435749;
- широта: 59.937650;
- антенная решетка 2x2, состоящая из параболических зеркальных антенн с диаметром 1,5м и глубиной 0,25м;
- опорная частота 4,75ГГц;
- усиление антенны 15 дБ;
- мощность передатчика 60 дБм;
- высота спутника 450 км.

Ниже представлены результаты симуляции для 10 приемных станций:

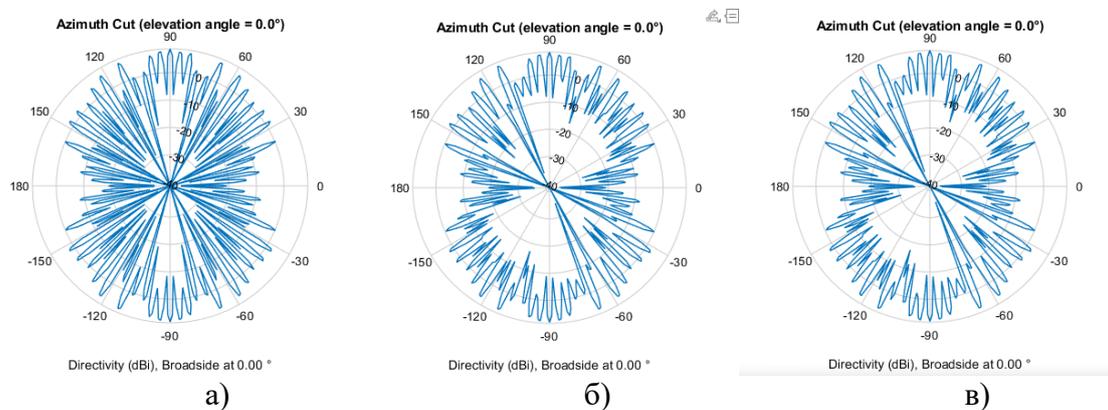


Рис. 2. Угол подъема: а) при равных весовых коэффициентах; б) при весовых коэффициентах, рассчитанных с помощью алгоритма MUSIC; в) при весовых коэффициентах, рассчитанных с помощью алгоритма Beamscan

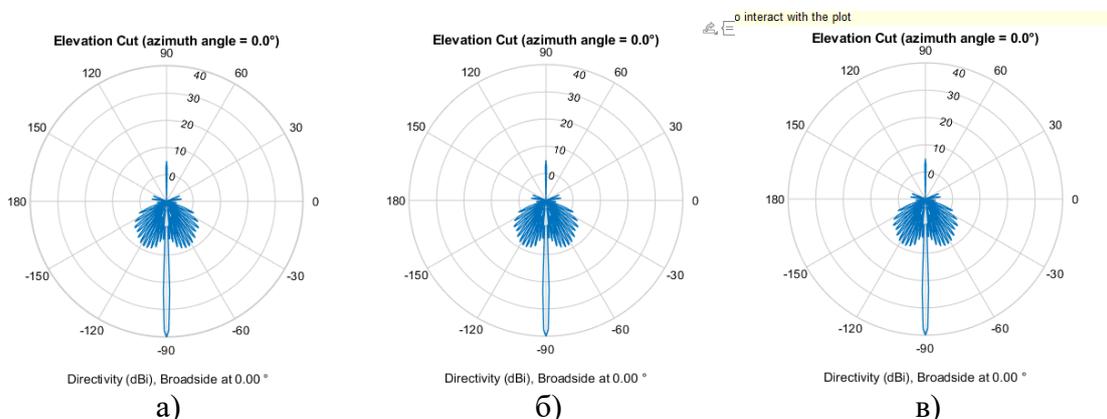


Рис. 3. Азимут: а) при равных весовых коэффициентах; б) при весовых коэффициентах, рассчитанных с помощью алгоритма MUSIC; в) при весовых коэффициентах, рассчитанных с помощью алгоритма Beamscan

Как видно из рисунков 2 и 3, основные изменения при применении адаптации весовых коэффициентов приходятся на угол подъема, за счет этого достигается изменения зоны покрытия спутника. Ниже представлено реальное отображение зоны покрытия спутника, где красный маркер – это спутник, а синие – приемные станции:



Рисунок 4. Зона покрытия: а) при равных весовых коэффициентах; б) при весовых коэффициентах, рассчитанных с помощью алгоритмов MUSIC или Beamscan;

За счет изменения зоны покрытия можно сконцентрировать луч таким образом, чтобы значение отношения сигнал/шум (ОСШ) для абонентских станций было максимально возможное с учетом атмосферных и погодных условий. Повышение ОСШ позволит использовать более высокоуровневую модуляции тем самым повысив спектральную эффективность. В случае, когда использование более высокоуровневой модуляции невозможно, уменьшение зоны обслуживания повысит энергетическую эффективность.

Однако, применение алгоритма адаптивного формирования луча в системах спутниковых антенн связано с рядом проблем, включая:

- требование очень точного контроля уровня сигнала отдельных элементов, что требует продвинутых алгоритмов и вычислительной мощности, что трудно достичь в космосе;
- сложности в стабилизации лучей спутниковой системе;
- необходимость выбора конфигурации, состава и алгоритма управления адаптивной цифровой антенной решетки [3, 4].

В рассматриваемом случае применение алгоритма MUSIC излишне из-за высокой вычислительной сложности, при малой выборке приемных станций и использовании антенной решетки 2x2 применение алгоритма Beamscan более чем оправдано.

Список используемой литературы

1. Петров В. П. Алгоритмы оценки пространственного спектра в адаптивных цифровых антенных решетках. Вестник СибГУТИ, 2014. № 4 (28), 60–70.
2. Ермолаев В. Т., Флакман А. Г. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах беспроводной связи. Нижний Новгород, 2006.
3. Новицкий, Ю. Г., Маклаков А. В. Расчет алгоритмов определения угла прихода спутникового сигнала для адаптивного управления диаграммой направленности // Радиотехника. 2009. Т. 64, № 2. С. 26–31.
4. Ширяев И. В., Ковалев Г. А. Адаптивное управление диаграммой направленности спутниковых систем связи с использованием алгоритма Beamscan // Информационные технологии и машиностроение, 2013. Т. 9, № 1. С. 51–56.

УДК 504.055
ГРНТИ 87.55.37

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АДМИРАЛТЕЙСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО ОКРУГА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

А. Н. Логиновская, М. Е. Упоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Проведен анализ пространственного распределения электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) на территории Адмиралтейского муниципального округа Санкт-Петербурга. Изучение этой проблемы крайне актуально с точки зрения влияния электромагнитных полей на экосистему. Исследования позволяют более точно определить уровень излучения и контролировать его в соответствии с международными стандартами. Предельно допустимые уровни электромагнитных полей рассматриваемой территории благополучны, однако следует отметить, что значения магнитной индукции превышают безопасные уровни зарубежных нормативов. Материалы по исследованию пространственного распределения электромагнитных полей Адмиралтейского муниципального округа Санкт-Петербурга представлены на картах с применением метода интерполяции и метода изолиний.

электромагнитные поля, картографирование, геоинформационная система, напряженность электрического поля, интенсивность магнитного поля, промышленная частота

Электроэнергетические устройства, мобильные телефоны, бытовая техника и другие источники электромагнитных полей постоянно окружают человека. Наибольшим воздействиям электромагнитного излучения подвержены крупные городские агломерации, так как его интенсивность в них гораздо выше, чем на открытом пространстве [1, 2]. Изучение электромагнитных полей имеет большую важность с точки зрения их влияния на экосистему, так как Адмиралтейский муниципальный округ является центральной частью города, в котором расположено множество памятников истории и культуры, способствующих привлечению большого числа туристов.

При измерениях напряженности электромагнитных полей в изучаемом районе учитывался тот факт, что большинство зданий Адмиралтейского муниципального округа относятся к исторической застройке XIX века, по большей части – из кирпича, в которой качество внутренней электропроводки часто не соответствует нагрузкам от современной бытовой техники. Так некогда промышленные исторические здания превратились в офисы и бизнес-центры, а свободные пространства и вовсе застраивались новыми современными многоэтажными домами. В рамках проведенного исследования был использован метод прямых инструментальных измерений в конкретных

заранее привязанных в пространстве точках, которые расставлялись с учетом особенностей исследуемой территории. По результатам измерений напряженности электрических полей и магнитной индукции промышленных частот 50 Гц были составлены карты, отражающие пространственное распределение этих полей в Адмиралтейском муниципальном округе Санкт-Петербурга. На рисунке 1 показана карта с расположением точек измерений уровней электромагнитных полей.

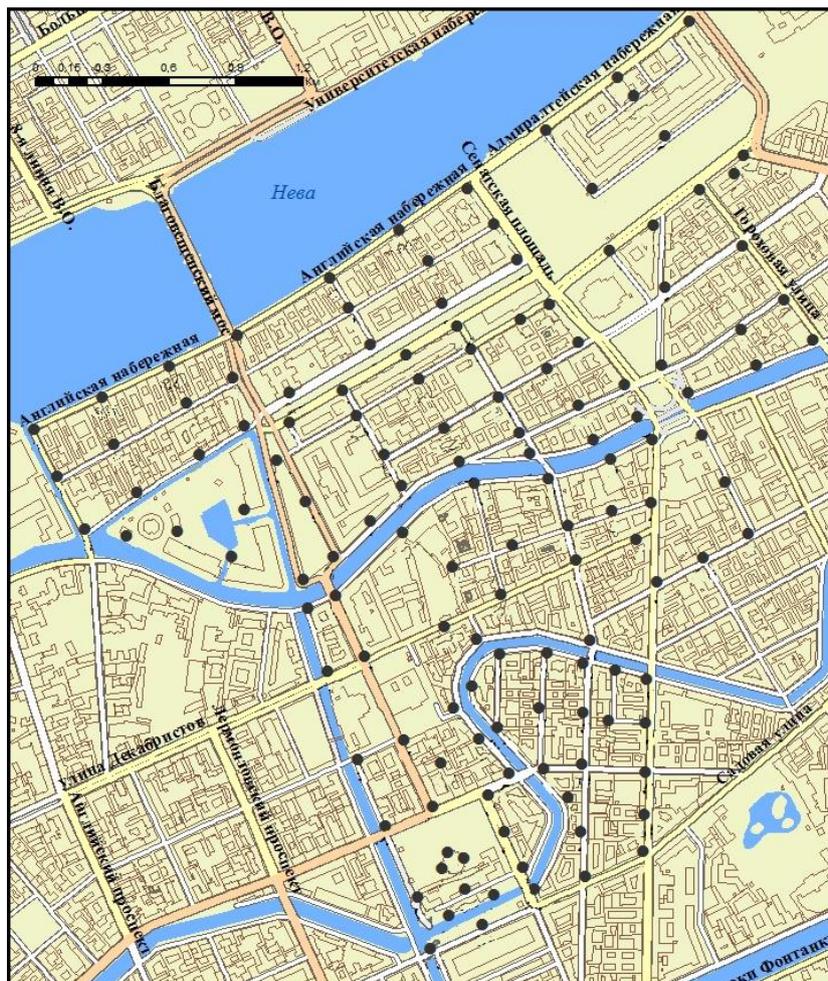


Рис. 1. Карта с расположением точек измерений уровней электромагнитных полей на территории Адмиралтейского муниципального округа

Для визуализации распространения напряженности электрических полей, выполнена карта с помощью метода интерполяции раstra (рис. 2). Максимальными значениями в исследуемой области являются значения в 6-6,9 В/м. На пересечениях улиц Декабристов и Глинки, а также на стыке улиц Почтамтской и Малой Морской, данный показатель обусловлен близким рас-

положением энергозита в месте измерения. На остальной территории значения электрических полей распределены равномерно, с незначительными скачками вдоль фасадов зданий вблизи вывесок и объектов освещения.

На основании СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [3], для жилых территорий, предельно-допустимым уровнем напряженности электрического поля промышленной частоты является значение до 1 кВ/м. Пики наблюдаемых значений примерно в 143 раза меньше, чем граница нормы. В рамках исследования пространственного распределения электрических полей в Адмиралтейском муниципальном округе города Санкт-Петербург, превышений предельных допустимых уровней не выявлено.

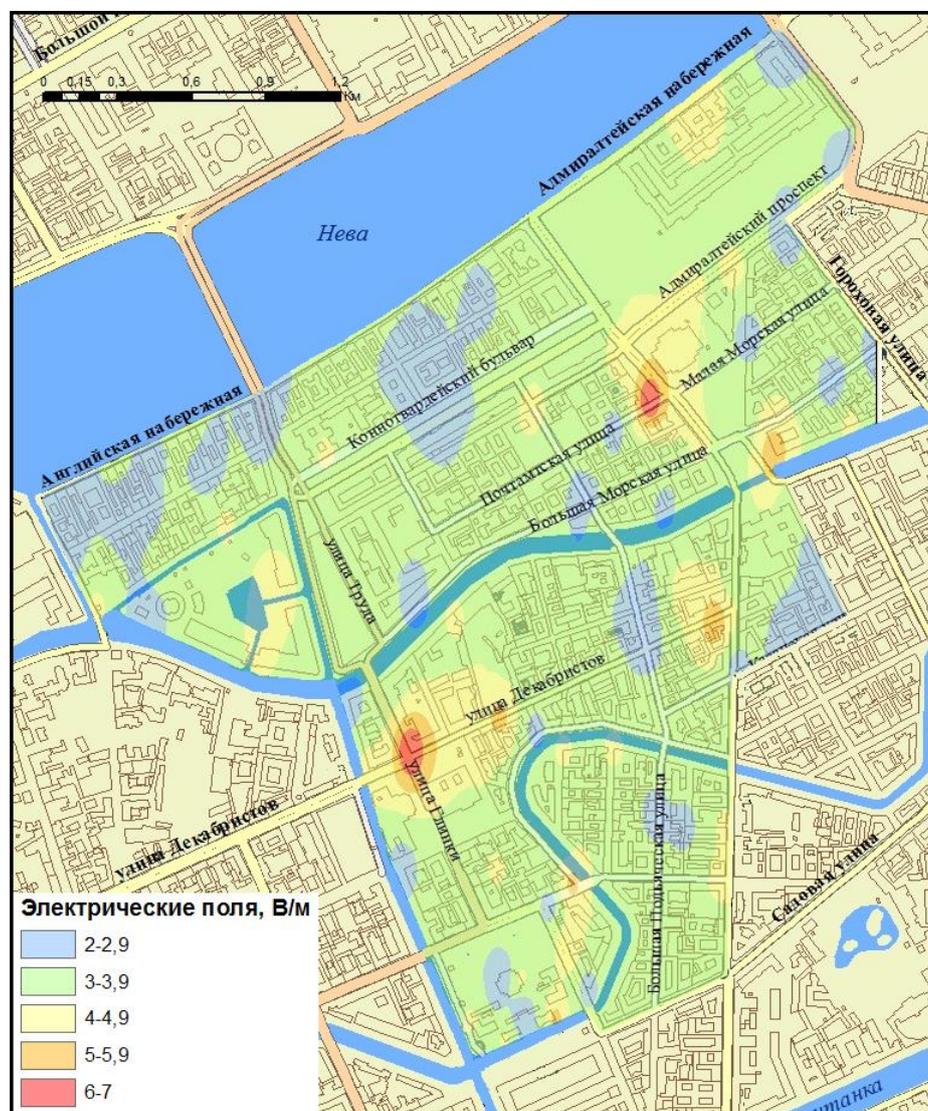


Рис. 2. Карта распределения значений электрических полей (В/м) в Адмиралтейском МО Санкт-Петербурга

Визуализация распределения магнитной индукции, также отображена на карте с помощью метода интерполяции раstra (рис. 3). Степень изменчивости показателей магнитной индукции выражено слабо.

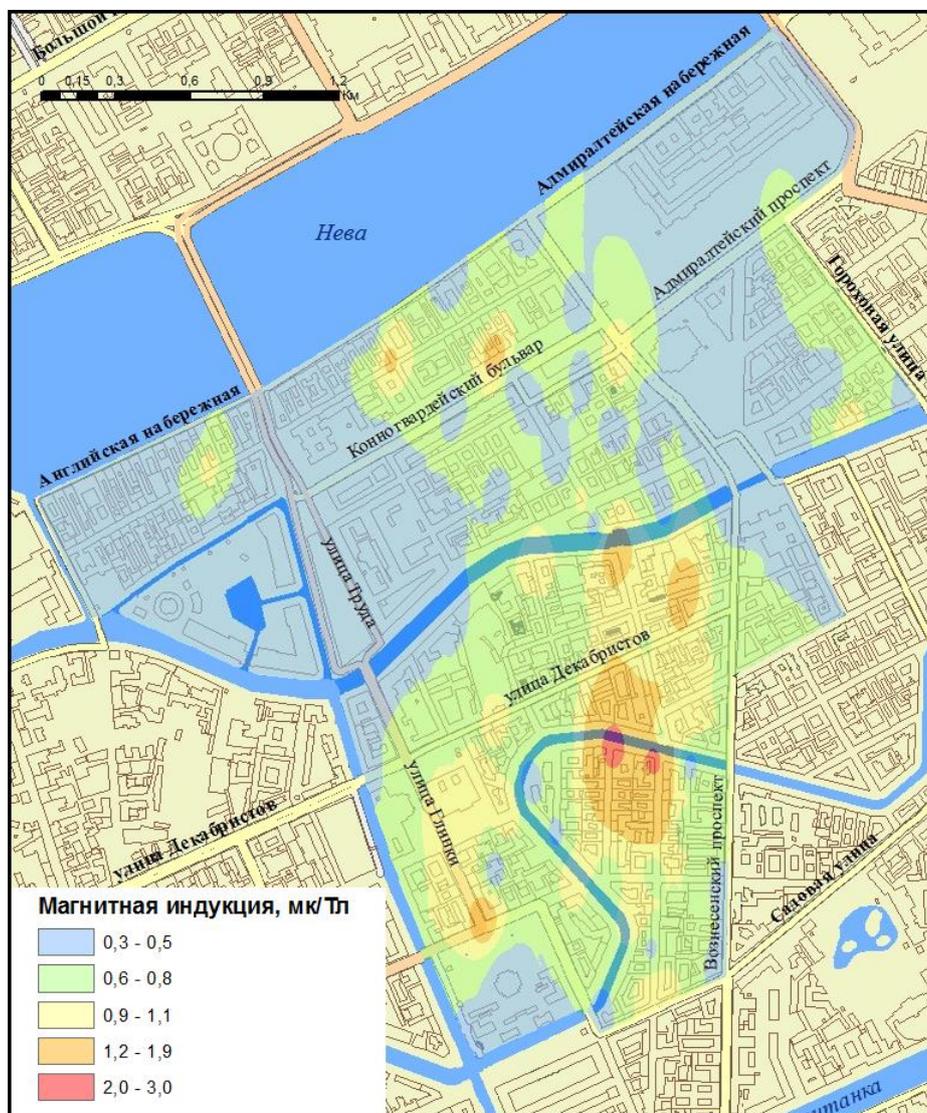


Рис. 3. Карта распределения значений магнитной индукции (мкТл) в Адмиралтейском МО Санкт-Петербурга

Значениям в 0,3-0,5 мкТл больше всего соответствуют территории скверов и рекреационных зон с незначительным количеством или вовсе фактическим отсутствием электрооборудования. Средние, по результатам измерений, значения в 0,5-1 мкТл обусловлены наличием сети электроснабжения бытового характера и высоким уровнем транспортного движения, связанного с контактными сетями электротранспорта и плотностью самого электротранспорта на узких улицах Петербурга. Наибольшее из значений

магнитной индукции наблюдаются на канале Грибоедова (2,5 мкТл), и является следствием влияния энергощита (наличие электрической конструкции с названием магазина) с достаточно высокой силой тока. При других замерах исследуемой территории определены значения в 1-2 мкТл. Такое влияние, как правило, оказывают установленные кондиционеры, электрические вывески магазинов и кафе, небольшие объекты освещения. Например, в переулке Пирогова, дом 2, значение в 2 мкТл можно объяснить наличием металлической решетки электроворот, поскольку конструкции, состоящие из металла, могут быть подвержены явлению электризации и быть нетипичным источником электромагнитного поля.

На основании того же СанПиН [3], для селитебных территорий предельно-допустимым уровнем магнитной индукции промышленной частоты является значение до 10 мкТл. Поэтому значения, даже по самым критичным точкам, в 3 раза меньше, чем граница нормы. Превышений предельных допустимых уровней не выявлено, все безопасные уровни соблюдены.

Однако, опираясь на зарубежные ПДУ [4, 5], которые говорят об опасности значений свыше 0,2 мкТл, уровень излучения в среде является повышенным. Для приведения показателя в норму, возможно, потребуется провести дополнительный мониторинг округа и произвести обновление компонентов сетей электроснабжения, поскольку установленное оборудование в этом районе, уже не соответствует современным нагрузкам. Кроме того, всему мировому экологическому сообществу, очевидно, стоит пересмотреть стандарты в области магнитной индукции, чтобы разработать общий норматив в целях единого подхода к решению насущной проблемы.

Список используемых источников:

1. Бузов А. Л., Сподобаев Ю. М. Электромагнитная экология. Основные понятия и нормативная база. М.: Радио и связь, 1999. 78 с.
2. Калыгин В. Г. Промышленная экология: учеб. пособие. М.: Издательский центр "Академия", 2017. 368 с.
3. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 // Госстандарт, 2021. 469 с.
4. Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health Expressed at the 27th CSTE plenary meeting Brussels, 30 October 2001. // URL: https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/sct/documents/out128_en.pdf (дата обращения: 22.05.2023)
5. Muller B. Electrosmog. Hausgemachtes Problem // BildWiss. 1996. № 4. С. 12–14.

УДК 621.396
ГРНТИ 49.03.05

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ИОНОСФЕРНОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА

В. Н. Лыпкань, С. В. Мартынов, Д. Е. Токмакова, П. Н. Федоров

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В связи с возникшей ситуацией в мире цифровые системы связи декаметрового диапазона с использованием ионосферных волн все чаще применяют, в качестве дублирующих, для спутниковой связи. Целью данного исследования является обоснованное формирование облика алгоритма адаптивной фильтрации сигнала в ионосферном канале связи с использованием разнесенного приема.

ионосферный канал связи, адаптивное помехоподавление, алгоритмы адаптивной фильтрации, разнесенный прием

В настоящее время использование ионосферного канала связи стало необходимым при организации линий радиосвязи большой протяженности, в частности, для авиации, в космической отрасли, общественной безопасности, спутниковом телевидении и других.

Однако существует ряд проблем, связанных с передачей данных путем применения ионосферных волн, такие как атмосферные шумы, помехи и другие виды искажений сигнала, которые существенно снижают качество связи.

В данной работе рассматривается задача борьбы с помехами в ионосферном канале связи с использованием методов адаптивной фильтрации сигнала. В работе проводится анализ эффективности существующих методов борьбы с помехами в ионосферном канале связи, а также определяются оптимальные параметры алгоритмов адаптивной фильтрации для более эффективной борьбы с помехами в условиях многолучевости и замираний, характерных для ионосферного канала связи.

Регламент радиосвязи МСЭ (пункт 1.166) определяет помеху следующим образом: «воздействие нежелательной энергии, вызванное одним или несколькими излучениями, радиациями или индукциями, на прием в системе радиосвязи, проявляющееся в любом ухудшении качества, ошибках или потере информации, которых можно было бы избежать при отсутствии такой нежелательной энергии» [1].

На данный момент существует большое множество способов, позволяющих снизить помеховое воздействие, характерное для ионосферного канала

связи. Условно эти способы можно разделить на сигнальные и энергетические. К сигнальным обычно относят способы кодирования сигнала с использованием различных видов модуляции, применение нескольких несущих сигнала. К энергетическим обычно относят способы борьбы с помехами путем формирования соответствующей диаграммы направленности антенны или антенной решетки, а также различные методы фильтрации сигнала [2].

Важнейшим методом, рассмотренным в данной статье, является адаптивная фильтрация сигнала. Адаптивные фильтры сигнала – это фильтры, использующие определенные алгоритмы, применяемые для обработки сигналов, которые способны автоматически настраиваться и изменять свои характеристики в зависимости от изменений во входных данных. В таких фильтрах используют обратную связь для обучения и адаптации антенной решетки к изменяющимся условиям распространения радиоволн, с целью достичь желаемых результатов обработки сигнала [3]. На рис. 1 представлена блок-схема работы адаптивного фильтра.

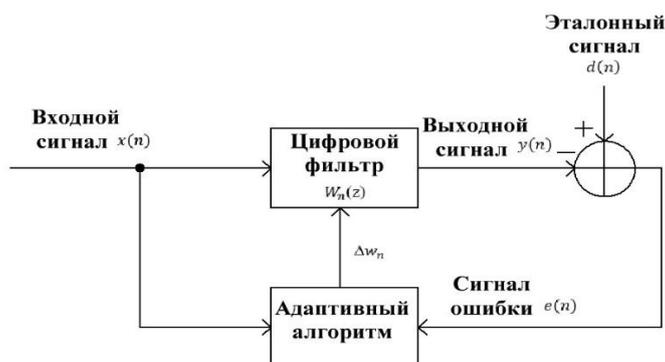


Рис. 1. Блок-схема работы адаптивного фильтра

В процессе фильтрации осуществляется вычисление выходного сигнала фильтра $y(n)$ на основе входного сигнала фильтра $x(n)$ [4]. Полученный выходной сигнал фильтра сравнивается с требуемым откликом $d(n)$, что позволяет сгенерировать оценку ошибки $e(n)$, представленном на рисунке 1. Затем сигнал ошибки по цепи обратной связи $e(n)$ подается в блок, реализующий адаптивный алгоритм обработки сигнала ошибки, синтезирующий коэффициенты фильтра w_n с целью минимизации ошибки оценки по выбранному критерию оптимизации [5].

В данной работе для сравнения эффективности используются три алгоритма адаптивной фильтрации: *LMS*, *RLS*, *NLMS*. Подробное описание алгоритмов представлено в работе В. А. Чистякова [6].

Критерии сравнения алгоритмов:

1. Скорость сходимости.
2. Отношение сигнал/шум на выходе адаптивного фильтра.
3. Характеристики ошибок.

Для моделирования ионосферного канала связи были применены рекомендации *ITU-R F.1487*. В этой рекомендации указаны параметры ионосферы для различных широт и времен года [7]. Используя эти данные, в программной среде *Matlab* была разработана статистическая, однослойная модель ионосферы с учетом доплеровского сдвига, задержки в ионосферном канале, ослаблением сигнала в канале и с высоким уровнем атмосферного шума.

В такой модели применен сценарий для детального анализа алгоритмов адаптивной фильтрации. При этом главный лепесток диаграммы направленности антенной решетки был направлен на источник сигнала, что предполагает приход на антенную решетку только одного луча, т. е. в данном случае влияние многолучевости практически нивелируется.

Принцип работы системы следующий: источник излучает в зашумленный ионосферный канал связи синусоидальный сигнал, на котором дополнительно присутствует белый гауссовский аддитивный шум, а на приемной стороне размещена линейная, эквидистантная антенная решетка, состоящая из 5 элементов.

Оценка полученных параметров алгоритмов адаптивной фильтрации в этом случае проводилась при различных комбинациях системы: с учетом доплеровского сдвига, разной частотой сигнала, разной задержкой и ослаблением ионосферного канала, а также различным ОСШ на входе адаптивного фильтра. На рисунке 2 представлены исходный сигнал до и после воздействия ионосферных воздействий на него.

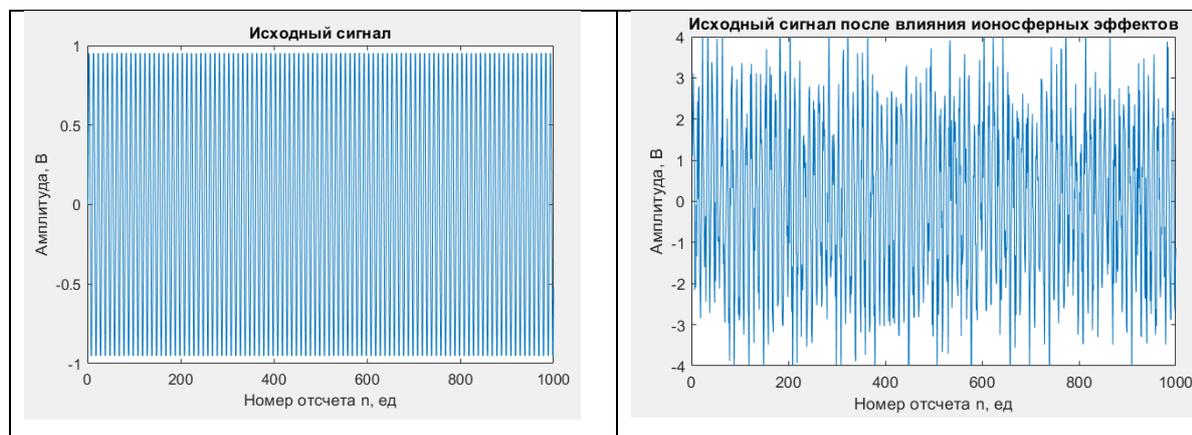


Рис. 2. Графики исходного и зашумленного сигнала

На рисунке 3 показаны результаты, полученные при применении алгоритма *LMS* для адаптивного помехоподавления без использования опорного сигнала, оценка полезного сигнала $d(n)$, формируемая адаптивным помехоподавлением с порядком фильтра 12 и размером шага $\mu = 0,05$.

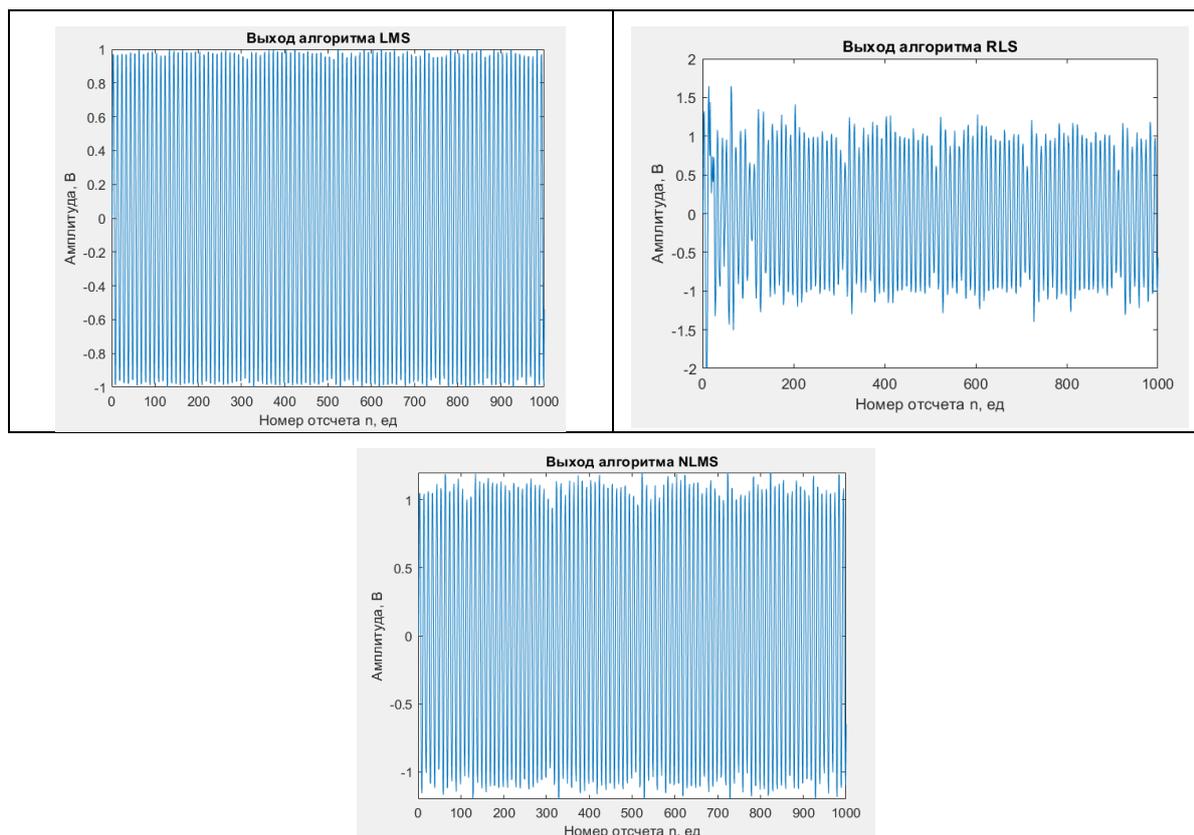


Рис. 3. Графики оценки полезного сигнала в ионосферном канале, с применением алгоритмов LMS, RLS, NLMS

Результаты анализа графиков на рисунке 3 показали, что реализация алгоритма LMS более эффективна при подавлении помех, по сравнению с другими алгоритмами и дает хороший результат с небольшими отклонениями по амплитуде сигнала от максимальной величины.

ТАБЛИЦА 1. Результаты моделирования для низких широт ионосферы

ОСШ на входе передатчика, дБ	ОСШ LMS, дБ	ОСШ RLS, дБ	ОСШ NLMS, дБ	MSE LMS	MSE RLS	MSE NLMS	Состояние ионосферы
5	3,38	2,94	3,11	0,38	0,42	0,4	спокойное
5	2,96	1,85	2,78	0,42	0,49	0,46	умеренное
5	1,75	-0,8	1,58	0,55	0,82	0,59	возмущенное
10	7,19	6,87	7,12	0,35	0,39	0,34	спокойное
10	6,52	6,04	6,32	0,39	0,47	0,41	умеренное
10	5,21	3,46	4,89	0,48	0,58	0,52	возмущенное
15	11,85	10,23	10,98	0,29	0,34	0,3	спокойное
15	10,11	9,86	10,32	0,36	0,41	0,37	умеренное
15	8,91	6,39	8,63	0,44	0,49	0,47	возмущенное

Таблица с результатами моделирования для низкой широты при разных состояниях ионосферы и для разных алгоритмов адаптивной фильтрации представлены в таблице 1. Все результаты это средние за 10 измерений.

Выводы

В результате моделирования были получены следующие результаты:

- алгоритм адаптации по критерию LMS оказался наиболее эффективным алгоритмом адаптивной фильтрации в ионосферной среде с использованием разнесенного приема по совокупности характеристик;
- увеличение порядка адаптивного фильтра выше 20 приводит к ухудшению выходных параметров для алгоритма RLS, в то время как для алгоритмов LMS и NLMS ухудшений нет;
- применение адаптивных фильтров в модели ионосферы, описывающей характеристики верхних широт с возмущенными условиями, без применения дополнительных методов подавления помех, оказывается малоэффективным;
- в условиях, когда ОСШ на входе приемника ниже 0 дБ, применение только адаптивных фильтров не даст положительных результатов;
- применение адаптивной фильтрации сигналов, кроме ситуаций, описанных выше, является хорошим методом борьбы с помехами в ионосферном канале связи с использованием разнесенного приема.

Список используемых источников

1. Регламент Радиосвязи // Женева: Международный союз электросвязи, 2022. 33 с. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202201270013> (Дата обращения 29.12.2023 г.).
2. Гришко А. К., Тумакова И. А., Андреев П. Г., Мокшанцева А. В., Пакайкин А. А. Классификация естественных радиопомех и основные методы борьбы с ними // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2019. Т. 2. С. 284.
3. Hayes M. H. Adaptive filtering in Statistical digital signal processing and modelling / M. H. Hayes John Wiley & Sons, 1996. PP. 493–570.
4. Припутин В. С., Мартынов С. В. Анализ алгоритмов адаптивной фильтрации в системе без опорного сигнала // Телекоммуникации и информационные технологии, 2022. Т. 9. № 1. С. 100–110.
5. Tajammul A. Analysis of Noise Signal Cancellation using LMS, NLMS and RLS Algorithms of Adaptive Filter / A. Tajammul, D. K. Gupta, V. K. Gupta Advanced Research in Electrical and Electronic Engineering, 2015, Vol. 2. 10 p.
6. Чистяков В. А. Алгоритм адаптивной фильтрации помех в цифровых антенных решетках спутниковой связи // Труды МАИ. 2019, Выпуск № 105. С. 100–110.
7. Recommendation ITU-R F.1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators. International telecommunication union, 2000. PP. 1–13. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1487-0-200005-1!!PDF-E.pdf (Дата обращения 28.12.2023 г.).

УДК 621.396.13
ГРНТИ 49.43.29

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО КАНАЛА СВЯЗИ В ВИДЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

А. Ж. Лялина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие любой современной системы связи невозможно без точного понимания того, какой канал предполагается использовать для передачи информации. При этом на этапе теоретических исследований необходимо использовать математические модели каналов, адекватность которых реальным процессам, происходящим в радиоприемниках, во многом определяет обоснованность принимаемых технических решений.

Данная статья посвящена моделированию современных ММО-систем в каналах с различными условиями замираний. Для этого получены и проанализированы математические модели непрерывных каналов связи, представленные в виде стохастических дифференциальных и разностных уравнений, в радиорелейных и тропосферных линиях связи.

СДУ, ММО, замирания, моделирование, Simulink

В непрерывных каналах связи, работающих в условиях замираний, модуль коэффициента передачи канала становится случайной величиной или случайным процессом, описываемым негауссовыми распределениями вероятностей, к основным из которых относятся распределения Рэлея, Райса, Накагами, логнормальные распределения и другие. [1–3]. Это вызывает необходимость соответствующей разработки методов анализа и синтеза негауссовских моделей случайных процессов в каналах в виде стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) и их моделирования в различных программных средах. Некоторые результаты моделирования представлены в [4–6]. Далее будет приведен вывод одного из таких уравнений для Ка-распределения.

СДУ для Ка-распределения

Отличная модель, описывающая амплитудную статистику рассеянного излучения [7]:

$$p(\gamma) = \frac{2b}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{b\gamma}{2}\right)^\nu K_{\nu-1}(b\gamma), \nu > 0, x \geq 0 \quad (1)$$

Из-за присутствия в выражении функции Бесселя функция распределения плотности вероятности Ка-распределения имеет большую вычислительную сложность. Поэтому аппроксимируем его распределением:

$$p(\gamma) = \frac{\nu L \sqrt{2\pi}}{z_0 \Gamma(\nu) \Gamma(L)} \frac{e^{f(x, z_0)}}{\sqrt{|f''(x, z_0)|}} \quad (2)$$

где

$$f = \frac{-x}{z} - \nu z + (\nu - 1) \ln \nu z \quad (3)$$

$$z_0 = \frac{\nu - 1}{2\nu} \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{4\nu x}{(\nu - 1)^2}} \right). \quad (4)$$

Коэффициенты будут выглядеть следующим образом:

$$F(x) = K \frac{f'(x, z_0)}{2}, G(x) = \sqrt{K}. \quad (5)$$

Получаем СДУ:

$$\frac{dA}{dt} = K \frac{f'(A, z_0)}{2} + \sqrt{K} \vartheta_A(t) \quad (6)$$

$$dA = K \frac{f'(A, z_0)}{2} dt + \sqrt{K} \vartheta_A(t) dt \quad (7)$$

$$A(t) = A(t_0) - \int_{t_0}^t K \frac{f'(A, z_0)}{2} d\tau + \sqrt{K} \vartheta_A(t) \quad (8)$$

Результаты моделирования

Математическая модель пространственно-когерентных сигналов в виде СДУ была реализована в среде Simulink [8–10]. На рисунках ниже показаны результаты моделирования.

На рисунке 1 показана реализованная модель. Он включает в себя блоки передачи, приема и канал, моделирующий различные замирания. Параметры системы задаются в отдельном сопроводительном скрипте. Таким образом, могут быть установлены различные конфигурации:

- тип пространственно-временного кодирования;
- тип сигнально-кодовой конструкции;
- количество передающих и приемных антенн;
- тип распределения замирания и его параметры.

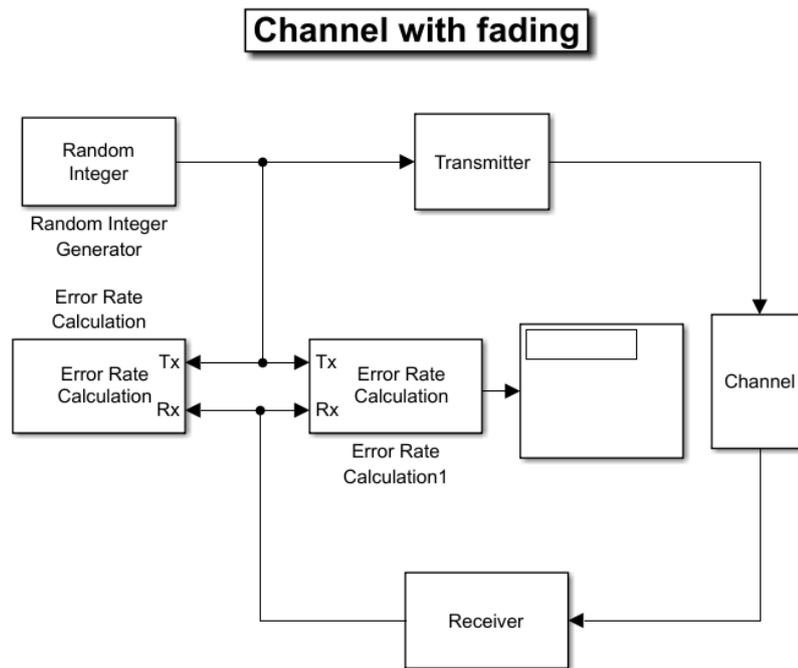


Рис. 1. Реализованная модель в Simulink

На рисунке 2 показан график спектральной эффективности для различных конфигураций системы в канале с AWGN. Таким образом, можно оценить реализуемость той или иной архитектуры и сравнить разные варианты между собой.

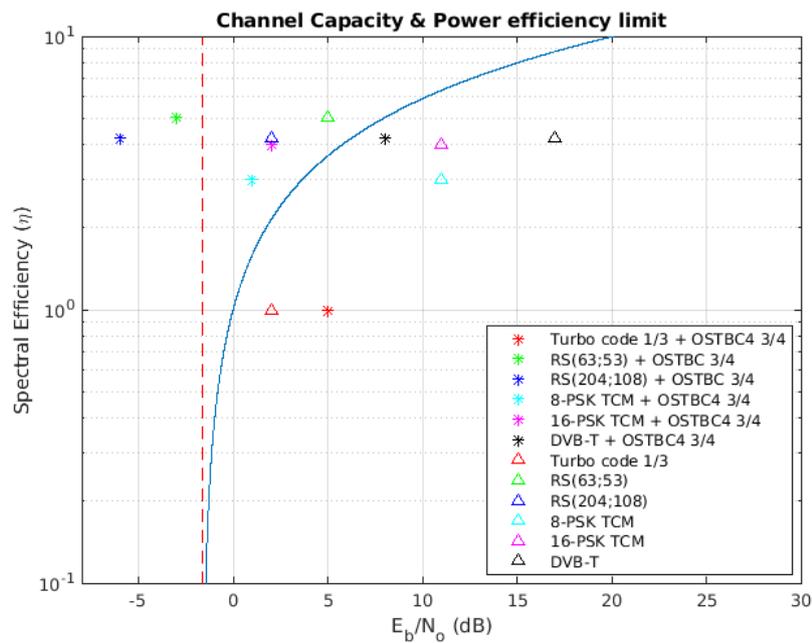


Рис. 2. График спектральной эффективности

Написанные сопроводительные скрипты позволяют проводить различные исследования и получать графическое представление:

- сравнивать различные методы обнаружения;
- оценивать производительность системы при наличии замираний;
- сравнивать типы блочного пространственно-временного кодирования;
- оценивать производительность различных комбинаций сигнально-кодовых конструкций и пространственно-временного кодирования.

Преимущества разработанной программы

Разработанная модель легко масштабируется. С некоторыми дополнениями его можно легко улучшить для моделирования других типов каналов замирания (например, коррелированного канала замирания Райса). Благодаря масштабируемой архитектуре модели ее удобно рассматривать как основу для формирования сигналов, характеристики которых ухудшились из-за эффекта затухания. Например, эффективность мер по борьбе с замиранием можно оценить, используя некоторое разнесение, чтобы предоставить приемнику набор некоррелированных копий сигнала, и используя мощный код коррекции ошибок.

Выводы

Таким образом, представленные результаты показали хорошую возможность аппроксимации моделируемых негауссовских случайных процессов в виде СДУ для основных распределений модуля коэффициента передачи в непрерывных каналах связи с замираниями и их моделирования в среде Simulink. Полученные материалы могут быть использованы при построении программных симуляторов непрерывных каналов связи.

Список используемых источников

1. Савищенко Н. В. Специальные интегральные функции, применяемые в теории связи. СПб: ВАС, 2012. 560 с.
2. Кловский Д. Д., Конторович В. Я., Широков С. М. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
3. Primak S, Kontorovich V., Lyandres V. Stochastic Methods and Their Applications to Communications: Stochastic Differential Equations Approach. Wiley, 2004. 439 p.
4. Glushankov E., Lyalina A., Rylov E. Modeling the satellite communication channel based on stochastic differential equations // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Intelligent Decision-Making Systems (ITIDMS-II-2021), Moscow, Russia, 1 July 2021, Russian New University Publ, 2021. PP. 52–59.
5. Glushankov E. I., Kirik D. I., Lyalina A. Modeling and estimation of parameters of partially coherent signals in radio engineering systems // Proceedings of Telecommunication Universities. 2021: 7(3) 16–24. (In Russ). DOI:10.31854/1813-324x-2021-7-3-16-24.
6. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем, 2004, 607 с.

7. Jakeman Eo. On the statistics of K-distributed noise. Journal of Physics A: Mathematical and General 13.1, 1980, P. 31.

8. Лялина А. Ж., Глушанков Е. И., Горобцов И. А., Кирик Д. И., Коровин К. О., Морозов А. А. Моделирование непрерывного канала связи в среде Simulink на основе стохастических дифференциальных уравнений (СДУ). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022682873, 28.11.2022. Заявка № 2022682109 от 17.11.2022.

9. Глушанков Е. И., Лялина А. Ж., Рылов Е. А. Моделирование в среде Simulink стохастических дифференциальных уравнений, описывающих сигналы в непрерывных каналах связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 78–83.

10. Glushankov E., Kontorovich V. Construction of Markov models vector non-Gaussian random processes describing the parameters signals in antenna arrays. Spatio-temporal processing signals in radio communication systems. Radio Engineering, 1992. PP. 3–11.

Статья представлена научным руководителем, доктором технических наук, профессором кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича Е. И. Глушанковым.

УДК 004.932.4
ГРНТИ 47.51.39

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ ГАММА-КОРРЕКЦИИ НА ПЛИС

А. В. Максимова, И. Н. Чернов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Одним из методов улучшения качества изображений с точки зрения их визуального восприятия является применение гамма-коррекции. В данной работе рассматривается разработка устройства, выполняющего гамма-коррекцию изображений с неравномерным освещением, реализованное на ПЛИС с использованием языка SystemVerilog. Благодаря своей универсальности, этот модуль может быть использован в различных проектах без привязки к определенным производителям ПЛИС.

гамма-коррекция, степенные преобразования, яркость, ПЛИС, SystemVerilog

Большую часть информации люди получают через зрительные образы. Достаточно часто изображения объектов, полученные в результате фотосъемки, не соответствуют той картине, которую видит человек. Причиной этому может быть плохое освещение или отсутствие настройки камеры. Задача улучшения изображения сводится к получению оптимальных яркости и контрастности, наиболее соответствующие реальности. Для решения этой задачи производится преобразование яркостных характеристик.

Оценкой качества изображения служит динамический диапазон – интервал значений между максимальным и минимальным уровнем яркости. Динамический диапазон можно оценить по гистограмме изображения. Гистограммой называется распределение интенсивности в изображении. Она задается выражением:

$$h(r_k) = n_k$$

где r_k – определенный уровень яркости, n_k – число пикселей изображения, имеющих эту яркость.

На рис. 1 показаны гистограммы изображений с низким и высоким контрастом. Можно заметить, что гистограмма низкоконтрастного изображения узкая. Гистограмма высококонтрастного изображения заполняет почти весь диапазон яркостей.

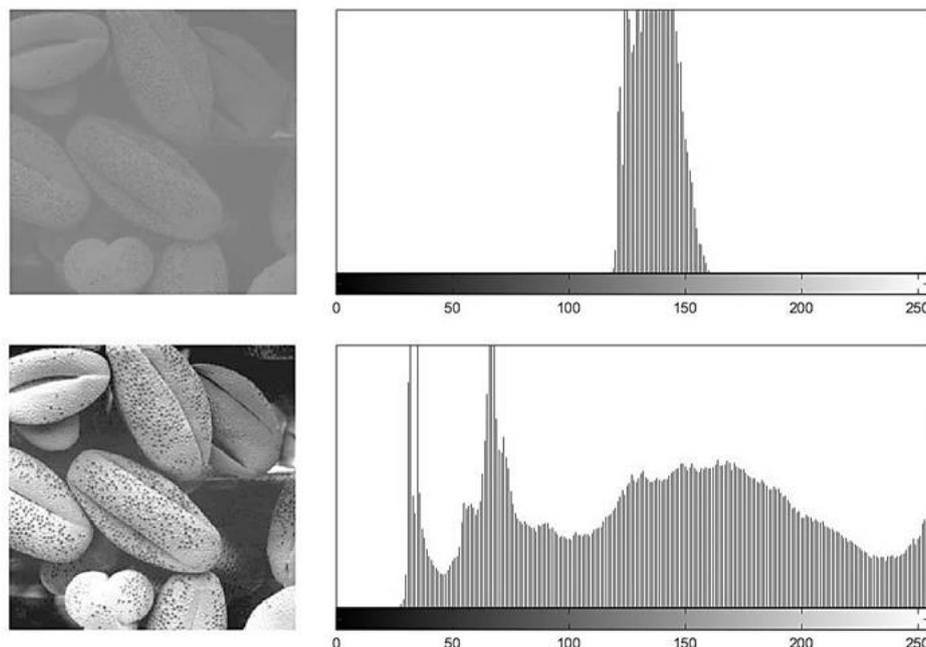


Рис.1. Гистограммы изображений с низким и высоким контрастом.

Существует большое количество методов, позволяющих улучшить изображение [1]. Большинство из них относятся к пространственной обработке, идея которой заключается в том, что все операции выполняются непосредственно над значениями каждого пикселя данного изображения по отдельности согласно заданной функции преобразования.

Наиболее распространенными методами обработки являются: линейная коррекция, логарифмические преобразования, гамма-коррекция, локальная обработка с применением кусочно-линейных функций [2].

Для разработки модуля улучшения яркостных характеристик был выбран метод гамма-коррекции, так как он позволяет получить семейство кривых преобразования, представленных на рис. 2, и является более адаптивным для различных изображений, чем линейные и логарифмические преобразования, а также более простым с точки зрения реализации, чем метод с использованием кусочно-линейных функций.

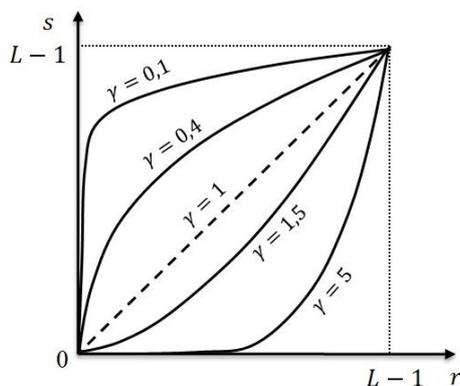


Рис. 2. Функции преобразования при различных значениях γ

Гамма-коррекция выполняется с помощью степенной функции вида:

$$s = c(r + \varepsilon)^\gamma$$

где c , ε и γ – положительные константы. Параметр ε вводится для смещения нулевого уровня яркости [3].

При $\gamma < 1$ узкий диапазон малых входных значений преобразуется в широкий диапазон выходных значений, изображение становится темнее. При $\gamma > 1$ происходит обратное. Данные кривые соответствуют свойству человеческого зрения более чувствительно распознавать малые изменения темных оттенков и менее чувствительно видеть большие изменения в ярких тонах. Это позволяет зрению работать в более широком диапазоне освещенности.

Необходимость осветления или затемнения изображения определяется по среднему значению яркости всех пикселей кадра. Задача гамма-коррекции сводится к определению показателя степени гамма. В основу алгоритма была взята формула:

$$\gamma = \frac{\log 128}{\log mean}$$

где $mean$ – среднее значение пикселей изображения, значения масштабируются в диапазоне 0..255

При анализе в среде Matlab такого вычисления коэффициента γ было определено, что для неравномерно освещенных изображений может производиться неправильная обработка. Неравномерно освещенными изображениями будем называть те, на которых присутствуют большие области света и тени. Будем считать, что при $mean < 128$ изображение – темное и требует осветления, при $mean > 128$ – светлое. Важно отметить, что среднее значение яркости кадра не всегда соответствует визуальному восприятию.

Эмпирически был выведен алгоритм, учитывающий при расчете γ среднее значение темных и светлых пикселей отдельно.

Тогда коэффициент γ рассчитывается как:

$$\gamma = \begin{cases} \frac{mean}{256}, & \text{при условии что изображение темное } (N_{\text{светл.}} < N_{\text{темн.}}) \\ \frac{256}{mean}, & \text{при условии что изображение светлое } (N_{\text{светл.}} > N_{\text{темн.}}) \end{cases}$$

Для пояснения сказанного ранее предлагается рассмотреть пример, приведенный на рис. 3.

На первой картинке представлено изображение до обработки со средним значением 147. Оно визуально кажется темным, хотя имеются достаточно большие яркие зоны. На второй картинке – изображение после обработки согласно алгоритму, где показатель степени γ рассчитывается через арифметическое среднее яркости всего кадра. Третье изображение соответствует результату выполнения экспериментально выведенного алгоритма. Такая обработка может использоваться в системах видеоаналитики.



Рис. 3. Пример работы алгоритма

Важной задачей разработки модуля является модификация алгоритма для реализации на ПЛИС. Расчет среднего значения яркости и степенной функции требуют больших вычислительных мощностей. Для обеспечения универсальности модуля было решено отказаться от использования микропроцессоров и математических IP-блоков компаний-производителей ПЛИС.

На рис. 4 приводится блок-схема алгоритма работы разрабатываемого модуля. Подразумевается, что будем обрабатывать не изображение, а видеопоток.

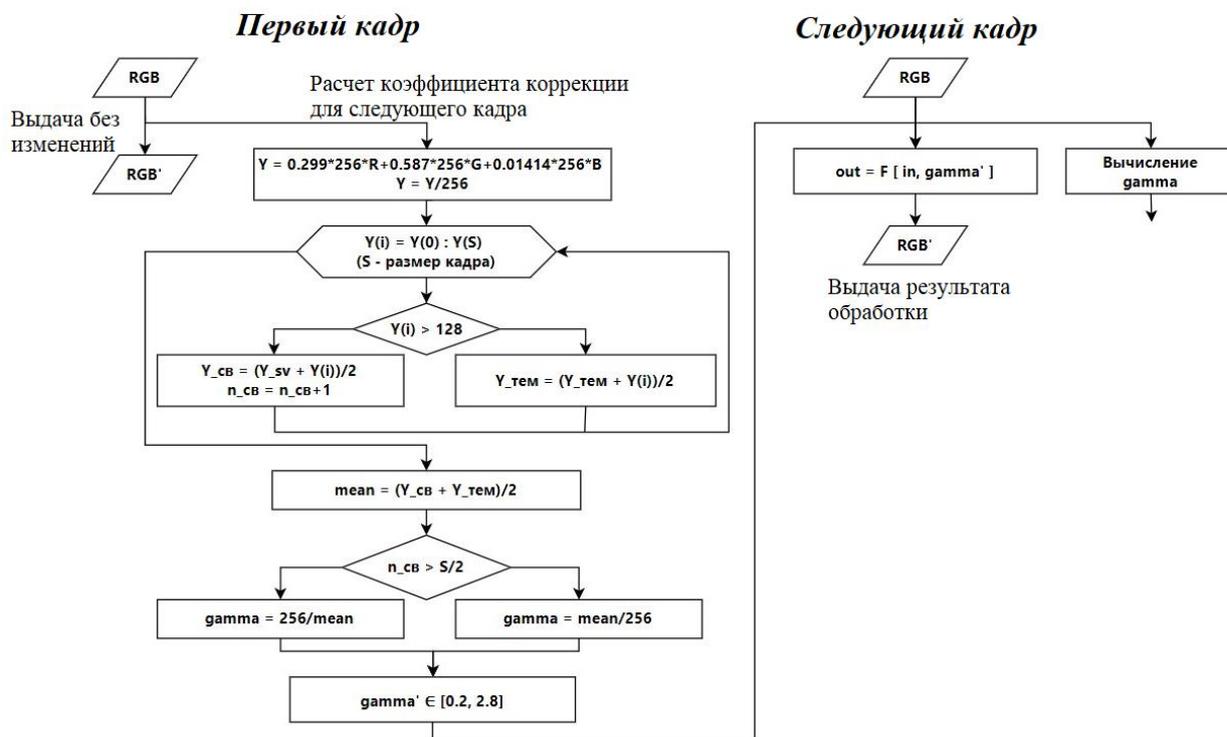


Рис. 4. Блок-схема разрабатываемого алгоритма

Основой алгоритма является вычисление показателя степени γ для конкретного кадра. Для того, чтобы избавиться от вычисления степени, составляются таблицы соответствия входных и выходных значений, в которых значение на выходе заранее просчитано с учетом значения γ . Данное решение позволит сократить количество необходимых операций и, соответственно, время, занимаемое на обработку видеоизображения. Коррекция видеоизображения происходит со второго кадра.

На рис. 5 приведена структурная схема разрабатываемого модуля.

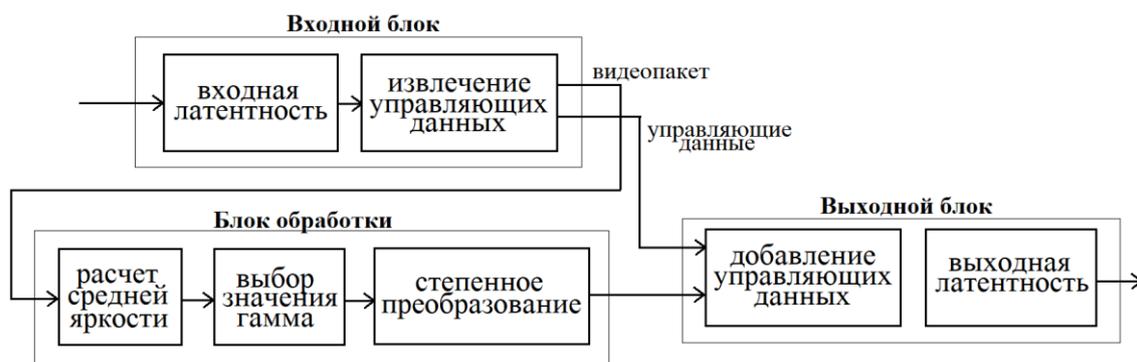


Рис. 5. Структурная схема разрабатываемого модуля

Модуль обработки яркости методом гамма-коррекции был реализован на языке SystemVerilog. В таблице 1 приведены характеристики модуля, полученные в среде Quartus.

ТАБЛИЦА 1. Результаты компиляции в среде Quartus

	Quartus (Cyclone IV)
Логические элементы	4735 (4%)
Регистры	1118 (<1%)
Встроенные блоки памяти	93 (<1%)
Максимальная частота	119 МГц

Список используемых источников

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012, 1104 с.
2. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
3. Щеглов Д. Ю. Исследование алгоритма «гамма-коррекции» для повышения визуального качества изображения // Теория и практика современной науки, 2017. № 7 (25). С. 173–177.

Статья представлена заведующим кафедры РОС СПбГУТ, кандидатом физико-математических наук, доцентом К.О.Коровиным.

УДК 57.044
ГРНТИ 87.17.91

АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ: ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОБЛЕМЫ

У. М. Маликов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Целью исследования являлся анализ радиоактивного загрязнения территории города и оценка последствий для здоровья населения и окружающей среды, определение основных направлений по обеспечению радиационной безопасности населения Санкт-Петербурга. Вопросы радиационной безопасности в Санкт-Петербурге связаны с природными и антропогенными источниками ионизирующего излучения. В г. Санкт-Петербурге в течение длительного времени бесконтрольно проводились интенсивные исследования природных и искусственных радионуклидов. В городе было налажено производство радиоактивных веществ, которые широко использовались, в связи с этим многие участки города были загрязнены радионуклидами. Радиоактивное заражение местности диктует принятия необходимых мер защиты для снижения радиационных потерь среди населения и устранения внешнего и внутреннего облучения населения ионизирующими излучениями.

радиационный фон города, радиоактивные выбросы, поток радона, источники радиации, уровень радиации, радиационная безопасность, мониторинг радиационной обстановки

В городе Санкт-Петербурге радиационный фон неодинаковый. Это связано с естественными и техногенными источниками ионизирующего излучения: радоновые озера, выделение газа радона из гранитных набережных, подземных вод, разломов земной коры, зданий, бетонных, кирпичных и сланцевых построек, промышленное производство, ЛАЭС, свалки – пункты захоронения радиоактивных отходов, «следы» аварии на Чернобыльской АЭС, испытаний ядерного оружия и мирных ядерных взрывов, военные объекты и т. п. В городе имеется много (1124 объекта) учреждений и предприятий, которые используют ионизирующее излучение для медицинских, промышленных или научно-исследовательских целей: исследовательские реакторы Центрального научно-исследовательского института им. А. Н. Крылова, Ленинградская атомная электростанция, транспортные атомные энергетические установки Балтийского завода, предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», завод по переплавке радиоактивного металла АО «ЭКОМЕТ-С», Радиевый институт им. В. Г. Хлопина [1].

На Санкт-Петербург оказывает большое влияние несанкционированный транзит и захоронение радиоактивных веществ. Огромную опасность для окружающей среды всего региона представляет Ленинградская АЭС, в связи с выводом из эксплуатации реакторов первой очереди и проблемами, связанными с заполнением хранилища радиоактивных отходов.

Годовая доза для проживания населения установлена в Федеральном законе от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» в размере 0,01 Зв/год (= 1 мЗв/год).

В 2022 году радиационная обстановка в Санкт-Петербурге не отличалась от показателей предыдущих трех лет. Радиационный фон на территории города находился в пределах 0,11-0,16 мкЗв/ч (в среднем 0,12 мкЗв/ч), что соответствует многолетним среднегодовым значениям естественного радиационного фона в Санкт-Петербурге [2].

Стронций-90, цезий-137, йод-131 самые токсичные для человечества и всей биосферы среди радиоактивных элементов. Основную радиационную опасность для населения представляют радиоактивные осадки, которые образовались от 400 ядерных взрывов, произошедших в мире с 1945 по 1996 г., аварий и утечек при выработке энергии на атомных электростанциях, а также запасы ядерного оружия и радиоактивные отходы [3].

Радон – радиоактивный инертный газ, тяжелее воздуха, бесцветный и без запаха. Радионуклиды радон-222 и радон-220 (торон), которые выделяются в процессе распада радиоактивных элементов - урана-238 и тория-232, соответственно, являются основными источниками радиационного фона.

От особенностей геологического строения зависит содержание природных радионуклидов в почвах и горных породах. Концентрация радона в помещениях определяется эквивалентной равновесной объемной активностью (ЭРОА). По результатам радиационно-гигиенической паспортизации г. Санкт-Петербург, за 2014 год отмечено изменение ЭРОА дочерних продуктов радона в диапазоне от 30 до 1600 Бк/м³ [4,5].

В городе для обеспечения экологической безопасности при строительстве большое внимание уделяется естественной радиоактивности, которое зависит от уровня концентрации радона.

Повышение природного радиационного фона и выхода на поверхность радона зарегистрировано на некоторых территориях города (Красносельского, Пушкинского и Московского районов), где имеются горные породы с повышенным содержанием в почве природных радионуклидов уранового (²³⁸U) и ториевого (²³²Th) рядов. В надпочвенном воздухе обнаружили значения объемной активности радона, превышающие предельно допустимый уровень (ПДК), составляющий 146 МБк/год и достигающий 40000 Беккерель/м³ (Бк/м³), а содержание в подземных водах радоновых аномалий достигает 5–10 г/л при предельно допустимом значении 0,1 Бк/л [6].

Когда человек вдыхает воздух, содержащиеся в нем радиоактивные вещества (частицы радиоактивной пыли), могут оседать на всем протяжении дыхательного тракта от преддверия носа, носоглотки, полости рта до глубоких альвеолярных отделов легких. Радионуклиды оседают в дыхательных путях в зависимости от размеров радиоактивных частиц, их физико-химических свойств и транспортабельности в организме. При оценке опасности ингаляционного поступления радиоактивных веществ учитывают лучевую

нагрузку на легкие, эпителий бронхов, регионарные лимфатические узлы, на стенку желудочно-кишечного тракта.

В Санкт-Петербурге имеется автоматизированная наблюдательная система – это сеть постов контроля радиационной обстановки Санкт-Петербурга (АСКРО), который представляет собой комплекс взаимодействующих технических и программных средств, информационных, вычислительных ресурсов и организационных процедур с целью непрерывного контроля радиационной обстановки на территории города.

АСКРО состоит из 16 стационарных автоматических постов контроля радиационной обстановки, которые находятся на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области вблизи объектов, вызывающих ионизирующие излучения. Измерения проводятся постоянно автоматически на каждом посту контроля радиационной обстановки, данные измерений накапливаются и хранятся в оперативной памяти в соответствии со своими техническими характеристиками [7].

Оборудование, применяемое на постах контроля за радиационной обстановкой, интегрировано в состав автоматических станций мониторинга атмосферного воздуха. Установлено, что значимых колебаний радиационного фона в Санкт-Петербурге по данным автоматизированной системы контроля радиационной обстановки АСКРО за последние пять лет не выявлено.

Городские радиоактивно загрязненные участки можно четко проследить по динамике их обнаружения и ликвидации. В 2022 году 5 раз ликвидировали аварийные ситуации, обусловленные загрязнением радиоактивными веществами территории общего пользования и объектов социальной сферы. Во время этих выездов было изъято и вывезено 0,01672 куб. м твердых радиоактивных отходов: это приборы с покрытием светосоставом постоянного действия, содержащие соли радиоактивных элементов [2].

Активности радионуклидов в объектах среды обитания человека, по данным мониторинга были в пределах допустимых уровней.

На некоторых постах контроля за радиационной обстановкой в любое время года были зарегистрированы повышенные уровни радиации по сравнению с многолетними измерениями. Согласно литературным данным, на разных участках Санкт-Петербурга в разные годы выявлялись локальные радиоактивные загрязнения техногенными радионуклидами, связанные с деятельностью ряда промышленных предприятий и выпадением радиоактивных осадков в результате радиационной аварии на Чернобыльской АЭС (1986).

В 2017 году было обнаружено 3 радиоактивных аномалии с мощностью дозы гамма-излучения свыше предельно допустимой. Аномалии обусловлены предметами со светосоставом постоянного действия. Все предметы изъяты для захоронения [8].

Для уменьшения радиационных потерь среди населения и устранения внешнего и внутреннего облучения населения необходимо проводить постоянный мониторинг радиационной обстановки Санкт-Петербурга и его анализ для выработки управленческих решений.

Необходимо предварительно проводить радиологическое обследование земельных участков, предоставляемых под строительство. Результаты исследования показывают, что данные АСКРО могут быть использованы для общего описания радиационной обстановки в отдельных районах Санкт-Петербурга, однако их недостаточно для детального анализа радиационной обстановки и выявления вклада отдельных видов ионизирующих излучений в уровни облучения жителей Санкт-Петербурга и они не могут служить заменой оперативному радиационному контролю.

Таким образом, проведенный анализ результатов многолетнего мониторинга радиационной обстановки в Санкт-Петербурге свидетельствует о стабильности радиационной обстановки в городе. Повышенные уровни радиации по сравнению с многолетними измерениями на отдельных участках города возможно связаны с ее геологическими и геохимическими особенностями.

В систему непрерывного контроля радиационной обстановки на территории города необходимо внести мониторинг объектов среды обитания человека (песочницы селитебных территорий и детских дошкольных учреждений, рекреационные территории), которые могут способствовать облучению населения и оказывать отрицательное влияние на здоровье населения.

Список используемых источников

1. Радиоактивное загрязнение в Санкт-Петербурге. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://www.dishisvobodno.ru/rad_eco_spb.html
2. Государственный доклад О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Санкт-Петербурге в 2022 году. СПб.: 2023.
3. Справочник по экологии. <https://ru-ecology.info/term/77018/>
4. Нешто К. Я., Гончарова С. Ю. Оценка существующих подходов к определению параметров поступления и стока радона в помещениях жилых и общественных зданий // Молодой ученый, 2016. № 26. С. 68–74. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/130/35047/> (дата обращения: 25.03.2018).
5. Архангельская Г. В., Зеленцова С. А., Вишнякова Н. М., Храмцов Е. В., Варфоломеева К. В., Сокол Н. В. Проблемы риск-коммуникаций по вопросам радиационной безопасности: оценка информированности населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области о деятельности атомной отрасли и его представления о факторах опасности // Радиационная гигиена, 2017. Т. 10. № 3. С. 36–45.
6. Глендлер С. Г., Яковенко А. А. Оценка радиационной обстановки в подземных сооружениях Санкт-Петербургского метрополитена // Записки горного института. 2013. 146 с.
7. Пузырев В. Г., Васильева И. В., Земляной Д. А., Капырина Ю. Н. Особенности радиационного фона различных районов Санкт-Петербурга // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра), 2021. Т. 30. № 3. С. 32–45.
8. Андросова Н. К. Радиационная обстановка в Санкт-Петербурге // Norwegian Journal of development of the International Science, 2019. № 30. PP. 18–20.

УДК 543.544.5.068.7
ГРНТИ 31.19.29

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭЖХ ПРИ АНАЛИЗЕ БЕНЗАПИРЕНА

Н. Е. Манвелова, Е. А. Чабаева

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время вопрос загрязнения атмосферного воздуха полициклическими ароматическими углеводородами имеет всевозрастающее значение. В Российской Федерации бензапирен подлежит обязательному контролю в атмосферном воздухе. В статье рассмотрена методика М-02-902-150-07 по выявлению бензапирена в атмосферном воздухе методом ВЭЖХ. Бурное развитие жидкостной хроматографии в последние 10 лет обусловлено интенсивной разработкой теоретических основ и практическим использованием ее высокоэффективного варианта, а также созданием и промышленным выпуском необходимых сорбентов и аппаратуры. В настоящее время ВЭЖХ по темпам развития вышла на первое место среди инструментальных методов, обогнав даже газовую хроматографию.

бензапирен, лабораторные исследования, высокоэффективная жидкостная хроматография

Анализ экологического состояния атмосферного воздуха является одним из наиболее важным и значимым показателем в системе мониторинга окружающей среды.

Бензапирен относится к полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ) и является веществом первого класса опасности. Он образуется при сгорании углеводородного жидкого, твердого и газообразного топлива. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) устойчивы в любой среде и трудно поддаются разрушению. В России имеет ПДК только одно соединение этого класса – бензапирен, наиболее стойкий и сильный канцероген среди ПАУ.

Определение полициклических и летучих ароматических углеводородов в воздухе является одной из трудоемких аналитических задач. Для решения этой задачи используется современный метод – высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ).

На сегодняшний день ВЭЖХ представляет собой развитый инструментальный метод, применяемый в различных областях науки и техники, включая биохимию, молекулярную биологию, экологический мониторинг, а также в химической, нефтехимической, пищевой и фармацевтической отраслях. Быстрое развитие ВЭЖХ способствует постоянному улучшению оборудования и созданию новых сорбентов, позволяющих решать более сложные задачи.

Хроматография – это метод, основанный на разделении смесей веществ, который осуществляется благодаря различиям в их распределении между двумя несмешивающимися фазами. Существуют различные типы ВЭЖХ, такие как адсорбционная, распределительная, ионообменная и эксклюзионная хроматография [1–3].

Адсорбционная хроматография представляет собой процесс взаимодействия определенных веществ с адсорбентами, такими как силикагель или оксид алюминия, обладающими активными центрами на своей поверхности.

В случае распределительной хроматографии компоненты смеси разделяются благодаря различиям в их коэффициентах распределения между двумя несмешивающимися фазами: подвижной (растворитель) и неподвижной (сорбент).

Эксклюзионная хроматография является разновидностью жидкостной хроматографии, где разделение происходит из-за распределения молекул между растворителями, находящимися как внутри пор сорбента, так и между его частицами.

Ацетонитрил обладает несколькими преимуществами по сравнению с метанолом. При соответствующей очистке он демонстрирует лучшую проникающую способность в области ближнего ультрафиолета (ниже 210 нм), что позволяет эффективно работать с водно-ацетонитриловыми смесями при 200 и даже 190 нм. Однако стоит отметить, что его высокая стоимость и токсичность могут служить ограничением для использования.

Определение бензапирена в пробах атмосферного воздуха осуществляется по методике, основанной на измерении массовой концентрации полициклических ароматических углеводородов методом ВЭЖХ с использованием градиентного элюирования, применяя смесь ацетонитрила и воды в пропорции 75:25.

Хроматографические условия для анализа бензапирена представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Хроматографические условия для анализа бензапирена [4]

Температура термостата колонки °С	40
Компонент А	Вода 25%
Компонент В	Ацетонитрил 75%
Продолжительность регистрации хроматограммы, мин	22
Объем вводимой дозы, мм ³	20

Перед выполнением хроматографических измерений бензапирена должны быть проведены следующие работы: подготовка химической посуды и растворителей, приготовление компонентов элюента и градуировоч-

ных растворов, подготовка хроматографа, установление градуировочной характеристики, определение времен удерживания, анализ холостой пробы [4].

Поскольку ПАУ могут разлагаться по действием УФ излучения, все работы с ними проводят в отсутствие прямого солнечного света и люминесцентных ламп [4].

Общая схема устройства высокоэффективного жидкостного хроматографа LC-20 Prominence (Schimadzu) показана на рис. 1.

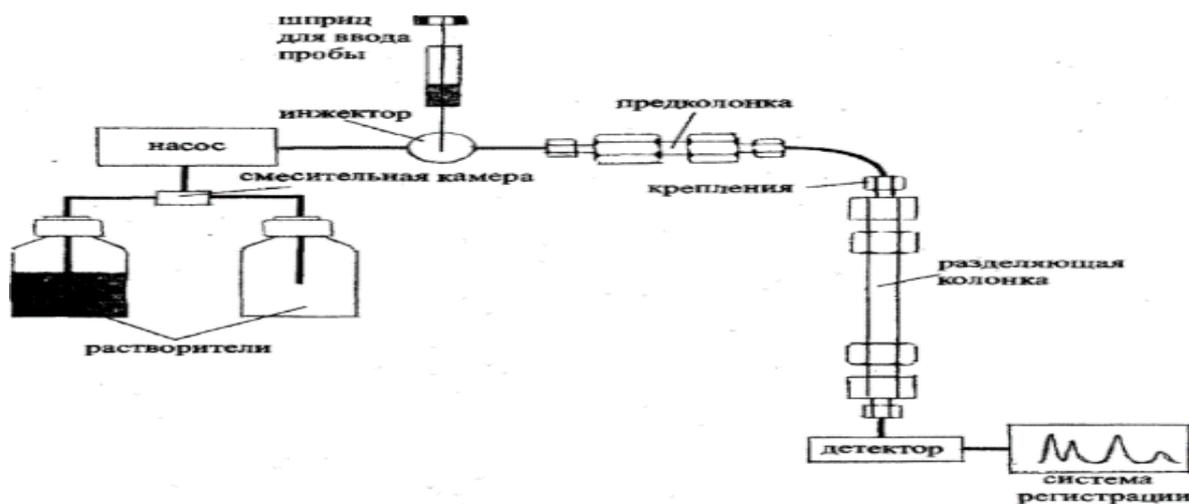


Рис. 1. Схема устройства ВЭЖХ LC-20 Prominence (Schimadzu) [5]

Подготовленную пробу с бензапиреном вводят в хроматограф, где проба проходит через колонку с неподвижной фазой (трубка, заполненная гидрофобным силикагелем) путем прокачки жидкости (смесь ацетонитрила и воды) под высоким давлением через предколонку и разделительную колонку (рис. 2.).

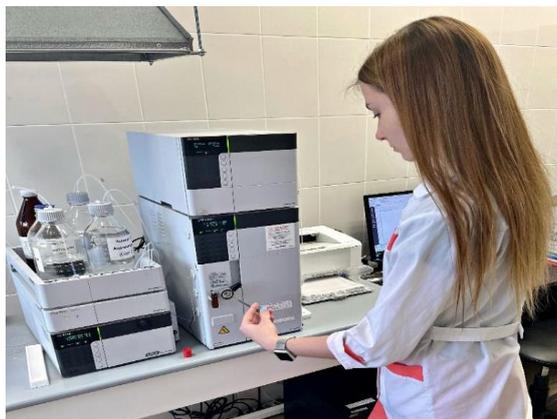


Рис. 2. Ввод пробы в хроматограф

Далее исследуемый образец замедляется за счет химических взаимодействий с неподвижной фазой по мере его прохождения по всей длине разделительной колонки. Время удерживания – это время, за которое аналит элюируется (выходит из конца колонки), это достаточно уникальная идентифицирующая характеристика.

Хроматографические колонки обычно представляют собой трубки, заполненные сорбентом и закрытые с обеих сторон фильтрами с диаметром пор 2–5 мкм.

Также перед аналитической колонкой устанавливают предколонки, которые служат для ее защиты от загрязнений, чтобы продлить срок службы аналитической колонки.

Насос непрерывно пропускает подвижную фазу в колонку с определенной скоростью. Состав подвижной фазы и скорость потока меняются во время анализа.

В ВЭЖХ используются различные методы детектирования. Как правило подвижная фаза с растворенными в ней компонентами после хроматографической колонки попадает в ячейку детектора, где непрерывно измеряется свойство подвижной фазы.

Принцип работы флуориметрического детектора основан на измерении флуоресцентного излучения поглощенного света. Поглощение обычно проводят в ультрафиолетовой области спектра, длины волн флуоресцентного излучения превышают длины волн поглощенного света. Флуориметрические детекторы обладают очень высокой чувствительностью и селективностью [6].

Современная система обработки данных представляет собой программное обеспечение, установленное на персональном компьютере, подключенном к хроматографу, которое записывает и обрабатывает хроматограммы, а также управляет работой хроматографа и контролирует основные параметры хроматографической системы.

Массовую концентрацию бензапирена в каждой пробе воздуха вычисляют по формуле (1):

$$X_{1(2)} = \frac{C \cdot V \cdot 1000}{\alpha \cdot V_0}, \quad (1)$$

где C – показания хроматографа, мкг/см³, α – коэффициент извлечения бензапирена (значение, установленное разработчиком равно 0,87), V – объем ацетонитрила, использованного для растворения сухого остатка ($V = 1$ см³), V_0 – объем отобранного газа, приведенного к н. у., дм³.

Обработку хроматографических данных проводят, идентифицируя каждое соединение по времени удерживания (рис. 3).

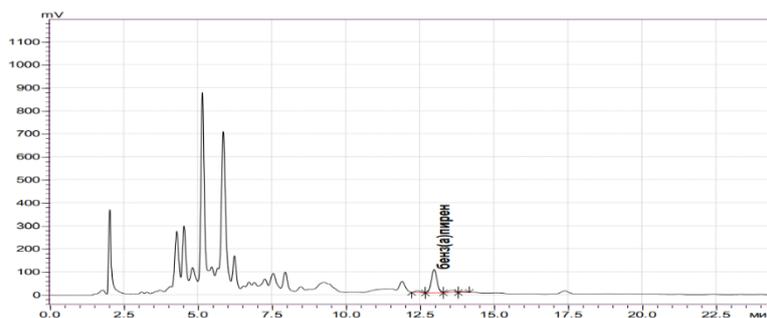


Рис. 3. Хроматограмма бензапирена

ВЭЖХ является широко используемым хроматографическим методом благодаря высокой чувствительности, эффективности, селективности, скорости анализа и возможности автоматизации. ВЭЖХ характеризуется универсальностью, т.е. может использоваться для разделения и количественного определения компонентов смеси в широком диапазоне концентраций.

Список используемых источников

1. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). URL: <https://geum.ru/refdoc/refdoc-809738.php> (дата обращения 22.01.2024).
2. Обращенно-фазовая распределительная хроматография. URL: <https://www.akvilon.ru> (дата обращения 22.01.2024).
3. Эксклюзионная хроматография. URL: https://vuzlit.com/731316/eksklyuzionnaya_hromatografiya (дата обращения 22.01.2024).
4. ООО «Аналит». Методика выполнения измерений массовой концентрации полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе и промышленных выбросов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. СПб.: 2008. 20 с.
5. Жидкостная хроматография. URL: https://studref.com/462626/matematika_himiya_fizik/zhidkostnaya_hromatografiya (дата обращения 20.01.2024).
6. Особенности использования ВЭЖХ в фармацевтике. URL: <https://goaravetisyan.ru/zhidkostnoi-hromatografii-vezhh-osobennosti-ispolzovaniya-metoda/> (дата обращения 20.01.2024).

УДК 681.89
ГРНТИ 47.47.29

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КЛЮЧЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Л. В. Маркова, Г. С. Симонова

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены варианты увеличения выходной мощности низкочастотных передающих устройств с помощью сложения выходных сигналов каналов ключевого усиления с широтно-импульсной модуляцией. Показана целесообразность использования многоканальной широтно-импульсной модуляции для улучшения энергетических и качественных параметров сигналов в многоканальных схемах усиления. Описаны преимущества внедрения многоканальных усилителей класса D с параллельным сложением каналов ключевого усиления и особенности их использования.

ключевой усилитель мощности, широтно-импульсная модуляция, многоканальный усилитель, сложение каналов

Ключевые усилители мощности (КУМ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), в классификации обозначенные, как усилители класса D [1], используются в современной передающей аппаратуре [2–4], как имеющие высокие показатели энергоэффективности, способные стабильно работать в условиях изменяющегося импеданса нагрузки в широкой полосе рабочих частот. Для дальнейшего совершенствования передающих устройств в части энергетических характеристик предлагается увеличение количества каналов ШИМ в условиях наращивания мощности выходного сигнала путем сложения каналов усиления.

Типовым вариантом применения двухканальной ШИМ является реализация усилителя класса BD [1, 5] с оконечными каскадами, выполненными по мостовой схеме. Функциональная схема и временные диаграммы, поясняющие принцип работы усилителя представлены на рис. 1а, б.

Такой усилитель реализован на основе четырех полумостовых трансформаторных сборок (модулей) $VT1$ - $VT4$, включенных в мостовые схемы с емкостным фильтром по шинам электропитания $C1$ и $C2$ и выходным LC фильтром ($L1, L2, L5, C3$ и $L3, L4, L6, C4$). Управление каналами мостовых схем обеспечивается ШИМ-сигналами, формируемыми широтно-импульсным преобразователем $A3$ (ШИП) в соответствии с аналоговым модулирующим сигналом U по командам управления, поступающим от узла управления и контроля $A4$ (УК). ШИМ сигналы передаются для противофазного управления транзисторами модулей $VT1, VT2$ и $VT3, VT4$ через драйверы $A1,$

A2, обеспечивающие гальваническую развязку цепей управления и форсированное противофазное переключение транзисторов с необходимой задержкой включения для устранения сквозных токов транзистор-транзистор.

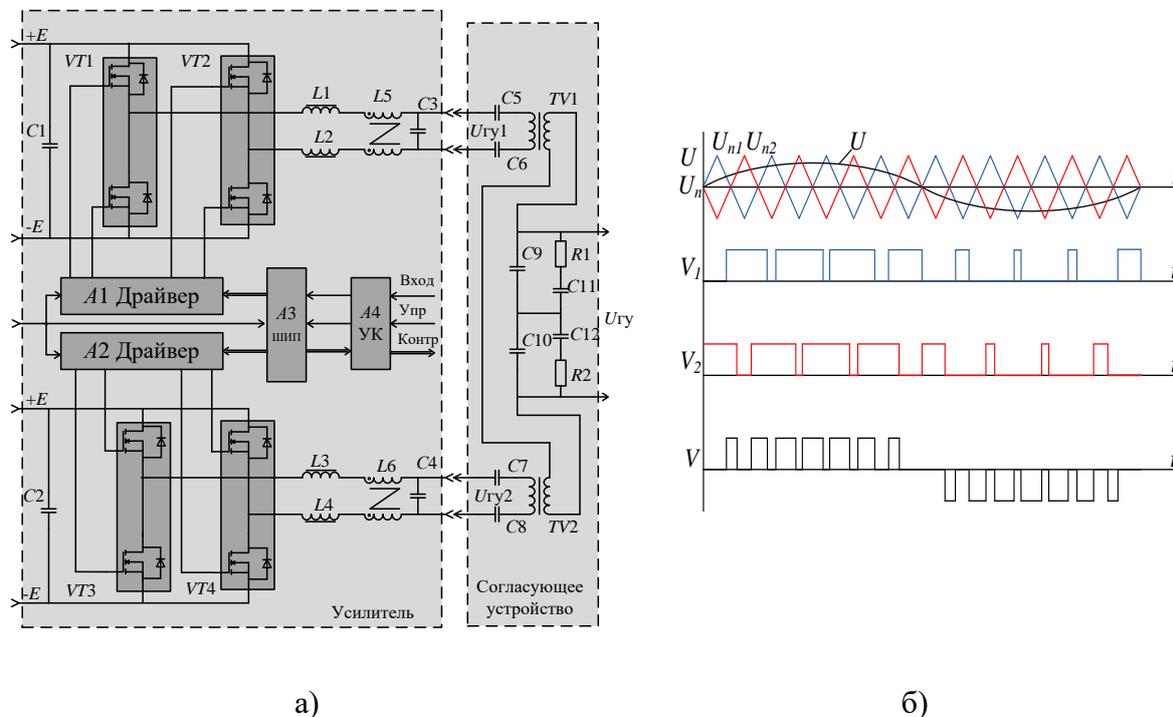


Рис. 1. Функциональная схема усилителя мощности на основе двух мостовых схем с последовательным трансформаторным суммированием выходного сигнала (а) и временные диаграммы, поясняющие его работу (б).

На рис. 1б представлены типовые временные диаграммы сигналов двухканальной ШИМ и импульсных напряжений V_1 , V_2 на выходах каналов усилителя, включенных в мостовую схему, выходное напряжение V которой представлено как результат сложения напряжений V_1 и V_2 . При формировании двухканальной ШИМ по результату сравнения противофазных пилообразных напряжений $U_{П1}$ и $U_{П2}$ с модулирующим сигналом U в диагонали мостовой схемы образуется двухтактное импульсное напряжение V удвоенной частоты, в виде импульсов положительной и отрицательной полярности с амплитудой E (E – напряжение на шинах питания мостовой схемы), соответствующих полярности полуволн модулирующего сигнала. Такое суммарное импульсное напряжение, имеющее улучшенный спектральный состав, может быть передано через выходной LC фильтр на первичную обмотку выходного трансформатора ($TV1$, либо $TV2$) в состав узла согласующего устройства (СУ).

Использование многоканальной ШИМ позволяет существенно улучшить показатели качества усиливаемого сигнала при понижении частоты

переключений отдельных каналов и, соответственно, уменьшении динамических потерь энергии. Здесь определенные сложности связаны с последовательным трансформаторным сложением мощности каналов усиления. Выходной трансформатор имеет паразитные параметры, такие как проходная межобмоточная емкость, собственная емкость обмоток и емкость между обмоткой и магнитопроводом, которые являются причиной заметных потерь энергии при передаче высокочастотных составляющих модулированных импульсных напряжений через широкополосные согласующие трансформаторы большой мощности. Соответственно, для устранения этих потерь необходимо использование ФНЧ в первичных обмотках, что препятствует применению потенциала многоканальной ШИМ. В лучшем случае возможно применение мостовой схемы КУМ с двухканальной ШИМ. Однако и при такой схеме включение габаритных НЧ трансформаторов в состав модуля усложняет проектирование оптимальной топологии усилителя и мешает обеспечению эффективного теплоотвода.

В качестве недостатков мостовых схем ключевого усиления следует отметить следующие особенности:

- ограничение числа каналов ШИМ;
- динамический диапазон усиливаемых сигналов не более 20-30 дБ, ограниченный минимальной длительностью импульсов при необходимой задержке включения транзисторов для устранения сквозных токов;
- повышение мощности только за счет увеличения числа мостовых схем усилителя с трансформаторным выходом, связанное с увеличением количества электромагнитных элементов и, как следствие, увеличением размеров устройства;
- необходимость введения разделительных емкостей на выходах мостовых схем для исключения подмагничивания трансформаторов;
- ограничение верхней частоты диапазона усиливаемых сигналов вследствие ограничения суммарной частоты переключений и увеличения амплитуды высокочастотного тока дросселей ФНЧ.

Указанные сложности реализации многоканальных усилителей могут быть устранены с переходом к параллельной схеме сложения мощности каналов усиления и выделения единого мощного низкочастотного трансформатора в отдельный узел, топологически и конструктивно не связанный с усилительным каскадом. Однако в этом случае необходимо решить задачу выравнивания выходных токов отдельных каналов в условиях сохранения требований к усилителю мощности, как генератору заданного входным сигналом выходного напряжения с равномерной АЧХ и линейным изменением ФЧХ усиленного сигнала. При этом представляет интерес рассмотрение трехканальной схемы параллельного сложения, позволяющей наиболее полно реализовать потенциал многоканальной ШИМ [6]. Причем два таких

трехканальных узла КУМ предполагается включить в мостовую схему, где возможна реализация результирующей шестиканальной ШИМ.

Функциональная схема усилителя мощности на основе параллельного сложения трех каналов КУМ с возможностью получения 6-канальной ШИМ и временные диаграммы сигналов, поясняющие его работу, приведены на рис. 2а, б.

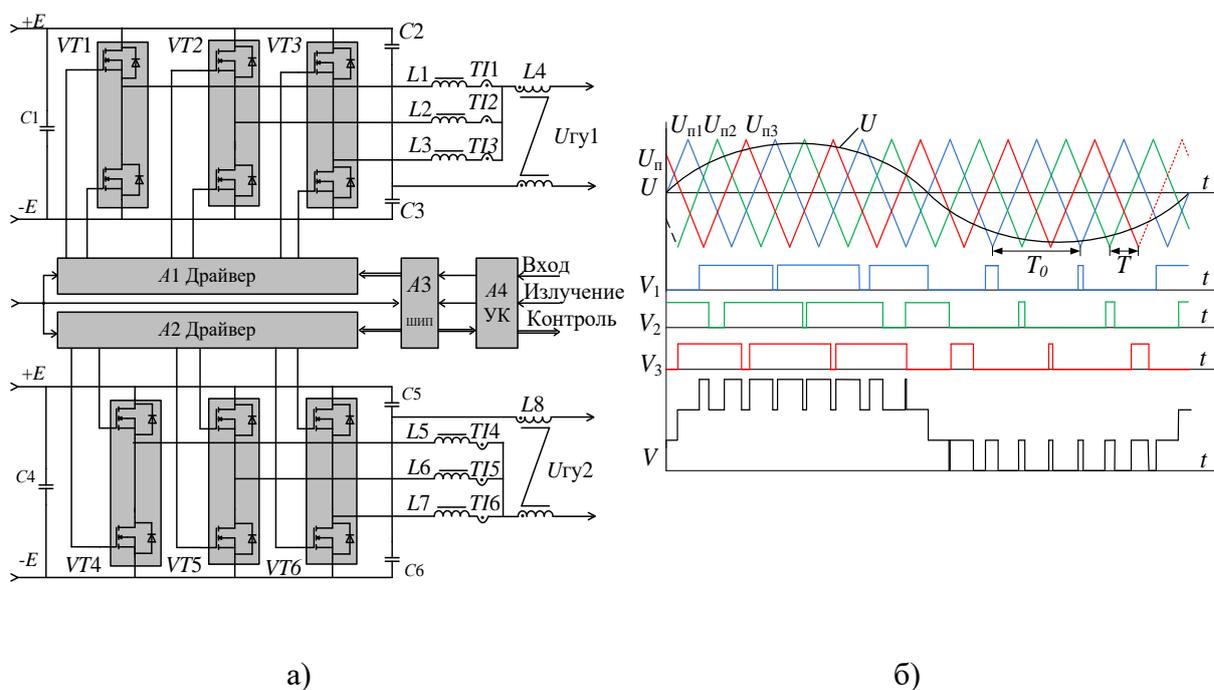


Рис. 2. Функциональная схема усилителя мощности на основе трехканальных КУМ с параллельным индуктивным суммированием (а) и диаграммы, поясняющие его работу (б).

Базовой схемой реализации такого технического решения является параллельное включение трех полумостовых схем КУМ $VT1, VT2, VT3$ и $VT4, VT5, VT6$ через дроссели $L1, L2, L3$ и $L5, L6, L7$ на выход соответствующего канала ГУ для формирования напряжений $U_{ГУ1}$ и $U_{ГУ2}$ относительно средних точек емкостных делителей $C2, C3$ и $C5, C6$.

Для данного варианта используется потенциал трехканальной ШИМ при формировании импульсных последовательностей $V1, V2, V3$ (рис. 2б) посредством сравнения усиливаемого сигнала U с пилообразными напряжениями $U_{П1}, U_{П2}, U_{П3}$, равномерно сдвинутыми по фазе. При этом результат суммирования усиленных сигналов $V1, V2, V3$ есть импульсное напряжение V утроенной частоты с размахом, равным напряжению питания E .

Дополнительным преимуществом параллельной схемы сложения полумостовых схем с подключением первичной обмотки трансформатора к средней точке емкостного делителя, включенного между шинами электропитания

КУМ, является то, что данная реализация позволяет исключить необходимость использования дополнительного разделительного конденсатора.

Несмотря на ряд достоинств, параллельная схема КУМ до настоящего времени не использовалась на практике. Основным препятствием внедрения такого технического решения является необходимость выравнивания НЧ токов через дроссели ФНЧ в условиях возможности неограниченного протекания тока между параллельно включенными каналами при нарушении баланса ШИМ отдельных каналов. Для решения задачи управляемого баланса токов предполагаются работы по математическому и физическому моделированию процессов в трехканальном КУМ с введением обратных связей по выходному току отдельных каналов.

Список используемых источников

1. Артым А. Д. Усилители класса D и ключевые генераторы в радиосвязи и радиовещании. М.: Связь, 1980. 207 с.
2. Полов К. П. Об усилителях класса D // Радиотехника и электроника, 1975. № 8. С. 1646–1650.
3. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника. Состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004. 410 с.
4. Александров В. А., Маркова Л. В., Казаков Ю. В. Принципы проектирования модулей ключевых усилителей мощности гидроакустических передающих трактов // Гидроакустика, 2022. Вып. 49 (1). С. 11–19.
5. US №20030122615A1 Improved Class BD Amplifier. (Published 2003.01.03).
6. RU №2794346 Усилитель класса D (Опубл. 17.04.2023).

УДК 621.391.82
ГРНТИ 47.05.07

К ВОПРОСУ О ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛИНИИ

В. А. Мешалкин, В. А. Сырбул, Д. Ф. Ткачев, А. М. Шанин

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассмотрены вопросы функционирования радиолинии при воздействии непреднамеренных помех с определением вероятностно-временных показателей. При этом рассматривается переход работоспособного состояния линии, как постепенный процесс. Рассмотрена зависимость q_n от h_n и представлен граф переходов радиолинии из одного состояния в другое. Так же рассмотрен коэффициент готовности радиолинии с автоматической адаптацией.

коэффициент готовности радиолинии, помеха, непреднамеренные помехи, помехозащитность, радиолинии

Оценка электромагнитной совместимости комплексов средств радиосвязи выполняется по вероятностно-временным показателям функционирования радиолинии, например, коэффициент готовности. Коэффициент готовности представлен отказами связи в виде случайных событий, при совпадении момента приема сигнала и непреднамеренных помех от излучений соседних передатчиков в других радиолиниях. Отказ связи при этом произойдет при отклонении допустимого отношения сигнал/помеха в случае превышения мощности непреднамеренной помехи в тракте радиоприемника.

Значение коэффициента готовности, приведенное в [1–3], получено при условии «скачкообразном» изменении работоспособного состояния радиолинии. Все это является частным случаем постепенного перехода работоспособного состояния радиолинии.

Связав n -ое состояние радиолинии h_n с соотношением сигнал/помеха, по величине h_n можно идентифицировать энергетические состояния с различной модуляцией и градацией заданного качества q_n приема сообщений [4].

Процесс воздействия непреднамеренных помех сопровождается переходом состояния радиолинии при случайном изменении отношения сигнал/помеха и соответствующем переключении режима работы. Диапазон изменения допустимых отношений h_n может составлять 20 – 30 дБ [5].

Качественно зависимость q_n от h_n и граф переходов радиолинии из одного состояния в другое можно представить в виде, показанном на рис. 1.

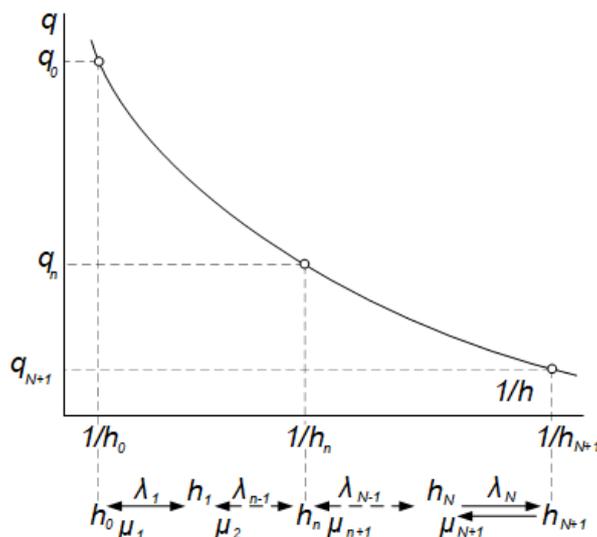


Рис. 1. Граф переходов радиолинии из одного состояния в другое

Из рис. 1 следует, что с увеличением уровня непреднамеренных помех, снижается качество q_n принимаемых сообщений. Таким образом, граф состояний радиолинии, показанный на рис. 1, описывает процесс ее функционирования в условиях воздействия непреднамеренных помех. Количественно каждое состояние радиолинии характеризуется вероятностью p_n и интенсивностями переходов λ_n, μ_n в другие состояния, которые образуют систему однородных уравнений [6, 7]. Решение системы однородных уравнений, относительно p_n , находится как:

$$p_n = \frac{D_n}{\Delta_N}, \quad (1)$$

где определители Δ_N, D_n имеют вид:

$$\Delta_N = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 1 \\ -\lambda_0 & \mu_1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_0 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \mu_n & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & -(\lambda_n + \mu_n) & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \mu_N & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & -(\lambda_N + \mu_N) & \mu_{N+1} \end{vmatrix},$$

$$D_n = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 1 \\ -\lambda_0 & \mu_1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_0 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \mu_N & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & -(\lambda_N + \mu_N) & \mu_{N+1} \end{vmatrix}.$$

Коэффициент готовности радиолинии, функционирующей в условиях воздействия непреднамеренных помех, определяется как:

$$K = 1 - \sum_{n=1}^{N+1} p_n. \quad (2)$$

На основании (1) коэффициент готовности радиолинии с автоматической адаптацией:

$$K = 1 - \frac{D_{N+1}}{\Delta_N}, \quad (3)$$

где D_{n+1} – значение D_n при $n=N+1$.

Решая (3) для начальных номеров N , получены следующие выражения:

$$K_0 = \frac{T_0}{T_0 + \tau_1}, \quad N = 0; \quad (4)$$

$$K_1 = \frac{T_0 + \tau_1}{T_0 + \tau_1 + \tau_2 \frac{\tau_1}{T_1}}, \quad N = 1; \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{T_0 + \tau_1 \tau_2 \frac{\tau_1}{T_1}}{T_0 + \tau_1 + \tau_2 \frac{\tau_1}{T_1} + \tau_3 \frac{\tau_1 \tau_2}{T_1 T_2}}, \quad N = 2, \quad (6)$$

где $\tau_{1,2,3} = 1/\mu_{1,2,3}$ – среднее значение длительности непреднамеренной помехи при $n=1, 2, 3$; $T_{0,1,2} = 1/\lambda_{0,1,2}$ – среднее значение паузы между моментами воздействия помех при $n = 0, 1, 2$.

В результате решения выражения (1) и определения коэффициента готовности K по выражению (3), при условии соизмеримости времени коммутации режимов работы радиолинии с длительностью помехи, получены следующие соотношения:

$$K_1 = T_0 (T_0 + \tau_{к1} + \tau_2 \frac{\tau_{к1}}{T_1})^{-1}, \quad N = 1; \quad (7)$$

$$K_2 = T_0 (T_0 + \tau_{к1} + \tau_2 \frac{\tau_{к1}}{T_1} + \tau_3 \frac{\tau_{к1} \tau_{к2}}{T_2})^{-1}, \quad N = 2, \quad (8)$$

где $\tau_{к1,2}$ – средние значения времени коммутации режимов работы радиолинии при $n = 1, 2$.

На рис. 2 показана рассчитанная по выражениям (4) – (6) зависимость коэффициента готовности радиолинии от числа N при условиях $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau$, $T_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T$ для соотношений $\tau/T = 0,3$ (кривая 1); 0,4 (кривая 2); 0,5 (кривая 3).

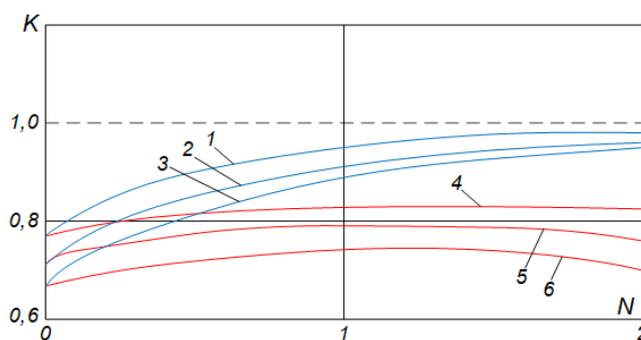


Рис. 2. График зависимости коэффициента готовности радиолинии от числа N

Кривые 4, 5, 6 рассчитаны по выражениям (9), (10) при тех же условиях и соотношении $\tau_{k1} = \tau_{k2} = \tau_k = 0,5\tau$. При уменьшении отношения τ_k/τ кривые 4, 5, 6 приближаются соответственной к кривым 1, 2, 3.

Таким образом, как видно из рис. 2, значение коэффициента готовности при $N = 0$ может быть существенно уточнено при учете числа состояний радиолинии в соответствии с выражением (2), которые характеризуют ее помехозащищенность и качество приема сообщений при воздействии непреднамеренных помех.

Список используемых источников

1. Шанин А. М. Модель передающего радицентра на основе принципа электродинамического подобия // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму, 2023. № 5–6 (179–180). С. 71–78.

2. Шанин А. М. Взаимное влияние элементов защищенных активных фазированных антенных решеток // Теория и техника радиосвязи, 2022. № 4. С. 73–79.

3. Шанин А. М., Мешалкин В. А., Пилюгин А. А., Пашкевич В. Д. Базовый излучатель активной фазированной антенной решетки в полупроводящем полупространстве // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму, 2023. № 7–8 (181–182). С. 9–14.

4. Чечкенов А. О., Шанин А. М., Полегейко А. В. Анализ надежности адаптивных цифровых антенных решеток // Современные тенденции инженерного образования: Сборник материалов научно-практической конференции // СПб.: 2023. С. 369–373.

5. Романов А. А., Шанин А. М., Набойченко С. А. Применение цифрового двойника для повышения надежности системы связи // Современные тенденции инженерного образования: Сборник материалов научно-практической конференции // СПб.: 2023. С. 313–315.

6. Коньков Д. И., Кудрявцева Ю. А., Чечкенов А. О., Шанин А. М. Перспективы внедрения адаптивных цифровых антенных решеток в наземные системы управления и анализ их надежности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 347–350.

7. Панчак В. П., Шанин А. М. Улучшение передающего радицентра с использованием активных фазированных антенных решеток // Технологии. Инновации. Связь. материалы научно-практической конференции. СПб., 2023. С. 351–355.

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Д. И. Милосердов¹, А. А. Хренов²¹ Центра системного анализа и моделирования АО «НТЦ РЭБ»² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Значительное внимание в последнее время уделяется решению задачи обнаружения беспилотных воздушных судов. Для этого может применяться метод, заключающийся в обработке спектрограмм нейронными сетями семейства YOLO. Такой подход позволяет в реальном времени определять присутствие радиосигналов, классифицировать их и определять частотно-временные параметры, однако в сложной радиоэлектронной обстановке точность обнаружения остается недостаточно высокой. Для решения этой проблемы предлагается метод двухступенчатого обнаружения, который позволяет существенно повысить точность обнаружения радиосигналов беспилотных воздушных судов в сложной радиоэлектронной обстановке.

беспилотное воздушное судно, обнаружение, нейронные сети, классификатор

Задача обнаружения беспилотных воздушных судов (БВС) является актуальной в силу большого числа инцидентов, связанных с ними [1]. Методы обнаружения БВС составляют 4 основные группы: визуальный, акустический, радиолокационный и радиотехнический [2]. Среди радиотехнических методов обнаружения известен метод, заключающийся в обработке спектрограмм нейронными сетями семейства YOLO [3,4], который позволяет в реальном времени определять присутствие радиосигналов с отнесением их к известному классу и определением частотно-временных параметров. Примеры работы YOLO на радиосигналах БВС представлены на рисунке 1.

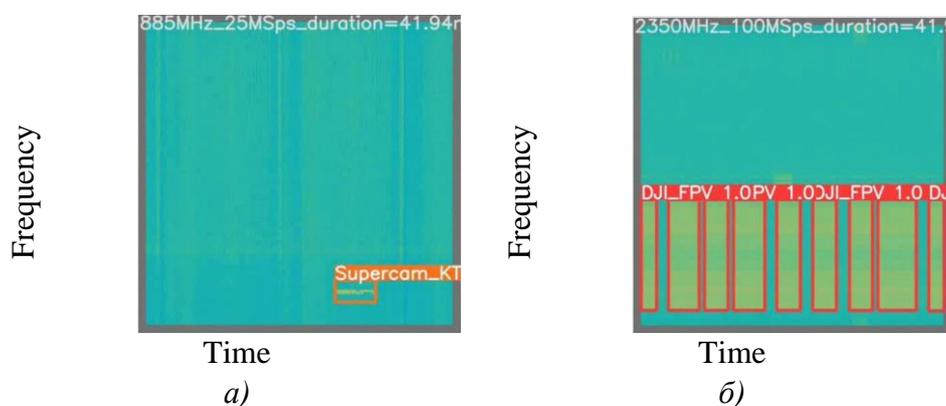


Рис. 1. Примеры работы YOLO на радиосигналах БВС в диапазонах: 850-950 МГц (а) и 2400-2500 МГц (б)

YOLO (You Only Look Once) – архитектура сверточной нейронной сети, изначально предназначенная для детектирования объектов на изображениях. Она способна выполнять обнаружение известных ей объектов на картинке с отнесением к классу и определением ограничивающих рамок. Ключевой особенностью «YOLO» является обработка изображений «в один проход», что делает ее одной из самых быстрых архитектур подобного класса [5].

Однако зачастую обнаружению сигналов препятствует сложная радиоэлектронная обстановка (РЭО) и, как следствие, точность обнаружения невысока. Для решения этой проблемы предлагается метод двухступенчатого обнаружения. Как и в известном методе, YOLO обучается на обнаружение сигналов БВС. В то же время, для каждого из известных классов на основе модели YOLO-cls обучается свой классификатор присутствия/отсутствия сигнала. Во время работы после первичного обнаружения сигнала выполняется дополнительная классификация, подтверждающая либо опровергающая наличие сигнала. Предлагаемый метод позволяет существенно повысить точность обнаружения радиосигналов БВС в сложной РЭО. Структурная схема и этапы нейросетевой обработки YOLO представлены на рисунке 2.

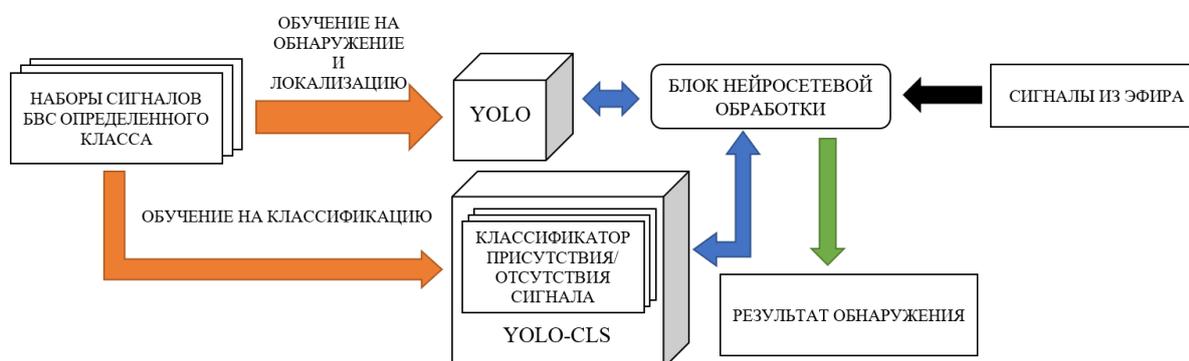


Рис. 2. Этапы нейросетевой обработки YOLO

В целях проверки эффективности метода обнаружения с классификацией проводился эксперимент. На экспериментальном стенде комплекса обнаружения и сопровождения БВС «Матрица», использующем базовый метод обнаружения сигналов нейронной сетью YOLO, в течение двух дней сохранялась информация о ложных срабатываниях. Затем полученный набор был отфильтрован по интересующим классам сигналов и разделен на две части. Под обучение была отведена часть набора, накопленная в течение первых суток, под тестирование – часть набора, которая накапливалась еще сутки через несколько дней. Для проверки были выбраны сигналы следующих классов:

- канал управления Лелека-100 (рис. 3, а);

- имитатор видео Орлан-10 (рис. 3, б);
- канал управления DJI Mini (рис. 3, в);
- канал управления Орлан-10;
- канал управления X8.

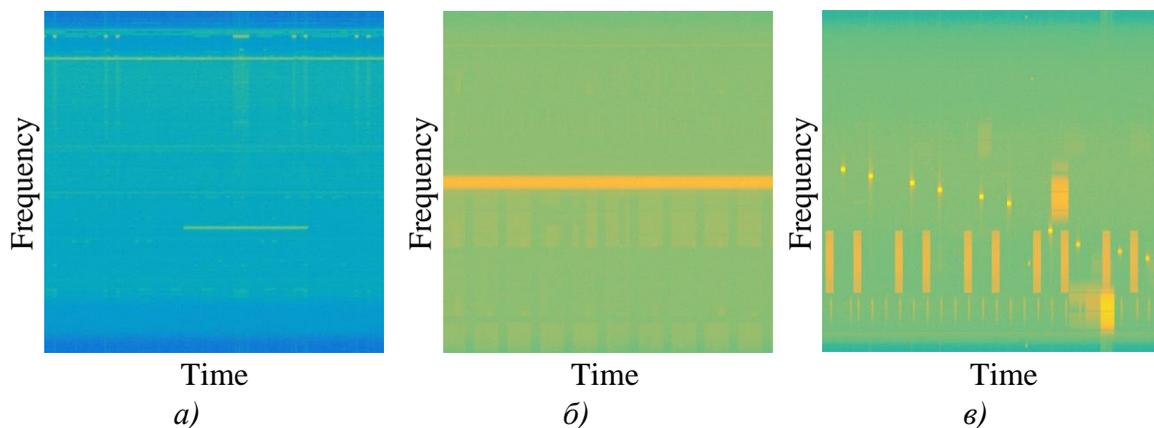


Рис. 3. Примеры спектрограмм, содержащих сигналы БВС некоторых классов

Обучающая часть набора использовалась для обучения классификаторов. Классу отсутствия сигнала соответствовали спектрограммы с ложными срабатываниями, а классу присутствия сигнала – спектрограммы, сгенерированные на основе эталонных сигналов. Затем в ПО экспериментального стенда были внесены изменения, предусматривающие подключение моделей-классификаторов и использование их для уточнения обнаружений.

Для оценки точности обнаружения сигналов с классификатором и без классификатора на тестовой части набора ложных срабатываний использовался показатель числа ложных срабатываний (FP num). Также для тестирования использовался обучающий набор модели-обнаружителя. Точность по этой части набора оценивалась метриками Precision и Recall:

– P (Precision) – доля правильно обнаруженных объектов среди всех обнаружений:

$$P = \frac{TP}{TP + FP};$$

– R (Recall) – доля правильно обнаруженных объектов среди всех объектов:

$$R = \frac{TP}{TP + FN},$$

где TP – true positives, FN – false negatives, FP – false positives.

Все эксперименты проводились с порогом обнаружения 0,6, IoU (англ. Intersection over Union, пересечение над объединением) = 0,5.

Результаты приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты тестирования

	Без классификатора			С классификатором		
	Precision	Recall	FP num	Precision	Recall	FP num
Leleka (400)	0,20	0,87	682	0,57	0,82	115
Orlan_Imitator (900)	0,42	0,90	157	0,46	0,88	130
DJI_Mini_Ktr (5800)	0,75	0,95	289	0,91	0,95	1
Orlan_Ktr	0,28	0,83	687	0,47	0,82	289
X8_NPU	0,50	0,84	126	0,83	0,79	22

Как видно из таблицы 1, использование двухступенчатого обнаружения позволяет существенно снизить количество ложных срабатываний и приводит к значительному увеличению точности, при этом вероятность пропуска повышается незначительно. Время обработки при двухступенчатом обнаружении по сравнению с обычным возрастает примерно на 10 %.

Выводы

В настоящей работе предложен, программно реализован и протестирован на реальной радиоэлектронной обстановке в г. Москве метод обнаружения радиосигналов БВС, заключающийся в двухступенчатом использовании известной архитектуры нейронной сети YOLO. На первом этапе используется модификация YOLO для обнаружения и локализации объектов, что позволяет по спектрограмме выделить предполагаемые сигналы БВС с отнесением их к известному классу. На втором этапе обнаруженные сигналы проверяются соответствующим им классификатором YOLO-cls, подтверждающим либо опровергающим наличие обнаруженного сигнала. Показано, что предложенный метод позволяет существенно повысить точность обнаружения при незначительном повышении вероятности ложного срабатывания и времени обработки сигнала.

Список используемых источников:

1. Кондрякова М. А. Проблемы обнаружения и борьбы с беспилотными воздушными судами // ББК 2/8 И 88. 2023. С. 37.
2. Khan M. A. et al. On the detection of unauthorized drones – Techniques and future perspectives: A review // IEEE Sensors Journal. 2022. Т. 22. №. 12. С. 11439–11455.
3. Aditya Sharma. Introduction to the YOLO Family URL: <https://pyimagesearch.com/2022/04/04/introduction-to-the-yolo-family> (Дата обращения: 08.02.2024).
4. Jiang P. et al. A Review of Yolo algorithm developments // Procedia Computer Science, 2022. Vol. 199. PP. 1066 01501073. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135>.
5. Redmon J. et al. You only look once: Unified, real-time object detection // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016. PP. 779–788.

УДК 621.396.967
ГРНТИ 47.49.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОЙ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СИГНАЛА 5G ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ПОЛУАКТИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Т. В. Нгуен

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Полуактивные радиолокационные системы, также называемые пассивными системами когерентного определения местоположения, используют для обнаружения и сопровождения объектов сторонние источники радиоизлучения. За последние несколько лет система мобильной связи пятого поколения 5G получила бурное развитие. Сигнал нисходящей линии связи, передаваемый от базовой станции 5G, обладает интересными свойствами при его использовании в качестве сигнала подсвета для полуактивных радиолокационных систем. Чтобы получить некоторые оценки эффективности, в данной работе анализируется функция неопределенности сигнала 5G с помощью модели в MATLAB, основанной на библиотеке 5G Toolbox. Результаты моделирования показали, что сигнал 5G имеет хорошие характеристики с точки зрения разрешения по дальности и скорости.

полуактивная радиолокация, сигнал подсвета 5G, взаимная функция неопределенности

Работа полуактивных радиолокационных систем (ПАРЛС), основана на использовании в качестве передатчиков сторонних источников электромагнитного излучения. Наиболее часто в качестве сигналов подсвета для ПАРЛС используются FM-радио, передатчики DAB, передатчики DVB-T, базовые станции GSM, сети Wi-Fi, спутники DVB-S, сигналы на базе GNSS, LTE и Starlink и т. д. Некоторые из наиболее интересных применений этих систем включают: исследование атмосферы, морское и воздушное наблюдение, океанографию, мониторинг общественных мест, таких как железнодорожные вокзалы и терминалы аэропортов [1, 2].

Из-за постоянных модификаций и инноваций в стандартах связи, таких как те, которые представлены в стандарте 5G New Radio (NR), открыты возможности для дальнейшего развития ПАРЛС. Новый стандарт сотовой связи 5G применяется во многих странах, в том числе и в России. В конце января 2024 года правительство РФ утвердило диапазон частот 4.4–4.99 ГГц, на которых будут работать 5G-сети в России [3]. По техническому стандарту 3GPP к диапазону 4,4–4,99 ГГц относится полоса n79 (4.4–5.0 ГГц). 5G-сети пока еще не являются коммерчески распространенными в

России. Исследования ПАРЛС с использованием сигнала подсвета 5G путем моделирования позволяет определить потенциальные характеристики таких систем.

В 5G-NR используются OFDM поднесущие с различной шириной спектра. В диапазоне частот n79 допустимые ширины полосы пропускания и ширины спектра поднесущих приведены в таблице 1 [4].

ТАБЛИЦА 1. Ширины полосы пропускания и ширины спектра поднесущих

Диапазон частоты	Поднесущие	Ширина полосы пропускания (МГц)				
n79 (4.4–5.0 ГГц)	15 (кГц)	40	50			
	30 (кГц)	40	50	60	80	100
	60 (кГц)	40	50	60	80	100

Метод генерации группового сигнала 5G показан в 3GPP TS38.211 [5]. Чтобы облегчить проверку алгоритма в этой статье, метод генерации базового сигнала 5G будет упрощен, параметры конфигурации удалены, а необходимые параметры для генерации формы сигнала 5G сохранены. Упрощенный метод генерации основной полосы сигнала 5G выглядит следующим образом:

$$x(t) = \sum_{m=0}^{N_{sub}-1} a(m)e^{j2\pi(m+m_0)\Delta f(t-T_{cp})}, \quad (1)$$

где, $x_r(t)$ – непрерывный аналоговый сигнал основной полосы частот во временной области, N_{sub} – количество поднесущих, m_0 – начальное смещение частоты, Δf – ширина спектра поднесущих, T_{cp} – время циклического префикса.

В практическом применении сигнал базовой полосы 5G представляет собой дискретный цифровой сигнал. Чтобы соответствовать реальной ситуации, раскрывается базовый сигнал 5G:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^{N_{sub}-1} a(k)e^{j2\pi(k+k_0)\Delta f(nT-T_{cp})}, \quad (2)$$

где, T – интервал выборки модулирующего сигнала.

На рисунке 1 представлен сигнал 5G CP-OFDM во временной области с поднесущими частотами $\Delta f = 30$ кГц и шириной полосы пропускания $\Delta f_0 = 40$ МГц, полученный путем использования MATLAB 5G Toolbox. Длительность каждого OFDM символа равна сумме продолжительности символа $T_c = 1/\Delta f = 33.33$ мкс и длительности защитного временного интервала T_{cp} , где $T_{cp,i=0} = 2.86$ мкс для первого символа и $T_{cp,i \neq 0} = 2.34$ мкс для остальных символов. Интервал выборки модулирующего сигнала $T = 1/f_s$, где $f_s = 61.44$ МГц – частота дискретизации.

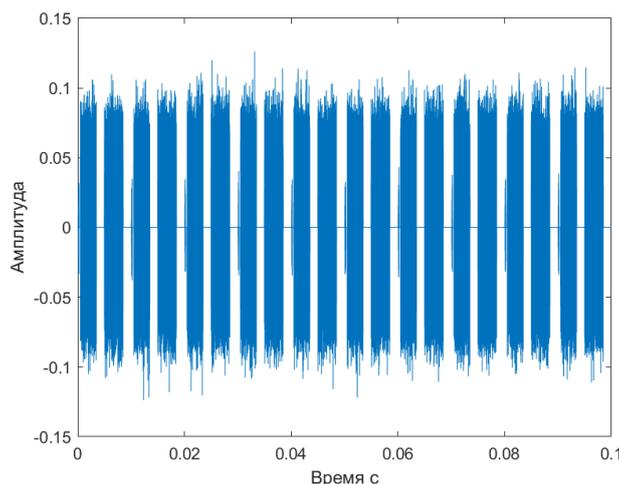


Рис. 1. 5G сигнал во временной области

Вычисление взаимной функции неопределенности (ВФН) сигналов опорного канала и канала наблюдения является ключевым и специфическим для ПАРЛС [1,2]. В ВФН сравниваются два сигнала: задержанный и смещенной по доплеровской частоте опорный сигнал $x_r(t)$ и эхо-сигнал $x_s(t)$. Измерения дальности и доплеровского сдвига происходят одновременно. На рисунке 2 показан процесс вычисления ВФН.



Рис. 2. Процесс вычисления ВФН

ВФН сигналов опорного канала $x_r(t)$ и канала наблюдения $x_s(t)$ имеет вид:

$$\chi(m, k) = \sum_{i=0}^{N-1} x_s(i) x_r^*(i-m) e^{-j2\pi i k / N}, \quad (3)$$

где, $m=0, \dots, M-1$ – номер элемента дальности (задержки), M – число элементов дальности, $k=-K, -K+1, \dots, K-1, K$ – номер доплеровского канала, $2K+1$ – число доплеровских каналов.

Другой подход к расчету ВФН основан на понимании того, что (3) можно рассматривать как корреляцию двух сигналов:

$$y_1(i) = x_s(i), \quad (4)$$

$$y_2^k(i) = x_r(i) \cdot \exp(-j2\pi i k / N). \quad (5)$$

При этом расчет ВФН осуществляем следующей операцией:

$$\chi(m, k) = \text{COR}\{y_1(i), y_2^k(i)\}, \quad (6)$$

где $\text{COR}\{\cdot\}$ – оператор взаимной корреляции.

Взаимная корреляция может быть реализована путем вычисления БПФ двух сигналов, умножения результатов и выполнения обратного БПФ:

$$\chi(m, k) = \text{IFFT}\{\text{FFT}\{y_1(i)\}\text{FFT}^*\{y_2^k(i)\}\}, \quad (7)$$

где $\text{IFFT}\{\cdot\}$ – оператор обратного быстрого преобразования Фурье.

Из-за длительного времени накопления, обычно используемого в ПАРЛС, порядка долей секунды или нескольких секунд, достигается высокое разрешение по частоте. В данной работе длительность времени накопления равно $T_n = 0.1$ с, соответственно, количества отчетов $N = 6144000$ с интервалом в 10 Гц.

В работе [6], содержащей результаты анализа возможности развития полуактивной радиолокации с сигналом подсвета 5G, показано, что источник сигнала 5G NR можно использовать в качестве хорошего передатчика для полуактивных радиолокационных систем на относительно небольших территориях. В данной работе оценка возможности сигнала 5G для полуактивной радиолокационной системы реализуется путем анализа ВФН. Пусть два транспортных средства движутся близко друг к другу на расстоянии меньше 1200 м, со скоростями $v_1 = 50$ км/ч и $v_2 = 52$ км/ч.

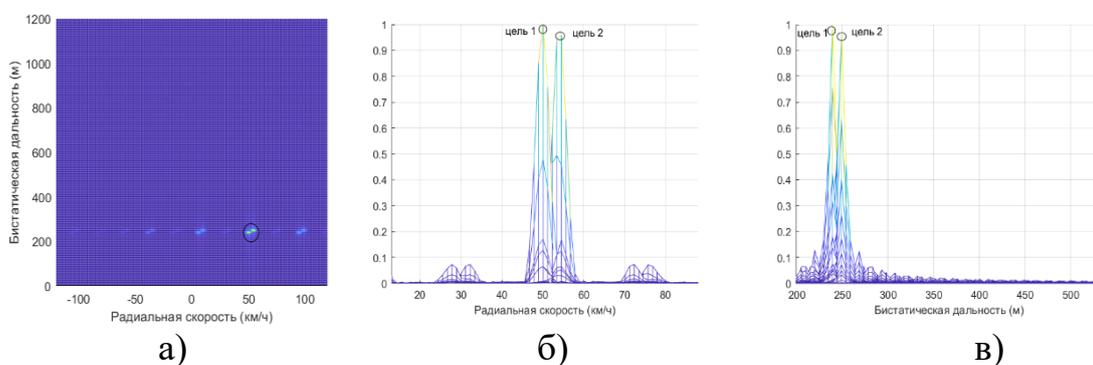


Рис. 3. Результат моделирования

Результат моделирования обработки сигналов полуактивной РЛС на основе вычисления ВФН представлен на рисунке 3. Видно, что обе цели хорошо разрешаются по дальности и скорости.

Это исследование подчеркивает эффективность использования сигнала 5G NR в качестве сигнала подсвета для обнаружения целей полуактивной радиолокации. Сигнал 5G имеет хорошие характеристики с точки зрения разрешения по дальности и скорости. Новые сигналы подсвета открывают дополнительные пути развития ПАРЛС с целью обеспечения безопасности

движения транспорта, контроля движения на железнодорожных переездах, в охранных системах.

Список используемых источников

1. Бархатов А. В. Пассивная когерентная радиолокация. // А. В. Бархатов, В. И. Веремьев, Е. Н. Воробьев, А. А. Коновалов и др. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. 163 с.
2. Mateusz Malanowski “Signal Processing for Passive Bistatic Radar”, London: Artech House, 380 pp., 2019.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 января 2024 г. № 75-5 «Изменения, которые вносятся в Таблицу распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации».
4. 3GPP TS 38.104. NR “Base Station (BS) radio transmission and reception”. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3202> (дата обращения 22.03.2024).
5. 3GPP TS 38.211. NR “Physical channels and modulation”. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3213> (дата обращения 22.03.2024).
6. Веремьев В. И. Сигнал 5G в качестве источника подсвета для полуактивной радиолокации / В. И. Веремьев, В. М. Кутузов, Т. В. Нгуен // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т., СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 117-121. – EDN CTHWWF.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой РС СПбГЭТУ «ЛЭТИ», доктором технических наук, профессором В.М. Кутузовым.

УДК 621.311.6
ГРНТИ 47.59.39

ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ПРИБОРА ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Н. А. Осин¹, С. В. Перелыгин^{2,3}

¹ ООО «НПП «Мелитта», Москва, Россия

² Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

³ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрены особенности источников вторичного электропитания (ИВЭП) для светодиодных приборов. Представлена структура ИВЭП на основе топологии обратного преобразователя, приведена разработанная авторами его электрическая схема. Проиллюстрированы отдельные этапы сборки макета ИВЭП и его проверки, получены численные значения эксплуатационных параметров ИВЭП.

источник вторичного электропитания, светодиод, обратноходовой преобразователь, макет, печатная плата

Введение

С развитием полупроводниковых технологий производители светотехнических приборов переходят с дуговых ламп и ламп накаливания на светодиодную технологию, требующую специальные источники вторичного электропитания (ИВЭП). Основные требования к ИВЭП прибора художественного освещения [1–3]:

1. Для исключения саморазогрева светодиода, приводящего к его выходу из строя, требуется обеспечить его электропитание источником стабильного тока. Кроме того, практически мгновенная реакция светодиода на все изменения тока вызывает появление пульсаций светового потока, негативно воздействующих на психическое и физическое состояние человека.

2. Оформление светотехнических шоу зачастую подразумевает применение специальных эффектов со светом (мерцание, стробоскопический эффект). Необходимо обеспечить стабильную работу ИВЭП при переменной (быстро изменяющейся) нагрузке.

3. Прибор художественного освещения должен соответствовать требованиям электробезопасности и электромагнитной совместимости.

Проект ИВЭП

В [3–5] рассмотрены основные топологии ИВЭП, их достоинства и недостатки. Для матрицы светодиодов мощностью 60÷100 Вт оптимальным с позиции надежности и эксплуатационных параметров является *обратноходовой* ИВЭП. Разрабатываемый ИВЭП должен соответствовать следующим требованиям [3]:

- выходное напряжение 34 В и выходной ток 3,1 А;
- стабилизация выходного тока и напряжения;
- защита от низкого и высокого входного напряжения;
- возможность работать в однофазной сети электропитания вне зависимости от национального стандарта сетевого напряжения;
- электромагнитная совместимость и гальваническая развязка входа с выходом для безопасности обслуживающего персонала.

Для обеспечения вышеописанных требований необходимо, чтобы в состав блока питания входили следующие 4 элемента [1-2]: сетевой фильтр, активный корректор коэффициента мощности (АККМ), блок питания для системы управления ИВЭП, обратноходовой преобразователь.

На рисунке 1 приведена структурная схема ИВЭП.



Рис. 1. Структурная схема ИВЭП

Моделирование и реализация макета ИВЭП

На основании расчетов, проведенных авторами, и для проверки работоспособности ИВЭП, было произведено его натурное макетирование, позволяющее проводить тестирование ИВЭП в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Перед началом проектирования печатной платы моделируются ее отдельные узлы, что позволяет проверить соответствие принципиальной схеме и выявить возможные ошибки и недочеты в схеме на ранней стадии разработки (рис. 2).

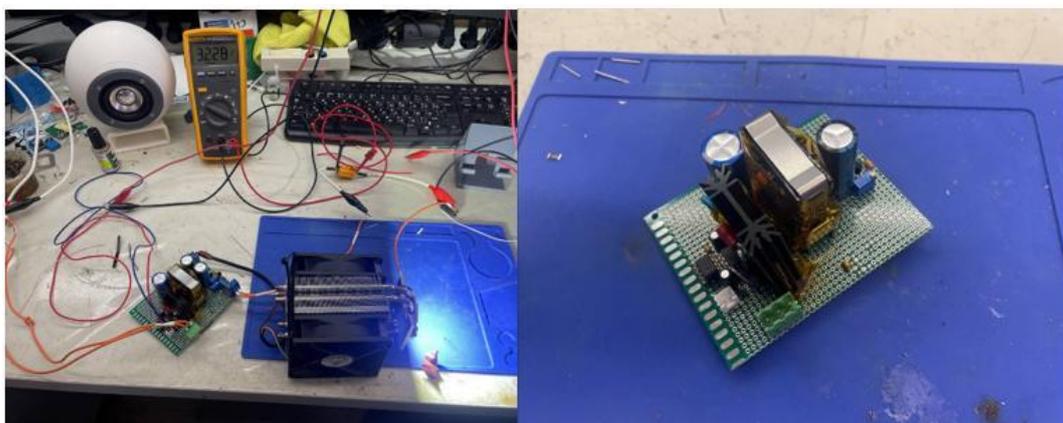


Рис. 2. Проверка схемы обратноходового преобразователя

В результате измерений получены значения:

- у АККМ поддерживается выходное напряжение 400 В и выходная мощность 200 Вт при входном напряжении 90÷250 В;
- блок питания для системы управления ИВЭП обеспечивает выходное напряжение 18 В и выходную мощность 0,34 Вт при входном напряжении 90÷250 В;
- обратноходовой преобразователь обеспечивает без нагрузки выходное напряжение 34 В, выходной ток ограничен значением 3,2 А с возможностью небольшой регулировки при нагрузке на светодиодную матрицу мощностью 100 Вт. Пульсации выходного напряжения были измерены с помощью осциллографа и достигли 34 мВ (0,1 %), что оказывается соизмеримо со значениями < 5 %, взятыми из характеристик современных ИВЭП для светодиодного освещения, представленных на российском рынке, например, [6].

В процессе наладки макета корректировались номиналы компонентов схемы, что позволило создать принципиальную схему ИВЭП с заданными входными и выходными параметрами. На рисунке 3 представлена электрическая схема ИВЭП, разработанная инженером-электроником ООО «НПП «Мелитта» Н. А. Осиным (автором статьи).

Для трассировки печатной платы ИВЭП использовалась САПР Altium Designer (рис. 4) [7]. Для упрощения дальнейшего серийного производства ИВЭП большинство компонентов выбираются в корпусах, предназначенных для поверхностного монтажа (SMD – Surface Mount Device). После трассировки ИВЭП получилось разместить макет на печатной плате размером 150×120 мм. ИВЭП является законченным функциональным узлом схемы и при монтаже закрепляется четырьмя винтами М3 к корпусу. На рисунке 4 приведен скриншот САПР Altium Designer с изображением подготовленного к созданию гербер-файлов проекта печатной платы для макета ИВЭП.

Все проверки макета выполняются сначала на холостом ходу, затем – на эквиваленте нагрузки и, наконец – на реальной нагрузке (светодиодной матрице). В ходе выполнения проверки обратноходового преобразователя с помощью светодиодной матрицы мощностью 100 Вт осуществляются измерения выходного тока макета ИВЭП. Результаты измерений показали, что выходной ток соответствует расчетным данным и составляет 3,2 А.

Созданный макет ИВЭП обеспечивает безопасный режим питания для светодиодной матрицы, а именно стабилизацию выходного тока с коэффициентом пульсаций менее 1% вне зависимости от входного напряжения при полной нагрузке в 100 Вт. Это обеспечит расчетный срок службы светодиодной матрицы 10 000 часов при коэффициенте мощности, равном 0,9.

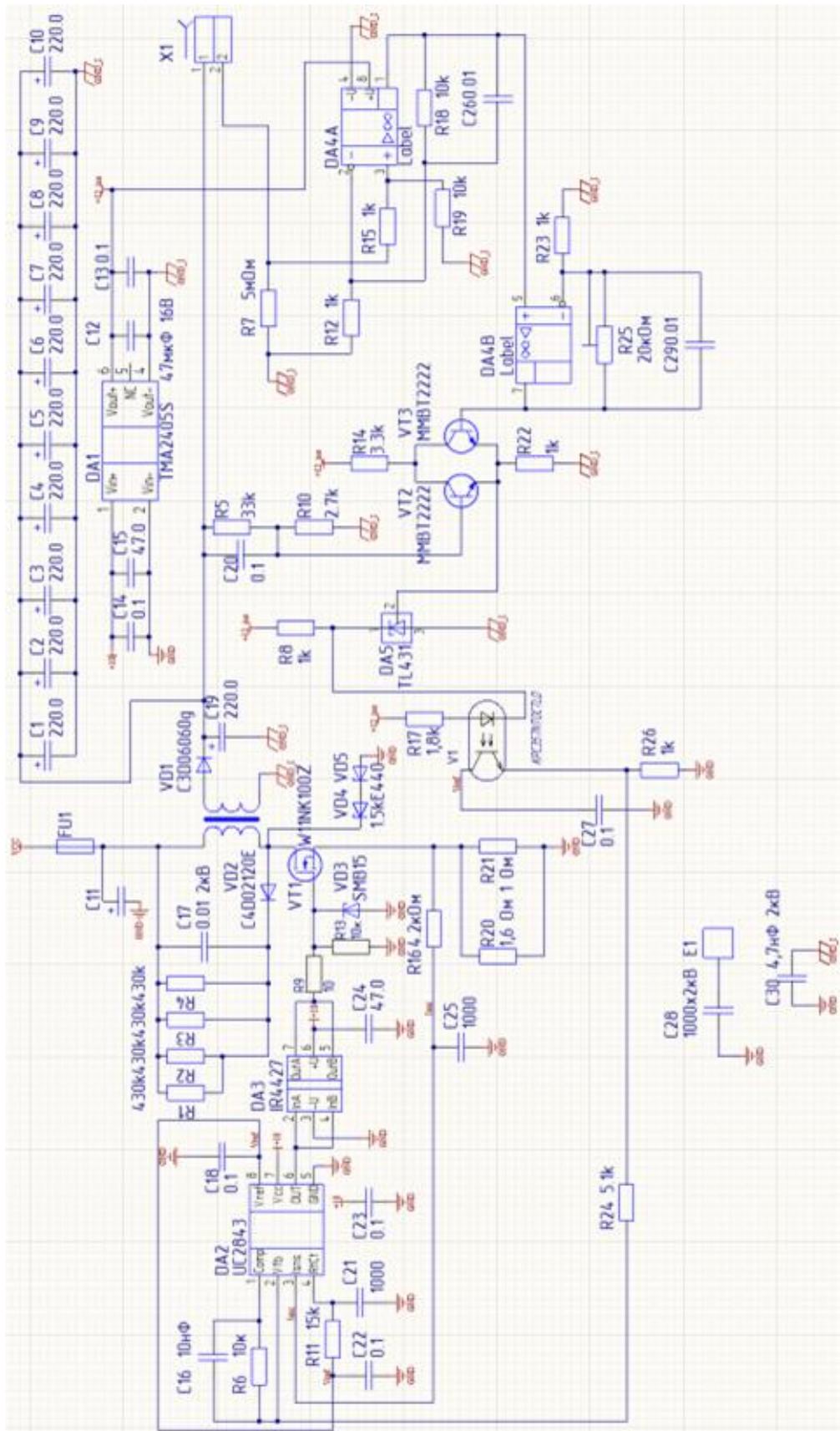


Рис. 3. Электрическая схема ИВЭП на основе обратноходового преобразователя

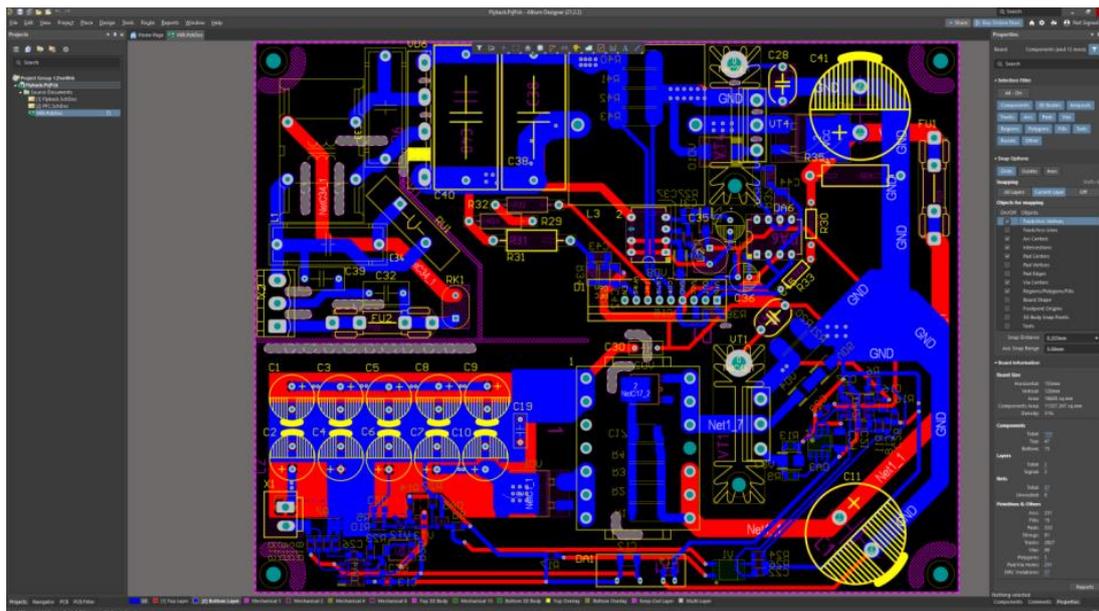


Рис. 4. Проект печатной платы макета в Altium Designer

Заключение

Разработанный макет ИВЭП является основой для дальнейшего исследования и оптимизации, которые включают в себя: проведение дополнительных тестов на безопасность и надежность, выполнение испытаний в различных условиях, в том числе длительных испытаний и стресс-тестов на воздействие внешних факторов. Разработанная в ходе макетирования печатная плата может стать прототипом для изготовления печатных плат серийного устройства.

Список используемых источников

1. Мэк Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2008. 272 с. ISBN: 978-5-94120-172-3.
2. Гейтенко Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет / Гейтенко Е. Н. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. 448 с. ISBN 978-5-91359-025-1.
3. Осин Н. А., Перельгин С. В. Современные топологии вторичных источников электропитания. Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий: материалы VI Международ. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 16, 17 ноября 2021 г.). СПб.: СПбГИКиТ, 2022. С. 69–74.
4. Кэсел Ф. Выбор топологии преобразователя // Время электроники. URL: <https://russianelectronics.ru/vybor-topologii-preobrazovatelya/> (дата обращения 06.12.2022).
5. Денисенко Д. Ю., Иванов Ю. И., Финаев В. И. Основы силовой преобразовательной техники. Часть II: учебное пособие. Южный федеральный университет. Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016. 149 с. ISBN 978-5-9275-1975-0.
6. ООО «ММП-Ирбис». Официальный сайт компании. URL: <https://www.mmp-irbis.ru/> (дата обращения 15.02.2024).
7. AltiumDesigner – PCBDesignSoftware. URL: <https://www.altium.com/ru/altium-designer/> (дата обращения 15.02.2023).

УДК 534.843
ГРНТИ 29.37.23

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЛОВ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С. В. Перельгин^{1,2}, А. В. Турищева³

¹ Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

³ ООО «Максмир-Кино», Воронеж, Россия

Данная статья охватывает актуальные вопросы и проблемы акустического проектирования залов многоцелевого назначения в наше время. Рассматриваются главные этапы такого проекта, математический расчет необходимых параметров и алгоритм решения задачи по подборке акустических звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов.

залы многоцелевого назначения, акустический проект, акустические материалы, время реверберации

Залы многоцелевого назначения помогают расслабиться, отдохнуть от повседневной рутины и получить незабываемые эмоции. Одно из основных и главных требований таких залов – акустическое проектирование. Акустическое проектирование залов многоцелевого назначения на начальном этапе охватывает целый комплекс действий [1]. Целью акустического проектирования такого помещения является обеспечение благоприятных технических звуковых характеристик.

Акустическая атмосфера закрытых помещений формируется благодаря энергии звуковых волн, которые поступают от источника и отражаются от внутренних поверхностей помещения. Количество и характер распределения прямой и отраженной энергий определяют акустические способности залов [2].

Реверберация – это процесс постепенного снижения интенсивности звука с течением времени из-за его многократного отражения от различных препятствий [3]. На рис. 1 приведены частотные зависимости стандартного времени реверберации для помещений различного назначения.

В акустическом оформлении помещения используются акустические материалы, которые уменьшают уровень шумов и помогают достичь лучших акустических свойств залов многоцелевого назначения [4]. Выбор качественной акустической отделки, которая будет соответствовать специальному назначению таких многофункциональных залов, обеспечит наилучшие условия слышимости [5]. Такие акустические материалы могут быть звукопоглощающие и звукоизоляционные.

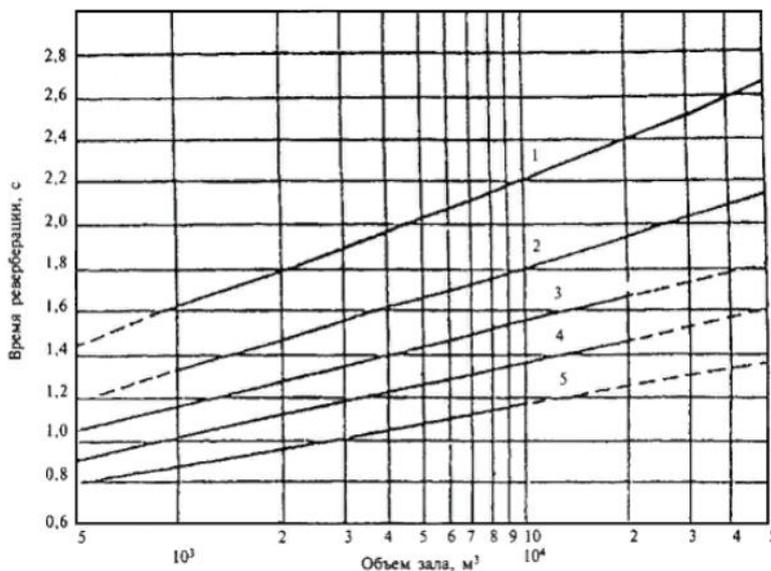


Рис. 1. Время реверберации на средних частотах для залов разного назначения [6]:
1 – залы классической музыки; 2 – залы симфонической музыки; 3 – залы оперных театров; 4 – залы многофункционального назначения; 5 – залы кинотеатров

Звукопоглощающие материалы поглощают звуковые волны и снижают уровень шумов. Звукопоглощение определяется переходом колебательной энергии акустических волн в тепло из-за потерь на трение в порах изделия. Классификация таких материалов изображена на рис. 2.

Звукоизоляционные материалы – это прокладочные материалы, которые служат для звукоизоляции проектируемого помещения. В целом звукоизоляция может быть достигнута, как за счет поглощения энергии звуковых волн, как это было выяснено ранее, так и за счет ее отражения в направлении источника звука.

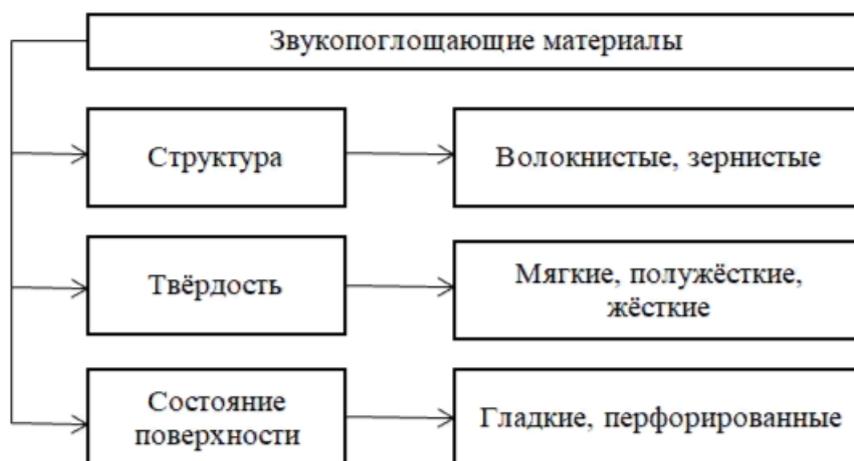


Рис. 2. Классификация звукопоглощающих акустических материалов

Акустическое проектирование залов многоцелевого назначения проводится в 4 взаимосвязанных этапа:

1 этап: определение геометрических и основных акустических параметров зала.

2 этап: разработка проекта расположения зоны зрительских мест, опираясь на комфорт зрителей и акустические параметры; предварительное размещение оборудования в зале, проектирование эвакуационных выходов согласно требованиям пожарной безопасности.

3 этап: создание лучевого эскиза с отображением ранних звуковых отражений в зале (строится с помощью метода мнимого источника).

4 этап: выбор звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов для обеспечения оптимального времени реверберации зала [3].

Акустический расчет проводится согласно руководству по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения, изданному исследовательским институтом (НИИ) строительной физики. Также используется СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [6].

Акустическое оформление таких залов должно удовлетворять еще одному требованию: установившиеся шумы должны быть неслышны в области зрительских мест. Для достижения требуемого динамического диапазона при воспроизведении цифровых фонограмм установившийся уровень шума в зрительном зале должен быть не выше 25 дБ. В худшем случае приемлем уровень шума по кривой 30 дБ.

Прежде чем выбирать акустические материалы, нужно провести расчет требуемых акустических параметров. Достаточно произвести расчеты на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц [3].

Первое, от чего стоит отталкиваться, – это время реверберации (T). На основе строительных норм и правил существует рекомендуемое время реверберации (рис. 1), для его расчета необходимо знать объем зала, площадь ограничивающих поверхностей и основной фонд поглощения [3].

Общее требуемое поглощение и основной фонд поглощения рассчитывается по формулам (1–2):

$$A_{\text{общ}} = \alpha S \quad (1)$$

$$A_{\Sigma} = \sum \alpha S + \sum A_{\text{общ}} + \alpha_{\text{доб}} S \quad (2)$$

где α – коэффициент поглощения,

S – площадь ограничивающих поверхностей, м^2 ,

$\sum \alpha S$ – сумма произведений площадей ограничивающих поверхностей и их коэффициентов поглощения,

$\sum A_{\text{общ}}$ – сумма общего поглощения с учетом размещения акустических материалов, Сб,

$\alpha_{\text{доб}}$ – коэффициент добавочного поглощения.

Для залов многоцелевого назначения $\alpha_{\text{доб}}$ для частоты 125 Гц составляет 0,09, а для частот 500 и 2000 Гц – 0,05.

После того, как был определен основной фонд поглощения, рассчитывается средний коэффициент звукопоглощения по формуле (3):

$$\bar{\alpha} = A_{\Sigma}/S \quad (3)$$

Так как нам известны способы нахождения общего требуемого поглощения, основного фонда поглощения и среднего коэффициента звукопоглощения, можно перейти к расчету времени реверберации зала.

Для частот до 1000 Гц время реверберации рассчитывается по формуле Эйринга (4):

$$T = \frac{0,163V}{S\varphi(\bar{\alpha})}, c \quad (4)$$

где $\varphi(\bar{\alpha})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения (5).

$$\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1 - \bar{\alpha}) \quad (5)$$

Для частот выше 1000 Гц время реверберации рассчитывается по другой формуле (6):

$$T = \frac{0,163V}{S\varphi(\bar{\alpha})+nV'}, c \quad (6)$$

где n – это коэффициент, который зависит от температуры и влажности помещения, m^{-1} .

Звукопоглощение при расчетах принимается со следующими процентными соотношениями: 70 % слушателей в креслах (зрителей) и 30 % мягких кресел (мест). После выполнения всех вышеуказанных формул, можно переходить к подбору акустических материалов. На рис. 3 представлен алгоритм подбора акустических материалов.

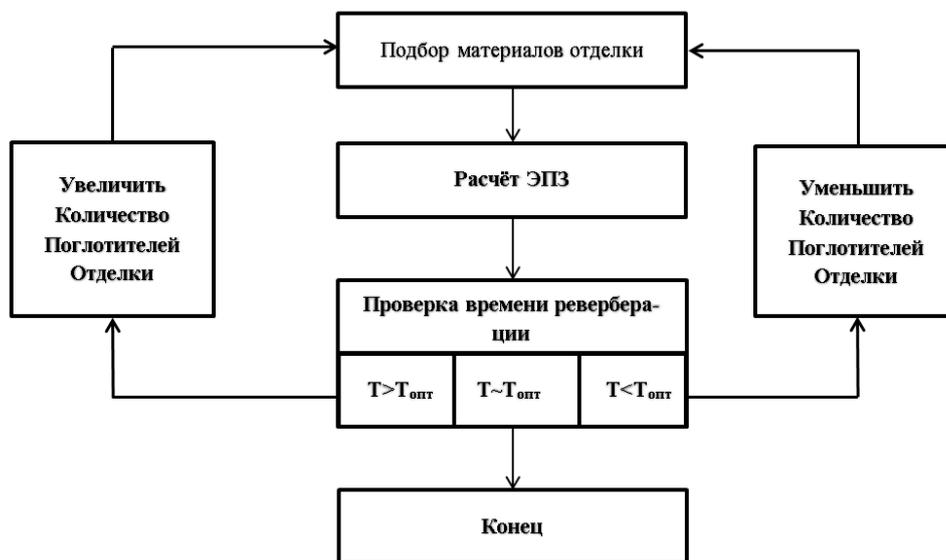


Рис. 3. Алгоритм решения задачи по подборке акустических материалов и конструкции для обеспечения оптимального времени реверберации

При расчете акустических параметров зала может произойти такая ситуация, что рассчитанное время реверберации окажется больше или меньше

требуемого. Тогда следует или уменьшить, или увеличить количество звукопоглотителей. Также можно подобрать более подходящие материалы по техническим характеристикам.

Для снижения $A_{\text{общ}}$ используют формулы: (7) – для частот 125 и 500 Гц, (8) – для частоты 2000 Гц.

$$\varphi(\bar{\alpha}) = \frac{0,163V}{T \times S} \quad (7)$$

$$\varphi(\bar{\alpha}) = \frac{(0,163 - T \times n)V}{T \times S} \quad (8)$$

После найденного значения определяется средний коэффициент звукопоглощения. И в завершение рассчитывается основной фонд поглощения по формуле (1), где вместо коэффициента поглощения используется средний коэффициент поглощения.

Итогом четвертого этапа проектирования зала многоцелевого назначения является нахождение времени реверберации, при этом важно помнить, что все значения округляются до 0,05 секунды [3].

Любой современный зал многофункционального назначения обязан соответствовать высоким технологическим требованиям. Главной особенностью акустических характеристик таких залов является хорошее воспроизведение контента, будь это новый отечественный фильм или концерт группы «Evanescence». Залогом успешного проведения зрелищных мероприятий в таких залах является правильное и качественное акустическое проектирование, произведенное профессиональными специалистами.

Список используемых источников

1. Йордан В.Л. Акустическое проектирование концертных залов и театров / Пер. с англ. С. А. Хомутова; Под. Ред. Л. И. Макриненко. М.: Стройиздат, 1986. 170 с., ил. – Перевод изд.: Acoustical Design of Concert Halls and Theatres / V.L. Jordan. Applied Science Publishers Ltd, London, 1980.

2. Щиржецкий Х. А., Сухов В. Н., Щиржецкий А. Х., Алешкин В. М. К проблеме акустического проектирования современных залов многоцелевого назначения // Жилищное строительство. 2019. № 7. С. 16–24. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-probleme-akusticheskogo-proektirovaniya-sovremennyh-zalov-mnogotselevogo-naznacheniya/viewer> (дата обращения 24.01.2024 г).

3. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости НИИ строит. физики Госстроя СССР. 2-е изд., исправл. и доп. М.: Стройиздат, 1981. 47 с.

4. Акустические материалы. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Акустические_материалы (дата обращения 02.03.2024)

5. Тарасова О. Г. Особенности акустического проектирования зрительных залов малой вместимости // Инженерный вестник Дона. 2023. №4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2023/8338> (дата обращения 24.01.2024 г)

6. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». URL: <https://gusn.mosreg.ru/deyatelnost/knd/gosudarstvennyy-stroitelnyy-nadzor/normativno-pravovye-akty-soderzhashie-obyazatelnye-trebovaniya/14-09-2018-12-52-28-sp-51-13330-2011-zashchita-ot-shuma-aktualizirovan> (дата обращения 24.01.2024).

УДК 621.391
ГРНТИ 49.43.29

ПРИМЕНЕНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С. И. Попович, А. Г. Чернышов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Работа посвящена исследованию факторов, влияющих на помехоустойчивость канала связи беспилотных летательных аппаратов, путем применения псевдослучайной перестройки частоты в современных системах. В данной работе представлен анализ эффективности ППРЧ в контексте обеспечения стабильной связи БПЛА в условиях динамических помех. Дополнительные исследования роли ППРЧ в контексте современных технологий радиосвязи и тесного взаимодействия с другими методами защиты подчеркивают важность интеграции данной технологии в современные беспилотные системы, способствуя обеспечению безопасности и эффективности их функционирования. Это исследование не только предоставляет практическую основу для разработки систем связи, но также вносит вклад в область развития безопасных и эффективных беспилотных технологий.

псевдослучайная перестройка рабочей частоты, беспилотный летательный аппарат, радиосвязь, помехоустойчивость

В современных реалиях беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой важный класс технических систем, нашедших широкое применение в различных областях, включая военные, гражданские и научные цели. Однако работа этих аппаратов часто подвержена воздействию различных помех, включая электромагнитные помехи, интерференцию и другие факторы, которые могут серьезно нарушить качество связи и функционирование БПЛА.

Для обеспечения надежной связи управления беспилотными летательными аппаратами в условиях воздействия преднамеренных помех актуальным решением является применение методов передачи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) [1]. Этот подход находит применение в сфере БПЛА, где его эффективность обусловлена возможностью эффективного использования частотно-энергетического ресурса и способностью обеспечивать устойчивость передачи данных при воздействии внешних помех. При работе БПЛА в режиме ППРЧ важно учитывать, что продолжительное время передачи на одной частоте повышает вероятность

воздействия преднамеренной помехи на сигналы, что требует соответствующего анализа и управления процессом перестройки частоты для обеспечения надежной работы системы.

Для подавления радиолиний управления и передачи данных беспилотных летательных аппаратов широко используются различные методы помехового воздействия, которые позволяют перекрыть рабочий диапазон частот, используемый для связи с БПЛА. Такие методы включают в себя использование заградительной шумовой помехи, представленной в виде белого шума с высокой мощностью, а также узкополосной шумовой помехи, которая может скользить по диапазону частот [2]. Для эффективного подавления каналов управления и передачи данных с применением метода ППРЧ, постановщику помех с ограниченным энергетическим ресурсом рекомендуется направлять шумовую помеху лишь на определенную часть полосы частот, используемой для связи с БПЛА. Таким образом, имеющаяся мощность станции постановки помех будет распределена на части рабочих частот передаваемой радиолинии, обеспечивая более эффективное подавление сигналов управления и данных БПЛА [3].

Перестройка несущей частоты может осуществляться в определенной полосе частот, которая включает в себя несколько частотных каналов. Каждый канал можно рассматривать как определенную спектральную область с центральной частотой, значение которой представляет одну из возможных несущих частот в выделенном диапазоне. Эти каналы могут быть либо смежными (соприкасающимися), либо разделенными друг от друга неиспользованными спектральными областями, что обеспечивает дополнительное разделение и изоляцию между сигналами [4].

Необходимо отметить, что для повышения помехоустойчивости каналов управления беспилотных летательных аппаратов в режиме передачи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты рассматривается возможность перестройки частоты на менее подверженные помехам каналы или отключение сильно затронутых помехами каналов (или частот) (как показано на рис. 1).

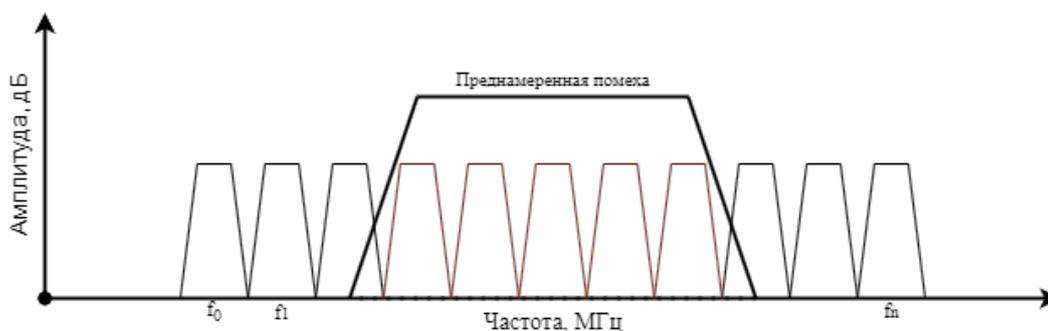


Рис. 1. Спектр сигнала ППРЧ под воздействием преднамеренной помехи

Такой подход позволяет исключить влияние сильно поврежденных помехами символов на этапе обработки сигналов и, следовательно, увеличивает достоверность передачи данных при использовании рассматриваемого алгоритма приема.

Для оценки помехоустойчивости системы радиосвязи при воздействии различных видов помех крайне важно иметь соответствующие показатели. В контексте выбранных моделей сигнала, собственного шума приемного устройства и аддитивных помех в системах передачи дискретных сообщений, предпочтительным показателем количественной оценки помехоустойчивости является средняя вероятность ошибки (СВО) на бит информации [5].

Для сигналов с частотной манипуляцией передаваемых по ЛРС с ППРЧ СВО определяется из выражения (1) [4]:

$$P_E = \frac{1}{2} \gamma e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{G_0}{E_s} + \frac{P_j}{\gamma K_s P_s} \right)^{-1}} + \frac{1}{2} (1 - \gamma) e^{\frac{E_s}{2G_0}}, \quad (1)$$

где P_{E2}, P_{E0} – условная вероятность ошибки на бит при воздействии помехи на оба канала и отсутствие помехи на входе демодулятора, соответственно; E_s – энергия сигнала, в данном случае энергия информационного бита; γ – коэффициент, определяющий часть полосы сигнала с ППРЧ, занимаемой помехой;

G_j – спектральная плотность мощности помехи в полосе частот W_s .

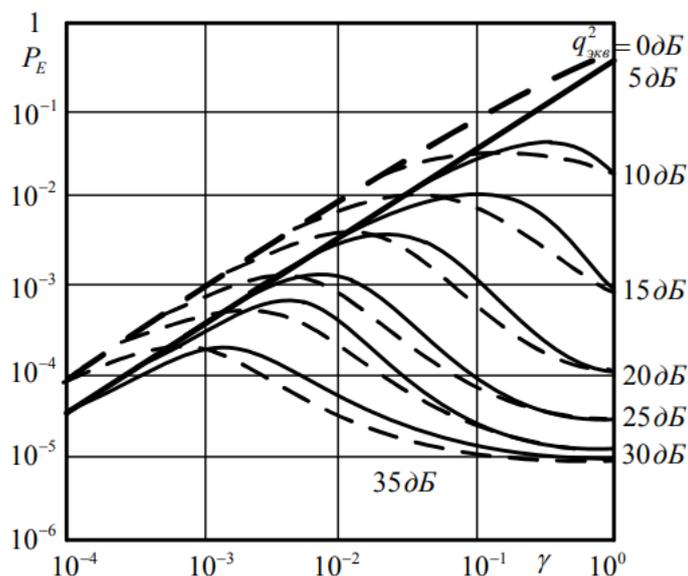


Рис. 2. Зависимость СВО на бит P_E как функции от коэффициента γ

Из графиков на рисунке 2 видно, что для каждого отношения сигнал-помеха существует оптимальное значение γ при котором СВО на бит имеет максимальное значение.

В ходе данной работы были рассмотрены методы и техники обеспечения помехоустойчивости канала связи БПЛА, с акцентом на применение метода передачи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Использование режима передачи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты представляется эффективным способом обеспечения высокой помехоустойчивости передачи информации в условиях радиопротиводействия. Использование метода ППРЧ позволяет эффективно бороться с различными видами помех, такими как шум и интерференция, благодаря динамической перестройке рабочей частоты сигнала. Это приводит к повышению устойчивости канала связи БПЛА и обеспечивает более надежную передачу данных.

Список используемых источников

1. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. С. 20.
2. Макаренко С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи // Системы управления, связи и безопасности, 2020. № 2. С. 101–175.
3. Кострыкин П. А., Назаров А. И., Карабанов И. В. Анализ возможности радиоэлектронного подавления командной радиолинии систем связи // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны, 2020. № 2 (9). С. 9–13
4. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000. С. 670–681.
5. Парамонов А. А., Хоанг В. З. Способ повышения помехоустойчивости радиолинии связи в условиях деструктивного воздействия преднамеренных помех // ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ. 2023. № 10.

УДК 004.92
ГРНТИ 19.61.31

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА В ВИДЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

А. А. Посметьев, Д. А. Татаренков, Д. Д. Федотов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технологии создания 3D моделей с помощью сканирования объектов реального мира открывают новые горизонты в мире создания медиаконтента. В настоящий момент они активно используются для создания объектов или целых локаций в компьютерных играх, виртуальных декораций для телевидения или кино, виртуальных пространств. В данной работе рассмотрены методы создания трехмерной графики с использованием технологий Neural Radiance Field и 3D Gaussian Splatting. Данная технология основана на представлении объектов в трехмерном пространстве в виде облака точек – гауссиан, каждая из которых имеет собственные параметры размера, прозрачности и цветности. При этом создание сцены на основании набора фотографий происходит с помощью технологий машинного обучения.

NeRF, 3D Gaussian Splatting, компьютерная графика, трехмерное сканирование, фотограмметрия, виртуальные пространства, нейронные сети

В современном мире сфера компьютерной графики и визуализации стремительно развивается, требуя методы создания более реалистичных и точных объектов. Одной из ключевых проблем, стоящих перед разработчиками в этой области, является разработка автоматизированных методов реконструкции трехмерной геометрии и текстур объектов для создания фотореалистичных сцен.

Долгое время основным способом реализации являлась фотограмметрия или SfM (Structure from Motion) – набор методов, основанных на обработке набора изображений с целью нахождения на них общих точек. Алгоритм работы подобных методов состоит из анализа изображений, поиска ключевых точек или признаков, их сопоставления (создания облака точек), создания геометрии объекта и трехмерной реконструкции путем наложения текстур [1].

Основным достоинством фотограмметрии является совместимость полученных моделей с большинством программного обеспечения и графических движков, так как они представляют собой классическую упрощенную геометрию с разверткой текстур. Однако существуют и недостатки: для получения приближенного к реальности результата необходимо вручную корректировать работу алгоритма на каждом этапе, чем занимаются специалисты по фотограмметрии. По этой причине фотограмметрия отлично себя показывает при создании моделей небольших объектов или в задачах, где

неважна точность отдельных деталей, как например создание карт местности с помощью аэросъемки, но испытывает трудности с виртуализацией целых пространств, начиная с масштабов жилой комнаты, а сами методы нельзя назвать полностью автоматизированными.

Все изменилось с развитием нейросетевых технологий в наше время. Группа исследователей из UCB, Google и UCSD представила собственный метод, использующий машинное обучение для синтеза новых ракурсов сложных сцен путем оптимизации базовой непрерывной объемной функции сцены с использованием разреженного набора входных представлений – NeRF (Neural Radiance Fields, нейросетевое поле излучения).

Результат работы алгоритма не имеет ничего общего с полигональной графикой и геометрией. Данный метод основан на представлении сцены с использованием полносвязной (несверточной) нейронной сети, входными данными которой является одна непрерывная 5D-координата (пространственное положение (x, y, z) и направление обзора (θ, ϕ)), а выходными – объемная плотность и излучение (в координатах цветности), наблюдаемое из данной точки пространства [2], что нагляднее показано на рис. 1.

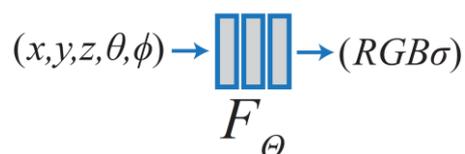


Рис. 1. Входные и выходные данные функции NeRF

Выходное изображение формируется методами растрового рендеринга, путем попиксельного обращения к заранее обученной для данной сцены нейросети. При этом из пикселя как бы выходит луч, по которому сэмпляется N точек, имеющих собственные координаты в пространстве и исходное направление обзора (рис. 2(a)). На выходе функции получают значения цвета (RGB) и плотности в данной точке пространства (рис. 2(b)), причем плотность необходима для определения границ объектов и использования цвета только из соответствующих точек при объемном рендеринге (рис. 2(c)). Кроме того, распределение точек на луче уточняется в соответствии с плотностью для получения более качественного результата.

Обучение NeRF происходит для каждой сцены на основании набора изображений, однако в отличие от фотограмметрии, требования к качеству и ракурсу отдельного изображения значительно ниже. Процесс обучения схож с процессом реконструкции новых ракурсов – выбирается изображение из обучающей выборки, и для него сэмпляется заданное число лучей, проходящих через эту фотографию. На каждом луче оценивается значение цвета C_r – там, где начинается объект. Выполняется объемный рендеринг и сравнивается с результатом. С помощью вычисления функции потерь (рис. 2(d)) уточняются весовые коэффициенты нейронной сети для получения лучшего результата с каждой итерацией обучения.

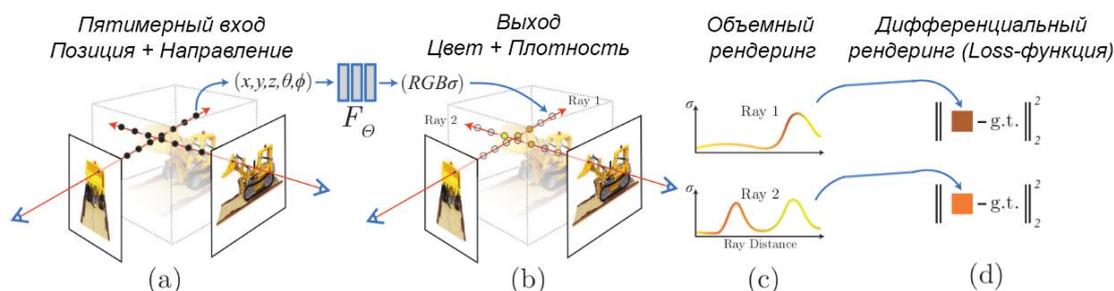


Рис. 2. Этапы обучения и синтеза новой сцены алгоритма NeRF

Метод NeRF позволяет перенести детальные отражения и свойства прозрачности объектов, а также мелкие детали, что невозможно при использовании классических методов, таких как фотограмметрия. Однако, и обучение нейросети, и создание новых ракурсов требует колоссального объема вычислений, и как следствие – большого количества машинного времени. Порядка 48 часов на обучение и нескольких минут на отрисовку одного кадра (для получения фотореалистичной картинки). Хотя существуют модели, выполняющие вычисления гораздо быстрее, их результат работы содержит заметные артефакты, а до рендеринга в реальном времени им еще далеко.

Революцию в скорости работы совершил метод 3D Gaussian Splatting (метод с использованием трехмерных гауссиан), основанный на алгоритмах NeRF. Данный метод был создан в 2022 году группой ученых из Франции и Германии. Он основан на гибридном способе представления трехмерных данных, сочетая в себе черты облака точек и поля излучательности (NeRF). При таком представлении сцена состоит из неупорядоченного набора примитивов (как в случае облака точек). Но каждый примитив представлен не только координатами и цветом, а большим числом параметров, описывающих форму, прозрачность и цвет [3].

3D Gaussian Splatting по своей сути является методом растеризации, в котором вместо полигонов используются гауссианы, каждая из которых описывается следующими параметрами: координатой в пространстве (XYZ), матрицей ковариации 3x3 (вытянутость и размер), цветом (RGB) и прозрачностью (α).



Рис. 3. Сцена из 7 миллионов гауссиан, когда каждая гауссиана полностью непрозрачна (слева) и финальный результат рендеринга (справа)

Алгоритм работы метода следующий: первым шагом идет создание трехмерного облака точек из набора изображений с использованием метода SfM, далее каждая точка преобразуется в гауссиану (рис. 3). Этого уже достаточно для растеризации, однако на данном этапе имеется только положение и цвет гауссиан. Чтобы получить представление, которое дает фотореалистичные результаты, необходимо выполнить процедуру машинного обучения.

Процесс обучения схож с NeRF методами и основан на дифференцируемой растеризации по Гауссу и уточнении гауссиан в соответствии с функцией потерь. На последнем шаге обучения используется автоматизированное уплотнение и обрезка гауссиан: слишком маленькие примитивы клонируются, слишком большие разделяются, а гауссианы с прозрачностью выше определенного предела удаляются. В процедуре обучения для оптимизации используется стохастический градиентный спуск (SGD, Stochastic gradient descent), похожий на нейронную сеть, но без слоев.

За счет этого метод 3D Gaussian Splatting унаследовал у NeRF все его достоинства, как например сохранение отражений и фотореалистичное качество визуализации, при этом ускорив на порядки процесс обучения и рендеринга. Сравнение с NeRF методами по скорости обучения, количеству кадров в секунду (FPS), пиковому отношению сигнал-шум (PSNR) и индексу структурного сходства (SSIM) полученных изображений предоставлены в таблице 1. Вычисления производились на графическом процессоре Nvidia A5000.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение методов 3D Gaussian Splatting (3D GS) и NeRF

Модель	Время обучения, мин	FPS	PSNR, дБ	SSIM
3D GS, 7 тыс. итераций обучения	6,1	167,9	25,20	0,78
3D GS, 30 тыс. итераций обучения	38,3	137,3	26,91	0,83
MipNeRF 360 (NeRF)	2880,0	0,07	27,11	0,80
Instant-NGP (NeRF)	7,5	9,0	24,92	0,72

Области применения для алгоритма 3D Gaussian Splatting разнообразны: робототехника, реконструкция и представление сцен, создание медиаконтента, виртуальных музеев, автономное вождение и другое. Применения 3D GS демонстрируют его универсальность и потенциал в различных областях.

В частности, можно выделить потенциал данного метода для создания анимации и динамических сцен [4], решение центральной задачи робототехники SLAM (*Simultaneous localization and mapping*) [5], а также автономного вождения [6].

Список используемых источников

1. Häming K., Peters G. The structure-from-motion reconstruction pipeline – a survey with focus on short image sequences // *Kybernetika*, 2010. №46 (5), pp. 926–937.
2. NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis. URL: www.researchgate.net/publication/340049640_NeRF_Representing_Scenes_as_Neural_Radiance_Fields_for_View_Synthesis (дата обращения: 19.02.2024).
3. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. URL: www.researchgate.net/publication/372989904_3D_Gaussian_Splatting_for_Real-Time_Radiance_Field_Rendering (дата обращения: 17.02.2024).
4. Dynamic 3D Gaussians: Tracking by Persistent Dynamic View Synthesis. URL: <https://arxiv.org/pdf/2308.09713.pdf> (дата обращения: 28.02.2024).
5. Matsuki H., Murai R., Kelly P. H. J., Davison A. J. Gaussian Splatting SLAM. URL: <https://arxiv.org/abs/2312.06741> (дата обращения: 28.02.2024).
6. DrivingGaussian: Composite Gaussian Splatting for Surrounding Dynamic Autonomous Driving Scenes. URL: <https://arxiv.org/abs/2312.07920> (дата обращения: 28.02.2024).

Статья представлена заведующим кафедрой ТВ и М СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Федоровым.

УДК 621.3.052
ГРНТИ 49.31.01

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ФАПЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ДЕТЕКТОРОВ ОШИБКИ СИНХРОНИЗАЦИИ

А. А. Прасолов, К. А. Родина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе описывается цифровая система фазовой автоподстройки частоты. Для восстановления тактовой частоты была предложена оптимальная процедура измерения ошибки синхронизации с помощью различных детекторов. С помощью среды моделирования Simulink была реализована прямо-передающая схема, содержащая блок ФАПЧ для проведения исследования. В основе работы лежит сравнение методов детектирования ошибок при передаче различных видов сигналов.

фазовая автоподстройка частоты, детектор ошибок синхронизации, петлевой фильтр

В современных системах радиосвязи ошибки синхронизации становятся реальной проблемой в интегральных схемах высокой сложности и высокой частоты. Технологические процессы, напряжение и температура приводят к большим разбросам задержки на системном уровне, что подрывает надежность схемы. Кроме того, перекрестные помехи, перебои в подаче питания влияют на производительность схемы, увеличивая общее влияние ошибок синхронизации. С момента появления технологии передачи данных по каналам связи синхронизация играет ключевую роль в обеспечении надежности и эффективности передачи информации.

Для синхронизации переданного сигнала с принятым сигналом в приемнике используется контур фазовой автоподстройки частоты (PLL). Цель синхронизации по времени состоит в том, чтобы настроить фазу синхронизации часов приемника на фазу синхронизации часов передатчика таким образом, чтобы один образец на символ, необходимый для обнаружения символа, был взят при максимальном открытии глаз [1].

Структурная схема блока фазовой автоподстройки частоты отражена на рис. 1.

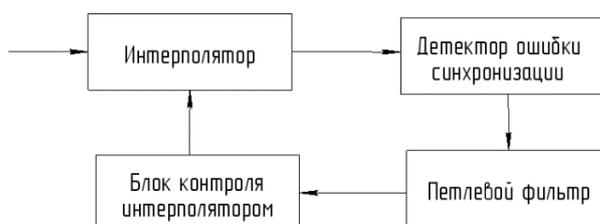


Рис. 1. Структурная схема блока ФАПЧ

Блок содержит в себе такие элементы, как:

- интерполятор;
- детектор ошибок синхронизации;
- петлевой фильтр;
- блок контроля интерполяцией.

Блок интерполятора необходим, чтобы выполнять отстройку отсчетов. Сам по себе интерполятор представляет собой полифазный фильтр.

Детектор ошибок синхронизации определяет, когда осуществляется смещение отсчета символа. Выходным сигналом детектора является разница или фазовая ошибка между тактовым сигналом данных и входным потоком данных [2]. В данной работе приводится описание метода Gardner (рис. 2).

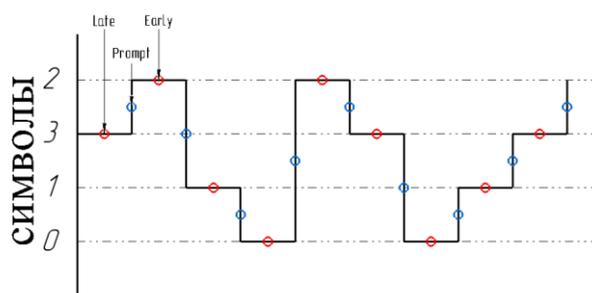


Рис. 2. Принцип нахождения ошибки TED с помощью Gardner метода

Формула, описывающая алгоритм нахождения ошибки Gardner, выглядит следующим образом:

$$TED_{Gardner} = prompt \cdot (early - late), \quad (1)$$

где:

- *prompt* – это отсчет сигнала перехода между символами;
- *early* – отсчет символа раннего периода;
- *late* – отсчет символа позднего периода.

Так как в приемную часть приходит смесь сигнала и шума, то значения ошибки могут выдавать также случайные колебания. Поэтому данные с блока детектора ошибок синхронизации необходимо фильтровать с помощью петлевого фильтра.

Структурная схема петлевого фильтра представлена на рис. 3.

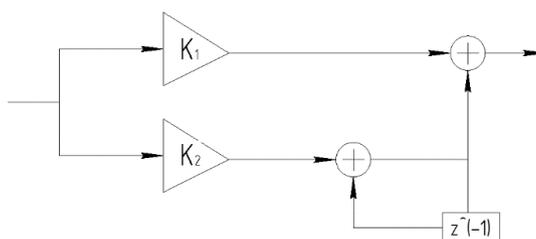


Рис. 3. Структурная схема петлевого фильтра

Первоначально блоку необходимо оценить, верно ли выбран первый отсчет символа. Это определяется с помощью расчета ошибки блока Time Error Detector. Первый этап – захват сигнала: определяем первый отсчет символа. Возьмем как пример для рассмотрения случай, когда частота дискретизации больше тактовой частоты в 5 раз. Блок Time Error Detector выдает ошибку, при чем после фильтра эта ошибка постоянно накапливается со знаком «+», если смещение отсутствует. Соответственно, если производная ошибки отрицательна – первый отсчет определен неверно, поэтому производится отстройка на 1 отсчет назад с помощью счетчика DCO (Digital Controlled Oscillator).

Так как последовательность на входе приемника является смесью полезного сигнала с шумом, необходимо усреднять полученное значение ошибки для того, чтобы иметь достоверные результаты. Результаты захвата тактового сигнала при использовании детектора ошибок Gardner представлены в 01.

ТАБЛИЦА 1. Результаты захвата тактовой частоты при использовании детектора ошибок Gardner

ОСШ = 9 дБ				
КРИТЕРИИ \ Сдвиг на кол-во символов	сдвиг на 1 символ	сдвиг на 2 символа	сдвиг на 3 символа	сдвиг на 4 символа
Число накопленных ошибок до блокировки	12	44	145	235
Время блокировки, мкс	77.58	77.62	77.67	77.7
ОСШ = 10 дБ				
КРИТЕРИИ \ Сдвиг на кол-во символов	сдвиг на 1 символ	сдвиг на 2 символа	сдвиг на 3 символа	сдвиг на 4 символа
Число накопленных ошибок до блокировки	10	37	131	223
Время блокировки, мкс	77.34	77.4	77.46	77.5

Когда захват тактовой частоты осуществился, система переходит в режим слежения. Схема, отражающая работу блока контроля со сдвигом при появлении ошибки отражена на рис. 4.

Определение сдвига сигнала зависит от двух параметров: размера выборки для накопления, а также от порога обнаружения. Чем меньше порог и выборка, тем быстрее система реагирует на изменения, однако из-за шума могут появляться случайные ошибки, если слишком понижать данные значения. Для выбора оптимальных значений системы были проведены тесты в среде моделирования Simulink при изменении скорости в приемной системе. Результаты отстройки тактовой частоты при использовании детектора ошибок Gardner отражены в табл. 2.

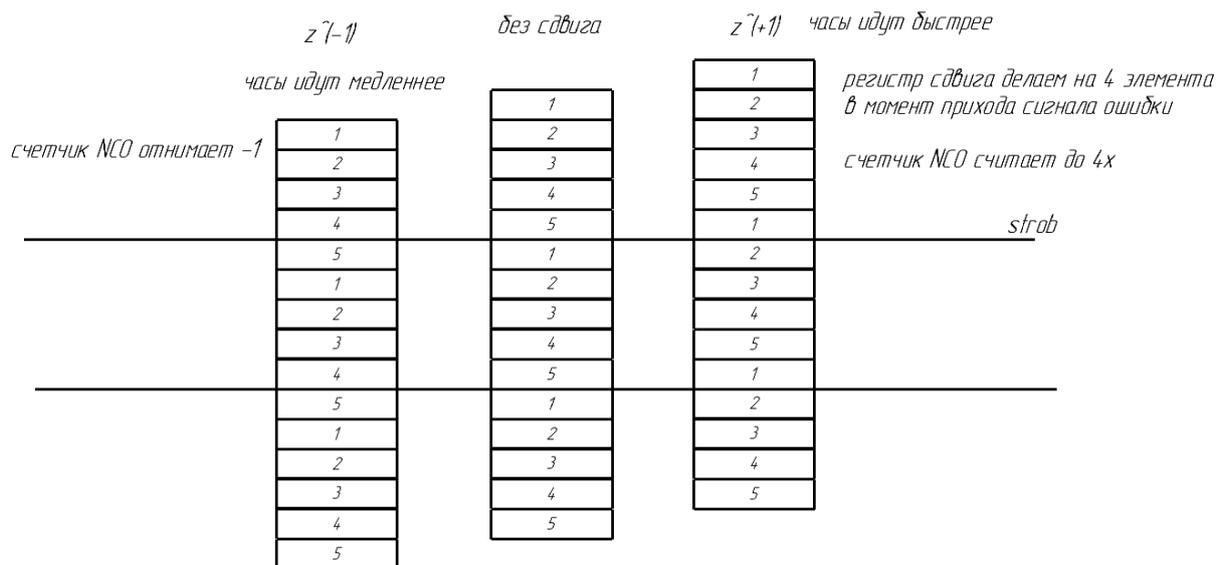


Рис. 4. Схема работы блока контроля со сдвигом при появлении ошибки

ТАБЛИЦА 2. Результаты отстройки тактовой частоты при использовании детектора ошибок Gardner

Параметры TED	
выборка усреднения	200
граница сдвига на 1	<0 и $> -8 \cdot 10^{-11}$
граница сдвига на -1	$< -8 \cdot 10^{-11}$
эталонный период символа, с	$0.0868 \cdot 10^{-6}$
смещенный период символа	$0.086805 \cdot 10^{-6}$
BER	0,009393
число отстроек	9
смещенный период символа	$0.086795 \cdot 10^{-6}$
BER	0,02538
число отстроек	10

Для сравнения рассмотрим другой метод реализации блока детектора ошибок синхронизации – Early-Late. Формула, описывающая алгоритм нахождения ошибки Early-Late выглядит следующим образом:

$$TED_{E-L} = (early - late), \quad (2)$$

Результаты захвата тактового сигнала при использовании детектора ошибок Early-Late представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Результаты захвата тактовой частоты при использовании детектора ошибок Early-Late

ОСШ = 9 дБ				
критерии \ сдвиг на кол-во символов	сдвиг на 1 символ	сдвиг на 2 символа	сдвиг на 3 символа	сдвиг на 4 символа
число накопленных ошибок до блокировки	15	42	153	242
время блокировки, мкс	77.65	77.71	77.76	77.8
ОСШ = 10 дБ				
критерии \ сдвиг на кол-во символов	сдвиг на 1 символ	сдвиг на 2 символа	сдвиг на 3 символа	сдвиг на 4 символа
число накопленных ошибок до блокировки	11	39	137	233
время блокировки, мкс	77.4	77.46	77.5	77.55

Теперь оценим результаты отстройки тактовой частоты при использовании детектора ошибок Gardner отражены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Результаты отстройки тактовой частоты при использовании детектора ошибок Gardner

Параметры TED	
выборка усреднения	200
граница сдвига на 1	$<0 \text{ и } > -8 \cdot 10^{(-11)}$
граница сдвига на -1	$< -8 \cdot 10^{(-11)}$
эталонный период символа, с	$0.0868 \cdot 10^{(-6)}$
смещенный период символа	$0.086805 \cdot 10^{(-6)}$
ber	0,012
число отстроек	11
смещенный период символа	$0.086795 \cdot 10^{(-6)}$
BER	0,0284
число отстроек	13

В результате исследования двух методов детекторов ошибок синхронизации (Gardner и Early-Late) можно сделать вывод, что метод Gardner является более точным для определения смещения тактовой частоты.

Список используемых источников

1. Gustat H. and Herzel F. Integrated FSK with very high sensitivity. IEEE J. of Solid-State Circuits, 2003. Vol. 38. № 2. PP. 357–360.
2. Злобин А. В., Клюкин В. И., Николаенков Ю. К. Моделирование блока восстановления тактовой частоты и данных на основе схемы фазовой автоподстройки частоты // Изв. вузов. Электроника, 2021. Т. 26. № 3–4. С. 324–327.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТОЧКИ ПРЕРЫВАНИЯ В МОДЕЛЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

А. А. Прасолов, Р. С. Рощинский, А. С. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассмотрены вопросы трактовки и определения используемой точки прерывания в известных моделях распространения радиоволн, в частности, таких, как модель Stanford University Interim и ее расширенная версия, а также моделей, предлагаемых Международным союзом электросвязи. Представлены описания рассматриваемых моделей и результаты расчетов потерь при распространении в зависимости от значения расстояния до точки прерывания.

модели распространения радиоволн, потери, точка прерывания, прямой луч, отраженный луч

Модели распространения радиоволн (РРВ) применяются при решении разнообразных задач, среди примеров которых можно назвать планирование сетей радиосвязи в системах автоматизированного проектирования (САПР) [1–2], оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) [3] и электромагнитной безопасности [4]. Стандартным набором входных параметров для модели являются расстояние между приемником и передатчиком, рабочая частота, высоты расположения антенн приемника и передатчика, а также тип рассматриваемой местности (в качестве примера подобной модели можно привести известную модель Окамура-Хата). Однако существуют модели, оперирующие в своем составе расстоянием d_0 , вопросы трактовки и определения которого рассмотрены в данной работе.

В научно-технической литературе встречаются следующие трактовки, описывающие расстояние d_0 – «точка прерывания» (англ. «breakpoint distance»), «эталонное расстояние» (англ. «reference distance»), «расстояние пересечения» (англ. «crosspoint distance»), а также «нормирующее расстояние» и «точка разрыва». В работе [5] под d_0 понимается расстояние, соответствующее дальней зоне (зоне Фраунгофера), и предлагаются следующие его значения: 1 м – для помещений, 100 м или 1 км – для открытой местности. В работе [4] расстояние до точки прерывания трактуется как условная граница области значений расстояния между приемником и передатчиком, за пределами которой затухание существенно возрастает за счет многолучевости, и предлагается формула для его расчета, встречающаяся также в работе [6] и рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ, англ. International Telecommunication Union, ITU) [7]:

$$d_0 = \frac{4 \cdot h_{\text{БС}} \cdot h_{\text{АС}}}{\lambda}$$

В работе [8] точка прерывания описывается как точка, в которой область распространения сигнала делится на две области с различными законами распространения, а также при расчетах предлагается учитывать поляризацию антенн приемника и передатчика и среду, над которой распространяется сигнал.

В рекомендации МСЭ [9] схематично показаны упрощенные диаграммы лучей и отмечены точки прерывания в случае отсутствия (рисунок 1а) и наличия здания за ней (рисунок 1б). В первом случае в точку прерывания попадают прямой и отраженный от земли лучи, во втором случае – прямой и два дополнительных луча, отраженных от здания, один из которых также отражается и от земли.

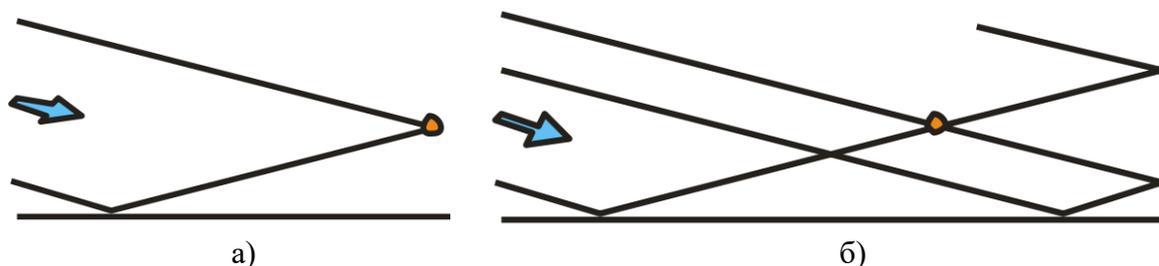


Рис. 1. Диаграммы лучей при распространении радиоволн и точка прерывания:
а) при отсутствии здания; б) при наличии здания за ней

Рассмотрим пример расчетов потерь при РРВ (англ. Path Loss, PL) по моделям, оперирующими в своем составе коэффициентом d_0 . Рассмотрим известную модель SUI (оригинальную и расширенную версии) и модель, предлагаемую Международным союзом электросвязи (МСЭ, англ. International Telecommunication Union, ITU). В качестве примера для расчета возьмем систему связи, расположенную в городской среде и работающей на основе, например, технологии LoRa, со следующими входными параметрами: рабочая частота $f = 868$ МГц (длина волны λ приблизительно 0,35 м); высота расположения антенны передатчика $h_{Tx} = 30$ м; высота расположения антенны приемника $h_{Rx} = 2$ м. Размерности входных параметров для различных моделей могут различаться, поэтому они будут указаны в квадратных скобках в качестве нижнего индекса у соответствующего коэффициента. Значения и размерности прочих коэффициентов, используемых в рассматриваемых моделях, будут указаны после соответствующих математических выражений. Согласно исходным данным рассматриваемой системы связи, описанным выше, и приведенной формуле, расстояние d_0 составит 694,4 метра, что существенно отличается от типовых значений, приводимых в литературе.

В одной из моделей МСЭ [7] потери при распространении предлагается рассчитывать следующим образом:

$$PL_{ITU} = \left| 20 \cdot \lg \left(\frac{\lambda_{[M]}^2}{8 \cdot \pi \cdot h_{BC[M]} \cdot h_{AC[M]}} \right) \right| + 20 +$$

$$+ \begin{cases} 25 \cdot \lg \left(\frac{R_{[M]}}{d_{0[M]}} \right), & R \leq d_0 \\ 40 \cdot \lg \left(\frac{R_{[M]}}{d_{0[M]}} \right), & R > d_0 \end{cases}.$$

Исходя из математического описания модели видно, что при пересечении точки прерывания потери возрастают, что отражается изменением одного из множителей.

Среди других известных моделей, использующих в своем составе коэффициент d_0 , можно назвать модель SUI (англ. Stanford University Interim), разработанную совместно Институтом инженеров электротехники и электроники (англ. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) и Стэнфордским университетом. Модель основана на серии измерений, проведенных на частоте 1,9 ГГц [10] и справедлива для частотного диапазона вплоть до 3,5 ГГц (однако в ряде источников применяется и для рабочих частот, исчисляемых десятками ГГц [11–14]) и расстояния между БС и АС от 100 м до 8 км, высот подвеса антенн БС и АС от 10 до 80 м и от 2 до 10 м соответственно [15]. Потери при распространении определяются согласно следующему выражению [16]:

$$PL_{SUI} = FSPL_{d_0} + 10 \cdot \gamma \cdot \lg \left(\frac{R_{[M]}}{d_{0[M]}} \right) + X_f + X_{Rx} + X_\sigma.$$

Рассмотрим коэффициенты, входящие в состав модели SUI. Коэффициент $FSPL_{d_0}$ представляет из себя результаты расчетов потерь в свободном пространстве на расстоянии d_0 и вычисляется в соответствии со следующим выражением [17]:

$$FSPL_{d_0} = 10 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d_{0[M]}}{\lambda_{[M]}} \right)^2.$$

Коэффициенты γ (состоящий из набора коэффициентов a , b , c) и X_σ определяют тип среды, для которой проводится расчет. В случае городской среды коэффициенты принимают следующие значения: $a = 4,6$; $b = 0,0075$; $c = 12,6$; $X_\sigma = 10,6$ дБ. Математически коэффициент γ описывается следующим образом:

$$\gamma = a - b \cdot h_{Tx[M]} + \frac{c}{h_{Tx[M]}}.$$

Коэффициенты X_f и X_{Rx} учитывают поправки на частотный диапазон и высоту расположения антенны приемника и описываются следующим образом:

$$X_f = 6 \cdot \lg \left(\frac{f_{[MHz]}}{2000} \right)$$

$$X_{Rx} = -10,8 \cdot \lg \left(\frac{h_{Rx[M]}}{2} \right).$$

Существует также и расширенная версия модели SUI (англ. Extended SUI, ESUI), вносящая некоторые корректировки в оригинальную модель [18]. Потери при распространении определяются согласно следующему выражению:

$$PL_{ESUI} = \begin{cases} FSPL, & R_{[M]} \leq \delta_0 \\ FSPL_{d_0} + 10 \cdot \gamma \cdot \lg \left(\frac{R_{[M]}}{d_{0[M]}} \right) + X_f + X_{Rx} + X_\sigma, & R_{[M]} > \delta_0 \end{cases}$$

Исходя из математического описания модели видно, что до точки прерывания потери определяются согласно их расчету в свободном пространстве, после ее пересечения потери определяются, в том числе, поправочными коэффициентами. Коэффициенты γ , X_f , X_{Rx} , X_σ определяются тем же образом, как и в оригинальной модели SUI. Основное отличие модели ESUI заключается в расстоянии до точки прерывания δ_0 , определяемой следующим образом:

$$\delta_0 = d_0 \cdot (10^{X_{Rx} + X_f}).$$

На рисунке 2 представлены графические зависимости, полученные в результате расчета потерь при РРВ по рассматриваемым моделям в зависимости от расстояния при различных значениях коэффициента d_0 .

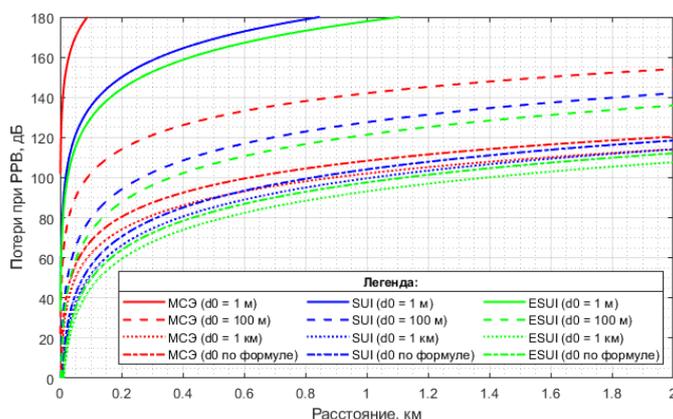


Рис. 2. Результаты расчета потерь при РРВ по рассматриваемым моделям в зависимости от расстояния при различных значениях коэффициента d_0

Исходя из рисунка 2, можно заметить, что значение расстояния до точки прерывания существенно влияет на результаты расчетов потерь при распространении. Так, например, при расстоянии, равном 100 метров, разница потерь при минимально взятом d_0 (1 метр) и рассчитанном по формуле значению (694,4 метра) для модели МСЭ составила 115 дБ, для моделей SUI и ESUI – 85 дБ, что, например, существенно снижает точность теоретиче-

ских расчетов дальности покрытия. Можно сделать вывод, что точное определение расстояния до точки прерывания с учетом расположения высот антенн приемника и передатчика, рабочей частоты, а также многолучевого распространения (что особенно актуально для городской среды ввиду особенностей ее застройки) является важной и актуальной задачей в области распространения радиоволн и планирования сетей радиосвязи. Помочь при решении подобных задач могут гибридные модели, основанные на базе различных эмпирических моделей и моделей, использующих цифровые карты местности (например, модель Лонгли-Райса) [19]. В связи с этим также возникает задача создания «цифровых двойников» зданий, учитывающих их высоту, материалы постройки, толщину стен и т.д., что может быть учтено в рамках будущих стандартов, вводимых Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства России (например, [20]).

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. ОНЕПЛАН РПЛС // ИнфоТел. URL: <https://www.rpls.ru/ru/oneplan-rpls/> (дата обращения 15.03.2024).
2. RadioPlanner 3.0 // Центр телекоммуникационных технологий. URL: <https://www.ctt-group.ru/radioplanner> (дата обращения 15.03.2024).
3. Методика расчетов электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств сухопутной подвижной службы с радиоэлектронными средствами гражданского назначения за исключением радиовещательной службы (решение ГКРЧ № 20-57-05 от 28 декабря 2020 г.).
4. Мордачев В. И. Электромагнитная безопасность широкополосных систем мобильной связи новых поколений // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, 2018. №. 3 (113). С. 39–46.
5. Абилов А. В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи: Теоретический материал и задачи для практических занятий. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. 24 с.
6. Паршин А. Ю., Лобовиков Д. Л. Исследование особенностей распространения сигналов в пространстве с модуляцией LoRa // Актуальные исследования, 2021. №50 (77). С. 32–34.
7. Recommendation ITU-R P.1411-12 “Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz” // International Telecommunication Union, 2023.
8. El-Sallabi H., Albadr A., Aldosari A. Breakpoint Distance Models For Vertical and Horizontal Polarization Transmission.
9. Recommendation ITU-R P.2040-2 “Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz” // International Telecommunication Union, 2021.
10. Channel Models for Fixed Wireless Applications // IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, 2001.
11. Яремко И. Н., Павловская К. А. Анализ модели распространения радиоволн SU1 для решения задач построения сетей сотовой связи 5G // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта, 2020. №. 56. С. 26–30.

12. Sulyman A. I., Alwarafy A., MacCartney G. R., Rappaport T. S. Directional radio propagation path loss models for millimeter-wave wireless networks in the 28-, 60-, and 73-GHz bands // *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2016. Vol. 15. №. 10. PP. 6939–6947.
13. Sulyman A. I., Nassar A. T., Samimi M. K., MacCartney G. R., Rappaport T. S., Alsanie A. Radio propagation path loss models for 5G cellular networks in the 28 GHz and 38 GHz millimeter-wave bands // *IEEE communications magazine*, 2014. Vol. 52. №. 9. PP. 78–86.
14. Rahul R., Bansal B., Kapoor R. Performance analysis of empirical radio propagation models in wireless cellular networks // *World Scientific News*, 2019. №. 121. PP. 35–41.
15. Khan I., Eng T. C., Kamboh S. A. Performance analysis of various path loss models for wireless network in different environments // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2012. Vol. 2. №. 1. PP. 161–165.
16. Erceg V., Greenstein L. J., Tjandra S. Y., Parkoff S. R., Gupta A., Kulic B., Julius A. A., Bianchi R. An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments // *IEEE Journal on selected areas in communications*, 1999. Vol. 17. №. 7. PP. 1205–1211.
17. Recommendation ITU-R P.525-4 «Calculation of free-space attenuation» // *International Telecommunication Union*, 2019.
18. Kalu C., Stephen B. U. A., Uko M. C. Empirical Valuation of Multi-Parameters and RMSE-Based Tuning Approaches for the Basic and Extended Stanford University Interim (SUI) Propagation Models // *Mathematical and Software Engineering*, 2017. Vol. 3. №. 1. PP. 1–12.
19. Рощинский Р. С. Сравнительный анализ модели Лонгли-Райса с эмпирическими моделями распространения // 77-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2023»; сб. науч. ст. Спец. вып., 2023. С. 49–54.
20. ПНСТ 909-2024 «Требование к цифровым информационным моделям объектов непроизводственного назначения. Часть 1. Жилые здания».

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОКАНАЛА В СЕТЯХ СОТОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ

А. А. Прасолов, Р. С. Рощинский, А. С. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Для оценки качества услуг, предоставляемых абонентам сотовой связи, необходимо проводить радиоизмерения, мониторинг и анализ сетей, в результате которых будут получены параметры радиоканала. На основе полученных результатов будут предприниматься действия по оптимизации сети или устранения неисправностей. В работе рассмотрены параметры радиоканала различных стандартов сотовой связи и предложена их классификация на прямые, псевдопрямые и косвенные.

радиосвязь, сеть, радиопараметры, классификация, качество услуг связи

В настоящее время на территории России активно используются три поколения сетей сотовой связи: 2G, 3G и 4G [1]. С каждым стандартом связи, который соответствовал своему поколению, вводились и добавлялись параметры радиоканала. Корректные определения, диапазоны возможных значений для параметров описываются в спецификациях ETSI и 3GPP [2–3]. К параметрам можно отнести идентификаторы базовых станций, мощность входного сигнала приемника, используемые частоты и так далее.

В недавнем исследовании [4] были изучены и протестированы различные программные инструменты, доступные на рынке, для измерения параметров радиосигнала. Были приведены примеры их функционирования, а также определен список ключевых параметров для оценки качества мобильной сети. Был установлен ряд требований к этим программам (относительно их возможностей и простоты использования), и была составлена сравнительная характеристика. Основываясь на этом исследовании, была поставлена цель разработать собственную программу.

В работах [5,6] представлена апробация разрабатываемого программного обеспечения. В ходе испытаний было зафиксировано, что в зависимости от модели абонентского устройства, исследуемые параметры могут быть доступны на одних устройствах и недоступны на других. В связи с этим было принято решение ввести классификацию параметров, чтобы установить, какие параметры можно получить исключительно с модема, установленного на абонентском терминале, а какие можно рассчитать.

В данной работе предлагается провести классификацию используемых параметров радиоканала на следующие категории: Прямые – параметры, получаемые непосредственно с модема, установленного на абонентском терминале; Псевдопрямые – которые можно рассчитать исходя из прямых параметров; Косвенные – которые нельзя получить из модема или рассчитываются из прямых и косвенных параметров.

В таблицах 1, 2 и 3 представлена классификация параметров сетей сотовой связи, который используются для оценки качества предоставляемых услуг.

ТАБЛИЦА 1. Прямые параметры

Параметры	Примечание
RXLevel [7, 8]	Мощность принимаемого сигнала
RXQual [7, 8]	Качество принимаемого сигнала
ARFCN/ UARFCN/ EARFCN [9–12]	Абсолютный номер радиочастотного канала
Cell ID [8, 13]	Идентификационный номер сотового оператора
LAC/ TAC [15]	Идентификатор зоны
PCI [17]	Идентификатор физического уровня LTE
BSIC [14]	Идентификационный код базовой станции GSM
PSC [13, 16]	Первичный скремблирующий код для сетей с кодовым разделением каналов UMTS
TA [21]	Временная задержка

ТАБЛИЦА 2. Псевдопрямые параметры

Параметры	Примечание
eNB [22]	Идентификатор базовая станция сети стандарта LTE
Band [12]	Частотный диапазон
Полоса пропускания	5 МГц, 10 МГц, 15 МГц, 20 МГц
Дуплекс	FDD / TDD
RSSI [18, 19]	Мощность сигнала для сетей UMTS и LTE
RSRP	Мощность пилотного сигнала сетей LTE
RSCP	Мощность пилотного сигнала сетей UMTS
RSRQ	Качество принимаемого сигнала сетей LTE
Ec/No [20]	Отношение сигнал шум сетей UMTS
SNR	Отношение сигнал шум сетей LTE

ТАБЛИЦА 3. Косвенные параметры

Параметры	Примечание
MCC/ MNC	Код страны / Код оператора
RRC	Состояния мобильного терминала
CQI [21]	Качество канала
Частоты DL и UL	2630 МГц / 2510 МГц
Скорость передачи данных	UL: 15 МВ/с DL: 20 МВ/с
Показатели качества	Качество голосового канала, качество пакетной передачи и тд.

Данная классификация предлагается для определения наиболее важных параметров, без которых невозможно проводить корректные радиоизмерения. Если на абонентском устройстве нет доступа к прямым параметрам, то невозможно получить псевдопрямые и косвенные. Используя данную классификацию, можно исключить устройства, которые не подходят для измерений.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 на 2024 год.

Список использованных источников

1. Стандарты сотовой связи // Репитер URL:<https://repiter.com/help/articles/standarty-sotovooy-svyazi/> (дата обращения: 10.01.2024).
2. ETSI URL: <https://www.etsi.org/> (дата обращения: 10.01.2024).
3. 3GPP URL: <https://www.3gpp.org/> (дата обращения: 10.01.2024).
4. Прасолов А. А., Рошинский Р. С., Федоров А. С. Обзор программного обеспечения абонентских устройств для сбора первичных данных сетей сотовой связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 448–453.
5. Рошинский Р. С. Оценка качества покрытия мобильной сети Архангельской области // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023): Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов: в 2-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 26–30.
6. Прасолов А. А., Рошинский Р. С., Федоров А. С., Чудинов Д. М. Обзор систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи // Экономика и качество систем связи, 2023. № 4(30). С. 85–102.
7. ETSI TS 145 008 V17.0.0 (2022-05) Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); GSM/EDGE Radio subsystem link control.
8. ETSI TS 127 007 V17.5.0 (2022-05) Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G.
9. ETSI TS 145 005 V15.1.0 (2018-10) Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); GSM/EDGE Radio transmission and reception.

10. ETSI TS 125 101 V10.1.0 (2011-05) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD).
11. ETSI TS 125 102 V11.3.0 (2012-10) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD).
12. 3GPP 36.101 Release 8 - “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception”.
12. 3GPP 25.331 Release 99 - “Radio Resource Control (RRC); Protocol specification”.
13. 3GPP TS 03.03 V7.8.0 (2003-09) – “Numbering, Addressing and Identification”.
14. ETSI TS 123 003 V3.7.0 (2000-12) Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Numbering, addressing and identification.
15. ETSI TS 125 213 V9.2.0 (2010-10) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Spreading and modulation (FDD).
16. Синхронизация в LTE // URL: http://anisimoff.org/lte/lte_synch.html (дата обращения: 14.01.2024).
17. ETSI TS 125 215 V3.1.1 (2000-01) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Physical layer – Measurements (FDD).
18. ETSI TS 136 133 V13.3.0 (2016-05) LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management.
19. 3GPP 25.133 Release 99 V17.0.0 – “Requirements for support of radio resource management (FDD)”.
20. 3GPP 36.213 Release 8 V18.1.0 – “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedure”.
21. 3GPP 36.921 Release 9 V17.0.0 – “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis”.

УДК 621.391.81
ГРНТИ 49.43.29

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИИ LoRa НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ HelTec Automation LoRa 32

А. А. Прасолов, Р. С. Рощинский, А. С. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе предложена методика оценки качества покрытия технологии LoRa, основанной на проведении радиоизмерений таких параметров ее физического уровня, как уровень принимаемого сигнала, отношение сигнал/шум и показатель потери пакетов. Предложенная методика основана на опыте использования платформы HelTec Automation LoRa 32, построенной на базе системы на кристалле ESP32 и радиомодулей LoRa семейства Semtech SX127X.

радиоизмерения, LoRa, физический уровень, уровень принимаемого сигнала, отношение сигнал/шум, показатель потери пакетов

Технология LoRa является одной из рекомендуемых технологий для построения узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации [1]. Для работы данная технология, как правило, использует нелицензируемые частотные диапазоны, определяемые и регулируемые на основе региональных ограничений. В странах Европы, как правило, для технологии LoRa выделяются диапазоны 433 и 868 МГц, которые достаточно близко расположены к участкам спектра, традиционно используемым различными системами подвижной связи (например, GSM, UMTS, LTE, TETRA), а также гражданскими радиостанциями, мощности излучения устройств которых на несколько порядков выше, чем у устройств технологии LoRa. Несмотря на возможность работы устройств технологии LoRa при отрицательном отношении сигнал/шум, для проведения планирования и дальнейшей эксплуатации развернутой сети перед ее развертыванием требуется проведение предварительных радиоизмерений. В данной работе предложена методика измерения параметров физического уровня технологии LoRa на базе платформы HelTec Automation LoRa 32.

Рассматриваемая платформа построена на базе системы на кристалле ESP32 и приемопередатчиков стандарта LoRa семейства Semtech SX127x (SX1276 и SX1278 для диапазонов 868 МГц и 433 МГц соответственно) [2]. Данные приемопередатчики поддерживают частотные диапазоны 868 МГц и 433 МГц, коэффициент расширения (англ. Spreading Factor, SF) от 7 до 12, мощность излучения до 20 дБм, ширину канала до 500 кГц, а также уровень чувствительности вплоть до минус 148 дБм [3], что позволяет провести из-

мерения для планируемых сетей с различным набором параметров. Внешний вид платформы HelTec Automation LoRa 32 с подключенной ненаправленной антенной представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Платформа HelTec Automation LoRa 32

В работах [4–12] представлены примеры результатов измерений параметров физического уровня технологии LoRa, проведенных как в России (Санкт-Петербург, Ленинградская область, Омск, Ижевск), так и в странах Европы (Финляндия, Италия, Франция). На основании приведенных работ можно выделить следующий минимальный набор параметров, необходимых для проведения измерений – уровень принимаемого сигнала (англ. Received Signal Strength Indicator, RSSI), отношение сигнал-шум (англ. Signal-to-Noise Ratio, SNR), а также показатель потери пакетов (англ. Packet Loss Ratio, PLR) либо показатель доставленных пакетов (англ. Packet Delivery Ratio, PDR).

При проведении измерений необходимы два устройства HelTec Automation LoRa 32. Одно из них выступает в качестве передатчика, второе – в качестве приемника и средства проведения измерений.

На стороне передатчика с помощью программного обеспечения задаются следующие параметры: несущая частота и ширина канала, SF и скорость кода, а также мощность излучения. Передатчик циклически передает пакеты данных, полезной нагрузкой которых служат порядковые номера этих пакетов (например, от 1 до 100), за счет чего на стороне приемника будет возможно определить показатель потери пакетов. Алгоритм работы передатчика при измерениях параметров физического уровня технологии LoRa представлен на рисунке 2.

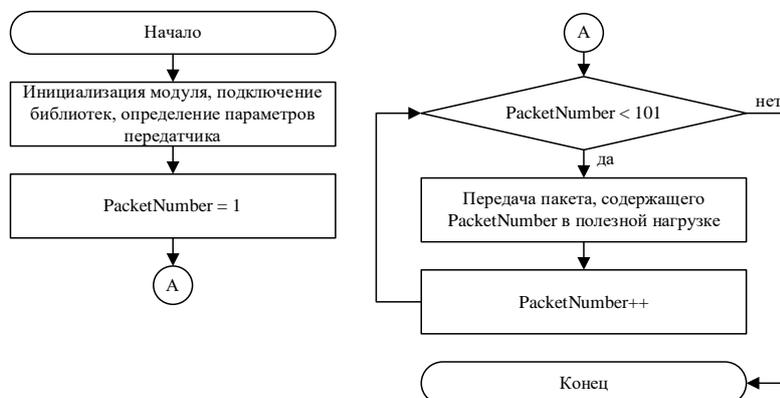


Рис. 2. Алгоритм работы передатчика при измерениях параметров физического уровня технологии LoRa

Маршрут для проведения измерений рекомендуется определить заранее, а точки проведения измерений (расположения приемника) отметить на карте, как это сделано, например, в работах [4] и [5]. Также, для проведения пост-анализа результатов и оценки качества покрытия на карте можно отметить и расположение передатчика. Для занесения результатов измерений составляется таблица, где для справки может быть отмечено расстояние до каждой из точек проведения измерений.

Измерения выделенных выше параметров проводятся с помощью аппаратных средств платформы и программного обеспечения. В приемопередатчиках семейства Semtech SX127x для измерений энергетических параметров, таких как отношение сигнал-шум и уровень принимаемого сигнала, необходимо задействовать регистры, входящие в состав чипсета [3] [13]–[14], а также преобразовать полученные первичные с них значения для интерпретации в требуемых единицах измерения (дБ, дБм) в соответствии с рекомендациями Semtech.

Отношение сигнал-шум оценивается в дБ с помощью регистра *RegPktSnrValue* согласно следующему выражению:

$$SNR = \frac{RegPktSnrValue}{4}$$

Для оценки уровня принимаемого сигнала используются регистры *RegRssiValue* и *RegPktRssiValue*. С помощью регистра *RegRssiValue* уровень принимаемого сигнала может быть интерпретирован в любой момент времени при приеме пакета. Для получения более точных результатов измерения их рекомендуется усреднять за все время приема пакета. Уровень принимаемого сигнала оценивается в дБм с согласно следующим выражениям:

$$RSSI = X + RegRssiValue$$

$$PacketRSSI = X + RegPktRssiValue$$

В случае, если полученное отношение сигнал-шум оказывается отрицательным, то это необходимо учитывать при оценке уровня принимаемого сигнала следующим образом:

$$RSSI = X + RegRssiValue + SNR$$

$$PacketRSSI = X + RegPktRssiValue + SNR$$

В приведенных выше выражениях константа *X* представляет из себя поправочный коэффициент, зависящий от частотного диапазона. Для диапазона 868 МГц ее значение составляет минус 157 дБм, для диапазона 433 МГц – минус 164 дБм.

Алгоритм измерений энергетических параметров физического уровня технологии LoRa, составленный на основе представленных выражений, представлен на рисунке 3.

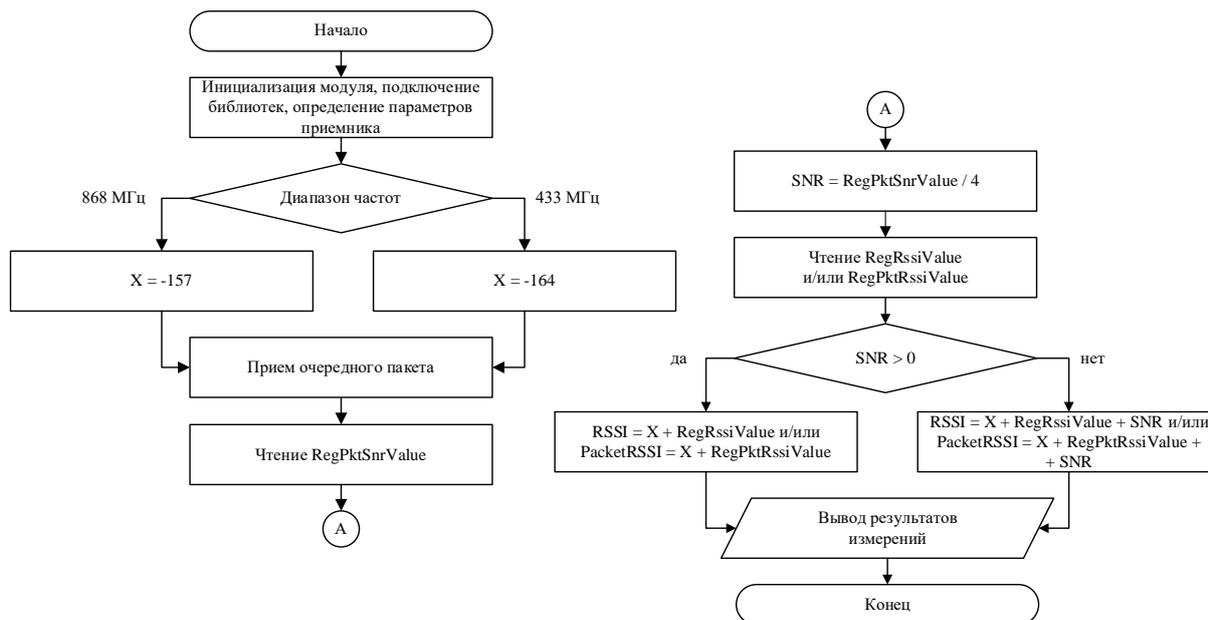


Рис. 3. Алгоритм измерений энергетических параметров физического уровня технологии LoRa

Стоит отметить, что на точность измерений энергетических показателей может влиять конфигурация усилителей и системы автоматической регулировки усиления, входящих в состав модуля, параметры подключенных элементов антенно-фидерного тракта, а также прием сигналов с уровнем выше минус 100 дБм. Для повышения точности измерений рекомендуется скорректировать константу X при помощи калибровки используемого модуля, а также внести в стандартные формулы поправочные коэффициенты.

В каждой из точек маршрута энергетические параметры усредняются по итогу приема всех переданных пакетов.

Для оценки показателя потери пакетов, представляющего из себя отношение числа потерянных пакетов к общему числу переданных пакетов в %, необходимо реализовать алгоритм в программном обеспечении приемника. При приеме очередного пакета данных алгоритм сравнивает его порядковый номер (заложенный в полезной нагрузке) с ожидаемым номером пакета. Ожидаемый номер пакета определяется исходя из предыдущего успешно принятого пакета. В случае, если номер принятого пакета не равен номеру ожидаемого пакета (что отражает случай, когда один или несколько пакетов не были доставлены), показатель потери пакетов инкрементируется до тех пор, пока ожидаемый номер пакета и номер принятого пакета не совпадут. Алгоритм измерений показателя потери пакетов технологии LoRa представлен на рисунке 4.

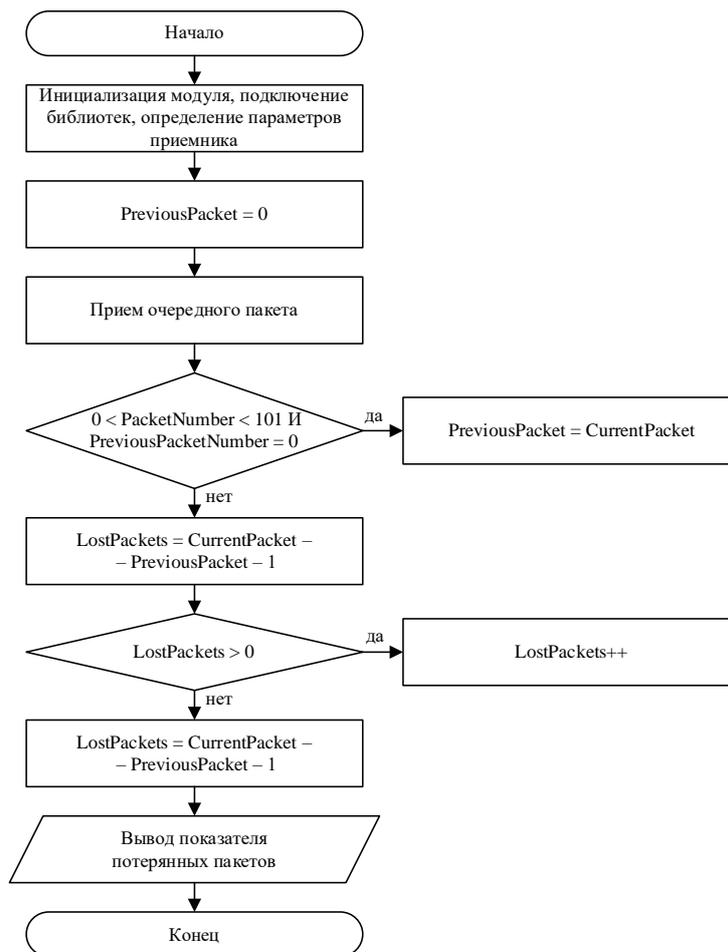


Рис. 4. Алгоритм измерений показателя потери пакетов технологии LoRa

Таким образом, представленные в данной работе методика и алгоритмы позволяют оценить не только качество покрытия системы LoRa с точки зрения энергетических параметров, но и качество предоставления услуг абоненту с помощью показателя потери пакетов. Полученные данные о покрытии могут быть проанализированы с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости, а также быть сравнены с теоретическими расчетами, полученным с помощью моделей распространения радиоволн. Представленные алгоритмы могут быть реализованы в том числе и на других платформах, а также быть скорректированы при использовании модулей Semtech других семейств. Также, при доработке платформы путем подключения к ней внешнего GPS-модуля и программной реализации записи результатов измерений в текстовый лог-файл, результаты измерений могут быть реализованы с помощью программного обеспечения для проведения пост-анализа, описанного в работе [15].

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 в ЕГИСУ НИОКТР на 2024 год.

Список используемых источников

1. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 29 марта 2019 года № 113 «Об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/554066760/> (дата обращения: 15.02.2024).
2. WiFi LoRa 32 (V2.1) Datasheet // HelTec Automation. URL: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32> (дата обращения: 15.02.2024).
3. Semtech SX1276-7-8-9 Datasheet // Semtech. URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-connect/sx1276> (дата обращения: 15.02.2024).
4. Андреев Р. А., Прасолов А. А., Федоров А. С. Исследование дальности связи технологии LoRa в условиях мегаполиса // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-т. СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 21–27.
5. Андреев Р. А., Прасолов А. А., Федоров А. С. Анализ применимости известных моделей распространения радиоволн для технологии LoRa // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 13–17.
6. Седунов Д. П., Жунусова А. С., Зырянова Ю. О. Расчет параметров системы беспроводного сбора данных сети LoRaWAN // Техника радиосвязи, 2021. №. 2. С. 31–41.
7. Суслов К. Н., Варнаков С. А. Исследование применимости технологии LoRa с учетом особенностей помеховой обстановки // Нанотехнологии. Информация. Радиотехника (НИР-22), 2022. С. 45–49.
8. Сенаторов Л. А., Зиятдинов С. Ф. Исследование максимального расстояния передачи модуля LoRa SX1278 // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании, 2021. С. 255–260.
9. Augustin A., Yi J., Clausen T., Townsley W. M. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things // Sensors, 2016. Vol. 16. №. 9. P. 1466.
10. Petajajarvi J., Mikhaylov K., Roivainen A., Hanninen T., Pettissalo M. On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology // 2015 14th international conference on its telecommunications (itst). IEEE, 2015. PP. 55–59.
11. Centenaro M., Vangelista L., Zanella A., Zorzi M. Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios // IEEE Wireless Communications. 2016. Vol. 23. №. 5. PP. 60–67.
12. Dieng O., Pham C., Thiare O. Comparing and Adapting Propagation Models for LoRa Networks // 2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, 2020. PP. 1–7.
13. Гаевский С. Чипсеты SX127x с радиоканалом LoRa: применение в системах связи // Беспроводные технологии, 2017. №. 2. С. 30–32.
14. Верхулевский К. Технология LoRa в вопросах и ответах // Беспроводные технологии, 2016. №. 1. С. 1–821.
15. Прасолов А. А., Роцинский Р. С., Федоров А. С., Чудинов Д. М. Обзор систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи // Экономика и качество систем связи, 2023. №. 4 (30). С. 85–102.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОКАНАЛА СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ

А. А. Прасолов, Р. С. Рощинский, А. С. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе были проанализированы параметры радиоканала сетей сотовой связи, которые можно получить с помощью специального программного обеспечения. Приведена сравнительная характеристика рассмотренных абонентских терминалов и их разница в результатах получения параметров. Результаты исследования позволят сформировать требования к характеристикам устройств, на которых будут проводиться дальнейшие радиоизмерения.

измерения, радиосвязь, сеть, радиопараметры

В работе [1] рассматривались готовые решения программ по сбору параметров радиоканала на базе готовых программных решений и выбор эталонной программы для реализации собственного программного обеспечения. В работах [2–3] была апробирована разработанная программа и предоставлены результаты ее работы. Однако в ходе работы было обнаружено, что на различных абонентских терминалах, программа может работать с ошибками, не выдавать параметры и иметь ограничения в работе, связанные с аппаратной частью телефона. Далее будут рассмотрены несколько примеров работы программы по сбору параметров радиоканала.

В таблице 1 приведены все параметры, которые доступны для получения.

ТАБЛИЦА 1 Перечень параметров

GSM	UMTS	LTE
Определение Cell ID	Определение Cell ID	Определение используемого Band
Определение ARFCN	Определение LAC	Определение полосы пропускания
Получение BSIC	Получение MCC	Определение Cell ID
Определение LAC	Получение MNC	Определение EARFCN
Получение MCC	Определение оператора сети	Получение MCC
Получение MNC	Получение PSC	Получение MNC
Определение оператора сети	Определение UARFCN	Определение оператора сети

GSM	UMTS	LTE
Получение PSC	Получить RSCP в ASU	Получение PCI
Получение значения RSSI в ASU	Получение RSCP в виде значения дБм -120...-24 дБм	Определение TAC
Получение значения коэффициента битовых ошибок.	Получить значение Ec/No в дБ.	Получить RSRP в ASU
Получение значения Rxlevel	Получение значения абстрактного уровня для общего качества сигнала	Получить индикатор качества канала
		Получение уровня сигнала в дБм
		Получение значения абстрактного уровня для общего качества сигнала
		Получение мощности принимаемого опорного сигнала в дБм Диапазон: от -140 дБм до -43 дБм
		Получение качества принимаемого опорного сигнала
		Получение показателя уровня принимаемого сигнала (RSSI) в дБм Диапазон значений [-113, -51] включительно
		Получение отношения сигнала опорного сигнала к шуму в дБ Диапазон: от -20 дБ до +30 дБ
		Получить значение TA для LTE, как значение в диапазоне 0..1282

Для проведения исследования были выбраны телефоны с различным чипсетом и различных производителей. В таблице 2 приведены используемые абонентские терминалы и их технические характеристики.

ТАБЛИЦА 2 Абонентские терминалы и установленные в них чипы

Абонентский терминал	Характеристики
Samsung S23 Ultra	Qualcomm Snapdragon 8 Gen 2
Realme 6 Pro8	Qualcomm Snapdragon 720G
Samsung Galaxy Note10 Lite	<i>Exynos 9810</i>
Samsung Galaxy S21 5G	Exynos2100
Xiaomi Redmi Note 8 Pro	Mediatek mt6785 Helio G90T
HUAWEI P40 Lite	Kirin 810
Samsung Galaxy A52	Qualcomm Snapdragon 720G
Redmi Note 11 Pro+	MediaTek Dimensity 920

Маршрут проведения измерений был выбран вдоль проспекта Большевиков. Все исследуемые абонентские терминалы работали на разработанном ПО и время начала измерений было одновременным. На рисунке 1 представлен маршрут проведения измерений.

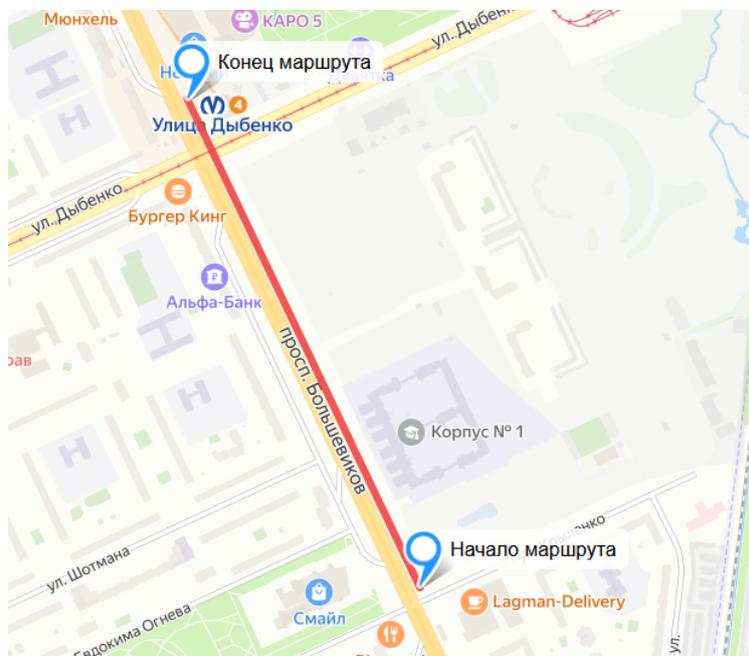


Рис. 1. Маршрут исследования

По результатам измерений были получены следующие результаты, которые приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Результат исследования

	Samsung S23 Ultra	Realme 6 Pro8	Samsung Galaxy Note10 Lite	Samsung Galaxy S21 5G	Xiaomi Redmi Note 7	HUAWEI P40 Lite	Samsung Galaxy A52	Redmi Note 11 Pro+
Оператор	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть
Тип сети	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
MCC	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
MNC	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Дуплекс	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
TAC/LAC	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
CID	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
eNB	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Band	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть

	Samsung S23 Ultra	Realme 6 Pro8	Samsung Galaxy Note10 Lite	Samsung Galaxy S21 5G	Xiaomi Redmi Note 7	HUAWEI P40 Lite	Samsung Galaxy A52	Redmi Note 11 Pro+
Частота	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть
Полоса	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть
Абсолютная частота	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Uplink/downlink	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
PCI	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
PSC	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
RNC	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть
BSIC	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
RSSI	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть
RSRP	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
RSRQ	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
SNR	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Ec/No	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть	Есть
BER	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
CQI	Нет	Нет	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет
TA	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть	Есть

Как видно из таблицы 3, абонентские терминалы Samsung S23 Ultra, Redmi Note 11 Pro+ и Samsung Galaxy S21 5G предоставляют доступ к большей части параметров радиоканала с некоторыми исключениями. Однако был произведен тест на возможность записи в фоновом режиме, где были получены следующие результаты, приведенные в таблице 4. Данная возможность ограничивает работы устройств для проведения радиоизмерений.

ТАБЛИЦА 4. Результат исследования работы в фоновом режиме

	Samsung S23 Ultra	Realme 6 Pro8	Samsung Galaxy Note10 Lite	Samsung Galaxy S21 5G	Xiaomi Redmi Note 7	HUAWEI P40 Lite	Samsung Galaxy A52	Redmi Note 11 Pro+
Запись в фоне	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет

Помимо телефонов на базе операционной системы Android, был рассмотрен концепт разработки приложения на отечественном телефоне на операционной системе Аврора [4]. На момент написания данной работы, протестирована возможность получения параметров радиоканала без возможности фиксации их в CVS файл. В таблице 5 приведены параметры, которые доступны для будущих работ.

ТАБЛИЦА 5. Доступные параметры на операционной системе Аврора

Параметр	Тип сети
LAC	UMTS/GSM
Cell ID	UMTS/GSM/LTE
MNC	UMTS/GSM/LTE
MCC	UMTS/GSM/LTE
Абсолютная частота	UMTS/GSM/LTE
RXlevel	GSM
BSIC	GSM
BER	GSM
PSC	UMTS
TA	GSM/LTE
RSSI	UMTS/GSM/LTE
RSCP	UMTS
Ec/Eo	UMTS
RSRQ	LTE
RSRP	LTE
Band	LTE
CQI	LTE
PCI	LTE
TAC	LTE
SNR	LTE

По полученным результатам было определено, что модель процессора и марка телефона влияют на возможность вывода ряда важных параметров, а также на фоновый режим работы разработанного мобильного приложения. Для корректной работы и унификации измерительного устройства было выдвинуто предложение по разработке собственного макета для проведения радиоизмерений на базе готовых модемов SIMCom Wireless Solutions модели SIM7600E-N сотовой связи, так как они поддерживают все доступные на данный момент частотные диапазоны всех стандартов связи, а также доступны для покупки на рынке.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 1023031600087-9-2.2.4;2.2.5;2.2.6;1.2.1;2.2.3 на 2024 год.

Список используемых источников

1. Прасолов А. А., Рощинский Р. С., Федоров А. С. Обзор программного обеспечения абонентских устройств для сбора первичных данных сетей сотовой связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 448–453.

2. Рощинский Р. С. Оценка качества покрытия мобильной сети Архангельской области // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023): Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; Сборник лучших докладов: в 2-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 26–30.

3. Прасолов А. А., Рощинский Р. С., Федоров А. С., Чудинов Д. М. Обзор систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи // Экономика и качество систем связи, 2023. № 4 (30). С. 85–102.

4. ОС Аврора URL: <https://auroraos.ru/> (дата обращения: 23.12.2023).

УДК 004.383.3
ГРНТИ 47.55.35

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА ANALOG DEVICES ADAU1401

А. А. Прасолов, О. А. Свиньина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассмотрены основные преимущества использования процессоров цифровой обработки сигналов для выполнения коррекции амплитудно-частотных характеристик громкоговорителей и помещений, а также в качестве разделительных фильтров для многополосных акустических систем. Предложено универсальное аппаратное решение на базе цифрового сигнального процессора Analog Devices ADAU1401 и USB-микроконтроллера Cypress Semiconductor CY7C68013A. Приведены результаты измерения частотной характеристики звукового давления широкополосных акустических систем до и после выполнения частотной коррекции. Предложены варианты усовершенствования изготовленного прототипа.

цифровой сигнальный процессор, цифровая обработка аудиосигналов, коррекция частотной характеристики звукового давления акустической системы

В настоящее время использование алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС) находит широкое применение в современной технике. В качестве устройств, реализующих алгоритмы ЦОС, может быть использован широкий класс различных аппаратных средств, таких как: микропроцессоры общего назначения, цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), интегральные схемы для конкретного применения (англ. Application-Specific Integrated Circuit, ASIC). С точки зрения простоты в разработке и отладке в качестве аппаратных устройств для цифровой обработки аудиосигналов наибольшее распространения получили ЦСП. Использование микросхем программируемой логики становится оправданным только в случае возрастания требований к скорости вычислений. Остальные же аппаратные решения, как правило, уступают ЦСП и ПЛИС по стоимости реализации.

Использование устройств ЦОС значительно упрощает решение широкого набора задач акустики и аудиотехники, в частности:

- коррекция частотной характеристики звукового давления (ЧХЗД) громкоговорителей;
- аппаратная реализация цифровых разделительных фильтров в многополосных акустических системах (АС);

- коррекция фазочастотных характеристик (ФЧХ) АС;
- коррекция амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) помещений в области низких частот (до 150–200 Гц);
- аппаратная реализация любых цифровых алгоритмов обработки звуковых сигналов (динамическая обработка, звуковые эффекты, искусственная реверберация и т. д.).

Использование устройств ЦОС для выполнения частотной обработки звуковых сигналов обладает целым рядом преимуществ. Цифровые технологии позволяют получить более высокую точность фильтрации, избавиться от частотных и фазовых искажений, вносимых реактивными электронными компонентами, а также повысить повторяемость АЧХ фильтров при серийном производстве. Кроме того, наличие возможности оперативного изменения параметров корректирующих или – при проектировании многополосной АС – разделительных фильтров без замены элементной базы позволяет мгновенно оценить ЧХЗД и ФЧХ АС. При использовании устройств ЦОС для коррекции АЧХ помещений значительно упрощается процедура настройки параметрического эквалайзера при изменении обстановки помещения прослушивания.

На зарубежном рынке представлен широкий ряд готовых устройств ЦОС бытового и полупрофессионального класса. Наибольшей популярностью среди потребителей пользуются процессоры miniDSP [1] и Dayton Audio [2], выполненные на базе ЦСП Analog Devices [3] и оснащенные встроенными аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями (АЦП и ЦАП соответственно). Неоспоримым достоинством этих устройств является наличие своей собственной среды разработки с упрощенным интерфейсом, в связи с чем настройка процессора может быть выполнена пользователями, не имеющими специальных знаний в области ЦОС. Недостатком данных решений является их высокая стоимость (от 12 до 22 тыс. руб.) и отсутствие данных брендов на российском рынке.

Одним из готовых аппаратных решений российского производства являются устройства ChipDipDAC DSP machine 1 и 3 [4], выполненные на базе ЦСП Analog Devices ADAU1701 и ADAU1452 соответственно [3]. Технические характеристики данных устройств не уступают зарубежным аналогам, однако, DSP machine представляет собой автономное устройство, предназначенное не только для цифровой обработки звуковых сигналов, но также и для организации системы воспроизведения звукового и видео контента, и требует дополнительной покупки и установки мини-компьютера Raspberry Pi. Это делает использование DSP machine нерациональным для коррекции АЧХ и ФЧХ АС, особенно если ЦСП и усилитель звуковой частоты (УЗЧ) планируется разместить внутри ее корпуса. Кроме того, интерфейс среды

разработки ChipStudio практически не отличается от интерфейса среды разработки Sigma Studio от Analog Devices [5], что также не оправдывает покупку данного устройства специалистами, имеющими опыт работы с ЦСП.

Более рациональным вариантом является самостоятельная разработка и сборка устройства ЦОС на базе отладочной платы с ЦСП Analog Devices ADAU1401 [3], технические характеристики которого аналогичны характеристиками ЦСП ADAU1701, используемом в большинстве рассмотренных готовых устройств (табл. 1).

Для программирования ЦСП можно приобрести USB-интерфейс Analog Devices USBi или более дешевые его аналоги от сторонних производителей. Однако самым бюджетным вариантом является самостоятельная аппаратная реализация программатора ЦСП на базе отладочной платы Infineon EZ-USB FX2LP с установленным микроконтроллером Cypress Semiconductor CY7C68013A [6]. Именно такой вариант было решено использовать при изготовлении первого прототипа предлагаемого устройства ЦОС.

Обе отладочные платы были размещены в едином корпусе, изготовленном посредством 3D печати из PLA пластика (рис. 1). Для подключения аналоговых входов и выходов ЦСП соответственно к предшествующим и последующим звеньям тракта обработки звуковых сигналов на корпусе устройства были установлены 6 разъемов типа RCA. Подключение к персональному компьютеру (ПК) осуществляется через USB-интерфейс отладочной платы EZ-USB. Питание ЦСП можно осуществлять от USB-разъема ПК, однако, при подключении к выходу устройства УЗЧ класса D необходимо использовать внешний трансформаторный блок питания. Амлитудно-частотная характеристика аналого-цифрового тракта полученного устройства представлена на рис. 2.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики ЦСП Analog Devices ADAU1401

№	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Разрядность ЦСП	бит	28/56
2	Количество входных/выходных звуковых каналов	шт	2/4
3	Частота дискретизации АЦП/ЦАП	кГц	48/48
4	Разрядность АЦП/ЦАП	бит	24/24
5	Динамический диапазон тракта АЦП/ЦАП	дБА	100/104
6	Коэффициент искажений и шума АЦП/ЦАП	дБ	-83/-90



Рис. 1. Внешний (а) и внутренний (а) вид разработанного устройства ЦОС

Поскольку основным назначением разрабатываемого устройства является выполнение частотной обработки звуковых сигналов, подаваемых на вход акустической системы, для проверки работоспособности устройства в SigmaStudio был разработан проект, позволяющий выполнять обработку сигналов, поступающих на вход АЦП, с помощью набора БИХ-фильтров второго порядка. Коэффициенты фильтров были рассчитаны с помощью ПО Room EQ Wizard [7] на основании результатов измерений ЧХЗД акустической системы. АЧХ набора фильтров, полученные для коррекции ЧХЗД громкоговорителей двух стереофонических акустических систем – в закрытом акустическом оформлении (АС1) и в оформлении с фазоинвертором (АС2), представлены на рис. 2.

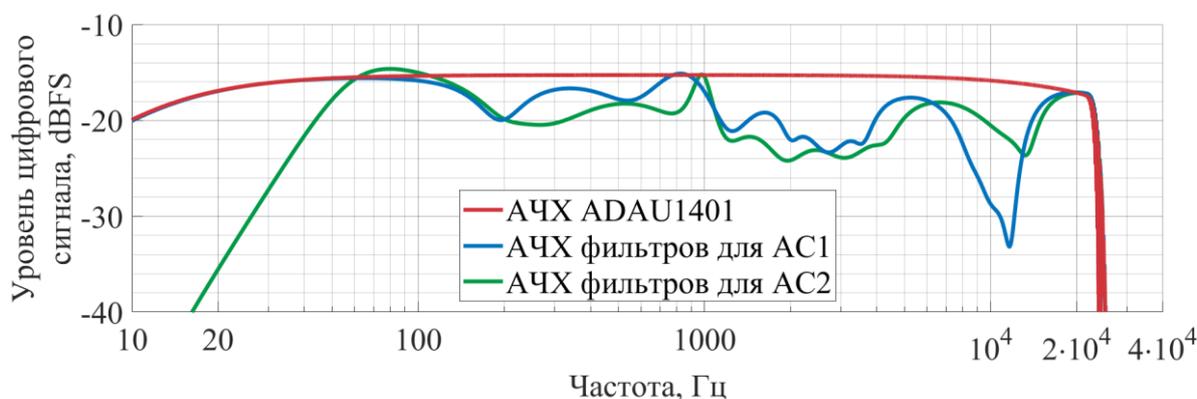


Рис. 2. АЧХ разработанного устройства (красная кривая) и АЧХ набора фильтров для коррекции ЧХЗД АС1 (синяя кривая) и АС2 (зеленая кривая)

Для оценки эффективности использования ЦСП для коррекции характеристик АС было проведено повторное измерение ЧХЗД обеих акустических систем (рис. 3). Результаты измерений подтвердили, что частотная коррекция позволила расширить эффективно воспроизводимый диапазон частот, а также значительно уменьшить влияние амплитудно-частотных искажений внутри указанного диапазона (табл. 2). Это привело к выравниванию частотного баланса и, следовательно, к более достоверной передаче

тембральной окраски воспроизводимых звуковых сигналов [8]. Использование ЦСП для выполнения частотной коррекции не привело к снижению качества звучания, поскольку динамический диапазон и коэффициент искажений и шума цифрового тракта ADAU1401 лучше аналогичных показателей большинства бытовых и полупрофессиональных USB-аудиоинтерфейсов.

В рамках дальнейшей работы планируется изготовить новый прототип, в котором в одном корпусе с отладочными платами ADAU1401 и EZ-USB будут установлены 4-канальный УЗЧ и трансформаторный блок питания. При необходимости расширения динамического диапазона цифрового тракта вместо ЦСП ADAU1401 можно использовать ЦСП ADAU1452 и подобрать внешние микросхемы АЦП и ЦАП, обладающие более высокими качественными показателями.

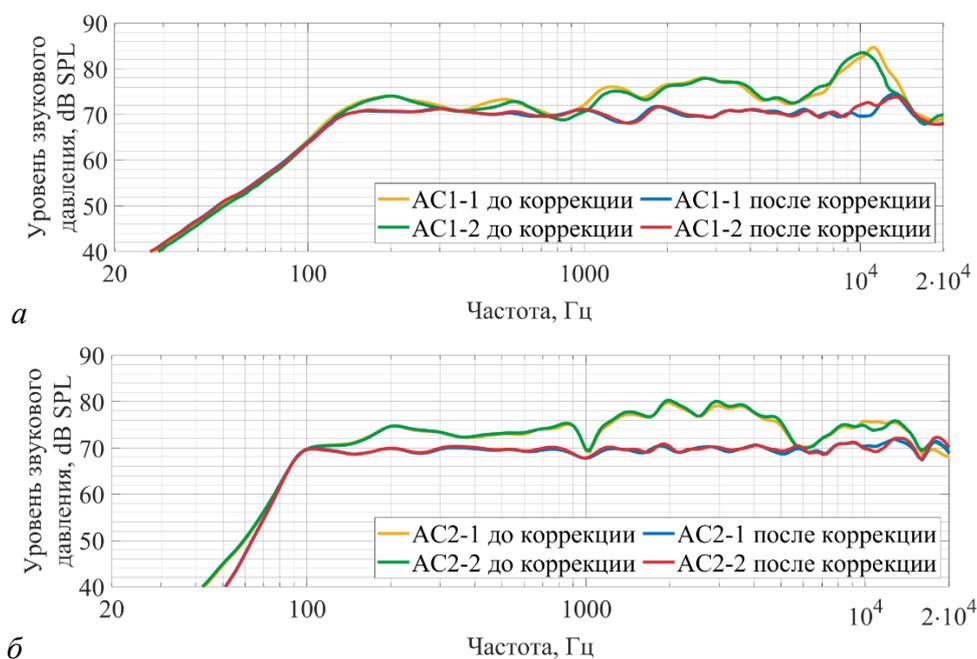


Рис. 3. ЧХЗД громкоговорителей акустической системы закрытого типа (а) и с фазоинвертором (б) до и после выполнения частотной коррекции.

ТАБЛИЦА 2. Характеристики акустических систем до и после выполнения частотной коррекции

Акустическая система		Эффективно воспроизводимый диапазон частот, Гц	Неравномерность ЧХЗД, дБ
В закрытом акустическом оформлении (АС1)	до коррекции	135–15000	16
	после коррекции	90–18000	7
В оформлении с фазоинвертором (АС2)	до коррекции	92–19000	12
	после коррекции	78–23000	5

Список используемых источников

1. Active Crossovers. URL: <https://www.minidsp.com/products/minidsp-in-a-box> (дата обращения: 27.03.2024).
2. Dayton Audio – DSP-408 4x8 DSP Digital Signal Processor for Home and Car Audio. URL: <https://www.daytonaudio.com/product/1551/dsp-408-4x8-dsp-digital-signal-processor-for-home-and-car-audio> (дата обращения: 27.03.2024).
3. SigmaDSP Audio Processors // Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/product-category/sigmadsp-audio-processors.html> (дата обращения: 27.03.2024).
4. ChipDip DAC ChipDipDac // купить в розницу и оптом. URL: <https://www.chipdip.ru/catalog-show/for-you-projects?p.0=ChipDipDac> (дата обращения: 27.03.2024).
5. SigmaStudio® // Analog Devices. URL: https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/software/ss_sigst_02.html (дата обращения 27.03.2024).
6. EZ-USB™ FX2LP FX2G2 USB 2.0 Peripheral Controller – Infineon Technologies. URL: <https://www.infineon.com/cms/en/product/universal-serial-bus/usb-2.0-peripheral-controllers/ez-usb-fx2lp-fx2g2-usb-2.0-peripheral-controller/> (дата обращения: 27.03.2024).
7. Mulcahy J. REW – Room EQ Wizard Room Acoustics Software. URL: <https://www.roomeqwizard.com/> (дата обращения: 27.03.2024).
8. Алдошина И. А., Войшвилло А. Г. Высококачественные акустические системы и излучатели / И. А. Алдошина, А. Г. Войшвилло. Москва: Радио и связь, 1985. 168 с.

УДК 37.022
ГРНТИ 19.61.00

К ВОПРОСУ ОБ ОЛЬФАКТОРНОЙ МОДАЛЬНОСТИ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

К. Ю. Прохоров, Е. И. Туманова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В эпоху цифровизации и технологий такой навык инженера, как способность творчески решать поставленные задачи, становится особенно значим. Использование максимального количества стимулов дает возможность развивать креативность у обучающихся технических специальностей. Цифровые технологии в образовании позволяют персонализировать процесс обучения, сделав его более качественным и эффективным. Прогресс в исследованиях в области ольфакторной модальности позволяет применить полученные результаты для создания новых эффективных обучающих систем с использованием технологий иммерсивной реальности и искусственного интеллекта. В статье представлен анализ существующих цифровых технологий запахов (англ. Digital Scent Technology), а также возможность их применения в различных сферах жизни человека, приведены дальнейшие направления исследований.

цифровые технологии запахов, ольфакторная модальность, e-nose.

Среди направлений исследований в области ольфакторной модальности можно выделить следующие: классификация запахов, исследования обонятельной системы человека и животных, разработка возможности передачи запаха в качестве цифрового носителя, генерация запахов, и др. В некоторых случаях также встречаются работы, которые посвящены альтернативным способам взаимодействия с обонятельной системой [1–7].

1. Исследования в области взаимодействия с обонятельной системой

Звуковая стимуляция обоняния

В некоторых работах, в частности [1], исследуется влияние стимуляции специальными звуковыми фрагментами (шумы, разные тона, специальные звуки) на распознавание запахов. Прямой корреляции между звуковой стимуляцией и распознаванием запахов в них не выводится, но утверждается, что в процессе экспериментов при использовании определенных звуковых фрагментов испытуемым удавалось легче определить запах, или же описать его с помощью определенного дескриптора (например, «сладкий», «приторный», «цитрусовый» и т. д.).

В работе [2] рассматривается связь звуков, имитирующих врожденную реакцию отвращения с неприятными запахами. Ввиду возможностей вербального кодирования запаха, в работе представлены экспериментальные доказательства связи между звучанием слова и валентностью запаха.

Электрическая стимуляция обоняния

В [3–4] представлена и описана цифровая технология, предназначенная для передачи запаха через цифровые сети. Для этого, был разработан цифровой интерфейс, активирующий обонятельные ощущения, посредством стимуляции обонятельных рецепторов носовой раковины с помощью слабых электрических импульсов.

В [4] также представлен метод проведения тестирования с использованием разработанной технологии, с учетом физиологии человека. Авторы отмечают, что во время предварительного тестирования подгруппа участников сообщила, что ощущала разные ощущения запаха и различия в воспринимаемой интенсивности запаха, что может указывать на существование связи между электрической стимуляцией и обонятельными ощущениями.

Влияние визуальных образов на восприятие запахов

В [5] авторы, со ссылкой на результаты исследований влияние визуальных образов восприятия запахов, отмечают, что визуальный стимул может вызывать образ объекта достаточно сильно, чтобы вызвать ожидание запаха объекта, что в свою очередь усиливает воспринимаемую интенсивность и предпочтение запаха испытуемым. Достоверность этих результатов подтверждают результатами схожих исследований, в которых вместо визуальных образов использовались слова.

Параметризация запаха

В [6] в рамках проекта H2020 D-NOSES, была предпринята попытка обобщить и описать методы измерения запаха, подчеркнув различия между различными методами с точки зрения принципов, на которых они основаны, типа предоставляемой информации, применимости и ограничений. В статье отмечается, что при измерении запаха во многих ситуациях комплексный подход, сочетающий различные методы, является лучшим решением.

В [7] описывается возможность количественной оценки запаха по 5-ти параметрам, определяющим реакцию человека. К этим параметрам относят: пороговые значения запаха, интенсивность запаха, стойкость запаха, гедонистический тон и характеристика запаха.

2. Технологии определения запаха

Технологии определения запахов можно разделить на следующие 4 группы: хроматография и спектроскопия, мультисенсорные устройства, электронный нос (E-nose), биотехнологии.

Хромато-масс-спектрометрия – аналитический метод, основанный на сочетании возможностей хроматографа и масс-спектрометра, использующийся для количественного и качественного определения отдельных компонентов в сложных смесях [8]. Хромато-масс-спектрометрия была разработана в 50-х годах XX века, а первый прибор собран и протестирован в 60-х годах.

Несмотря на высокую точность, ГХ-МС является дорогостоящим методом и требует времени для проведения анализов. Он позволяет получить и детализировать химический состав смеси, но получаемые данные все еще далеки от глобального сенсорного восприятия человеческого носа.

Мультисенсорные устройства [9] полагаются на несколько датчиков для измерения широкого диапазона параметров в данный момент времени. Обычно в них встроены готовые датчики, специфичные для целого ряда переменных, таких как влажность, температура, специфические газы и твердые частицы. Информация, полученная с помощью этого подхода к объединению данных, дает общий обзор глобального состояния системы (например, транспортных средств, промышленных установок).

Электронный нос – это устройство, которое распознает запах более эффективно, чем человеческое обоняние, за счет использования механизма для обнаружения химических веществ [10]. Он обеспечивает внешние преимущества для различных коммерческих отраслей промышленности, сельского хозяйства, биомедицины, косметики, охраны окружающей среды, продуктов питания, водоснабжения и различных областей научных исследований.

Под биотехнологиями [11] подразумевается вид устройств для обнаружения запахов, которые основаны на биомимикрии и являются результатом глубокого понимания механизма обоняния. В этих устройствах [12] сенсорами являются биологические молекулы, подобные обонятельным рецепторам, покрывающим носовой эпителий.

3. Обонятельные интерфейсы

В [13] сообщается о концепции систем обонятельной обратной связи с кожным интерфейсом и беспроводными программируемыми возможностями, основанных на массивах гибких и миниатюрных генераторов запахов (odor generator или OG) для обонятельных приложений виртуальной реальности. Репрезентативные демонстрации просмотра 4D-фильмов, доставки обонятельных сообщений, лечения, контроля человеческих эмоций и онлайн-обучения на основе VR/AR доказывают большой потенциал интерфейса мягкого обоняния в различных практических приложениях, включая развлечения, образование, человеко-машинные интерфейсы и т.д.

4. Технологии цифрового запаха

Таблица 1 содержит перечень компаний и предоставляемые ими продукты.
ТАБЛИЦА 1. Перечень компаний и предоставляемые ими продукты

Компания	Предлагаемый продукт или разработка
St. Croix Sensory, Inc.	Измерительное и испытательное оборудование: – полевые и стационарные ольфактометры; – тестовые наборы; – оборудование и материалы для отбора проб; – ПО для мониторинга запахов и отображения графических сводок.
Scentroid	
Moodo	
Scentee	Диффузоры для распространения запахов, с возможностью управления через приложение посредством смартфона.
Aromajoin	Собственная библиотека запахов.
OVR Technology	Внедрение обонятельных технологий в виртуальную и дополненную реальность (VR и AR): – аппаратное оборудование; – программное обеспечение; – собственная система для улавливания, каталогизации и воссоздания запахов.

Заключение

В данной статье представлена информация о работах, затрагивающих тему обоняния, технологиях определения запаха и технологиях цифрового обоняния.

Эталонная цифровая технология распознавания и генерации запахов должна быть комплексной системой, обеспечивающей следующие возможности:

- распознавать, анализировать и классифицировать запах;
- оцифровка и передача запаха посредством цифровых носителей;
- генерировать, распространять и нейтрализовать создаваемые запахи.

Такая система поможет расширить мультимедийный опыт пользователя, добавив к уже привычному и устоявшемуся аудио и видео формату еще и обонятельную составляющую восприятия медиаконтента.

Стоит отметить, что существующие технологии определения запахов вносят существенный вклад в создание таких систем, однако они так же имеют свой ряд существенных недостатков. Так, например, хроматография и спектроскопия могут дать точную информацию о составе запаха, но являются дорогостоящим и время затратными процессами, явно ограничивая возможность их широкого использования. Эффективность работы электронных носов (E-nose) ограничивается используемыми в них датчиками,

реагирующими на конкретное химическое соединение, и системой, которая сопоставляет и интерпретирует полученную с датчиков информацию с конкретным запахом. Такой подход не обеспечивает полноценного совпадения и требует предварительной тренировки системы.

Опираясь на данные таблицы 1 и вышесказанное, можно утверждать, что на сегодняшний момент не существует такой технологии или разработки, которая бы объединяла в себе возможности генерации, распознавания, распространения, оцифровки и передачи запаха, и одновременно с тем быть коммерчески доступной широкому кругу пользователей.

Цифровые технологии в образовании позволяют персонализировать процесс обучения, сделав его более качественным и эффективным. Использование максимального количества стимулов дает возможность развивать креативность у обучающихся технических специальностей. Прогресс в исследованиях в области ольфакторной модальности позволяет применить полученные результаты для создания новых эффективных обучающих систем с использованием технологий иммерсивной реальности и искусственного интеллекта.

Список используемых источников

1. Berrez P. and Dexwik C. The Sound of Smell : Possibilities for communicating an odor with sound aiding olfactory impairment, Dissertation, 2022.
2. Speed L. J. et al. The Sound of Smell: Associating Odor Valence with Disgust Sounds. *Cognitive Science*, 45: e12980. 2021. <https://doi.org/10.1111/cogs.12980>.
3. Hariri S. et al. Electrical stimulation of olfactory receptors for digitizing smell. In Proceedings of the 2016 workshop on Multimodal Virtual and Augmented Reality (MVAR '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 4, 2016. PP. 1–4. <https://doi.org/10.1145/3001959.3001964>.
4. Karunanayaka et al. Virtual Taste and Smell Technologies for Multisensory Internet and Virtual Reality, 2018. Chapter 6. PP. 93–115.
5. Nobuyuki Sakai et al. The Effect of Visual Images on Perception of Odors, *Chemical Senses*, Volume 30, Issue suppl_1, January 2005, Pages i244–i245, <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh205>.
6. Bax C, Sironi S, Capelli L. How Can Odors Be Measured? An Overview of Methods and Their Applications. *Atmosphere*, 2020; 11(1): 92.
7. St.Croix Sensory, Inc., Odor Parameters, 2018, <https://www.fivesenses.com/library/> <https://chromatograf.ru/2022/10/04/hromato-mass-spektrometry-princip-dejstvija/>.
8. Duan G. et al., Three-Terminal Artificial Olfactory Sensors based on Emerging Materials: Mechanism and Application. *Adv. Funct. Mater.* 2023, 33, 202209969. <https://doi.org/10.1002/adfm.202209969>.
9. Gardner J. W. & Bartlett P. N. *Electronic Noses. Principles and Applications. Measurement Science and Technology*, 2000. 11. 1087. 10.1088/0957-0233/11/7/702.
10. Qin C. et al., Artificial Olfactory Biohybrid System: An Evolving Sense of Smell. *Adv. Sci.* 2023, 10, 2204726.
11. Tetsuya Yamada et al., Highly sensitive VOC detectors using insect olfactory receptors reconstituted into lipid bilayers. *Sci. Adv.* 7, eabd2013(2021). DOI:10.1126/sciadv.abd2013.
12. Liu Y. et al. Soft, miniaturized, wireless olfactory interface for virtual reality. *Nat Commun* 14, 2297, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37678-4>.

УДК 629.058
ГРНТИ 47.49.31

АНАЛИЗ СООБЩЕНИЙ NMEA GNSS В СПЕЦИАЛЬНОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ MATLAB

К. Е. Рютин, И. Г. Ушкова, Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящей работе рассматриваются особенности функционирования устройства приема сигнала глобальных навигационных спутниковых систем GlobalSat BU-353G, а также формат принимаемых данных глобальных спутниковых систем навигации NMEA, представлено описание устройства BU-353G. В разработанном программном обеспечении Matlab реализована процедура парсинга сообщений NMEA с последующим извлечением и отображением географических координат, в котором также анализируются другие сообщения и форматы принимаемых данных GNSS. Программный модуль предназначен для сопоставления точности оценок координат, а также актуален и востребован при разработке лабораторного практикума по дисциплине «Позиционирование устройств в системах беспроводных коммуникаций». В заключении формулируются сценарии использования при апробации демонстратора технологии сетевого позиционирования.

позиционирование, Matlab, GNSS, NMEA, BU-353G, GGA.

В современных [1–5] и перспективных [6–10] системах определения местоположения пользовательских устройств радиотехническими методами с использованием инфраструктуры сотовых сетей подвижной радиосвязи сценарии позиционирования [11] в условиях отсутствия прямой видимости [12–18] представляют отдельное направление исследований. Для экспериментальной апробации макета SDR-технологии сетевого позиционирования [19–22] в условиях наличия и отсутствия прямой видимости требуется метка опорных координат. Настоящая работа продолжает исследование [23] и описывает порядок парсинга сообщений систем навигации NMEA с целью извлечения опорных координат. Для этого используется USB устройство GlobalSat BU-353 (далее BU-353G) [24] (рис. 1) со встроенной активной антенной, способной принимать сигналы GPS (Global Positioning System) и GLONASS (Global Navigation Satellite System).



Рис. 1. Зависимость времени передачи от ширины полосы и уровня сигнала

Приемник работает на частотах L1 GPS и L1 GLONASS, причем на L1 принимается сигнал пониженной точности. Частота L1 для GPS изменяется от 1602,56 до 1615,5 МГц, а для GLONASS она равна 1575,42 МГц. Скорость по умолчанию составляет 4800 б/с, а частота обновления данных о местоположении равна 1 Гц, данные параметры можно изменить с помощью стандартной программы «Диспетчер устройств», частоты изменяют с целью увеличения объема полученных навигационных измерений, а скорость увеличивают для исключения вероятности потери пакетов [25]. Приемник основан на чипсете MTK MT3333 и имеет встроенное ПО, поддерживающее вывод потока данных в формате NMEA (National Marine Electronics Association) [26]. Протокол NMEA имеет удобное представление и получил распространение не только в морской навигационной аппаратуре, но и в геодезических, бытовых и авиационных GPS приемниках. Принятые сигналы формата NMEA содержат заголовок сообщения из 5 символов, из которых 2 первых определяют тип сообщения («GP» – GPS; «GL» – GLONASS; «GN» – GLONASS+GPS), а три оставшихся – его название [3]. В зависимости от названия сообщения, они могут передавать следующие типы стандартных сообщений: *GGA* – информация о местоположении; *GLL* – информация о географических координатах; *GNS* – данные местоположения GNSS; *GSA* – информация о геометрическом факторе ухудшения точности и активные спутники; *GSV* – информация о видимых спутниках; *RMC* – минимальный рекомендованный набор данных; *VTG* – скорость и курс относительно Земли; *ZDA* – время и дата. Далее рассмотрим пример приема сообщений типа «GGA», структура которого показана на рис. 2.

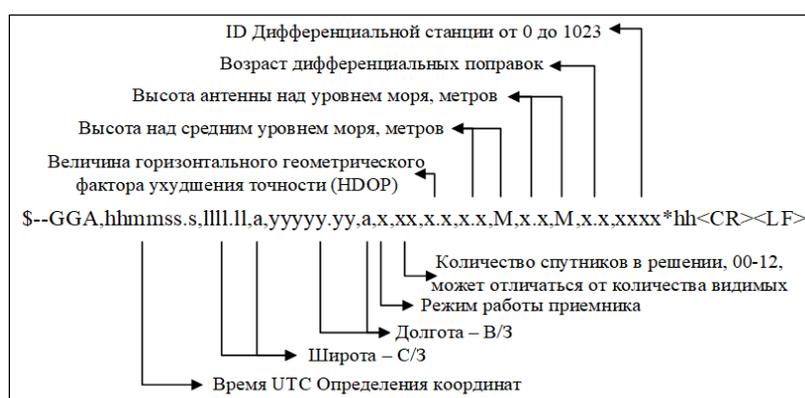


Рис. 2. Структура стандартного сообщения *GGA*

GGA – Global Positioning System Fix Data – фиксированные данные в системе глобального позиционирования, которые передают данные о времени, положении и фиксации для GPS-приемника, помимо того, что сообщение данного типа является индивидуальным сообщением, оно так же используется в стандартных сообщениях для передачи данных. С помощью BU-353G можно получить данные в реальном времени, которые с помощью

моделирования в специальном программном обеспечении (СПО) MATLAB представляется возможным отобразить на карте, либо же записать данные в файл, для последующего использования данных в учебных или исследовательских целях. Для приема сообщений необходимо установить драйверы с официального сайта GlobalSat, после установки драйверов, необходимо подключить устройство к свободному USB-порту компьютера. Для считывания данных в формате NMEA с приемника ГНСС нужно сначала определить доступный последовательный порт в СПО Matlab. Данная процедура реализуется функцией `port = serialportlist("available")` [23]. Далее производится подключение к последовательному порту `port` командой `data = serialport(port, 4800, "Timeout", 5)`, аргументами которой является порт `port`, скорость считывания 4800 в б/с, а также таймаут выполнения операции "Timeout" в 5 с [23]. При моделировании приема сигнала будут получены следующие данные (извлечение данных выполнялось для двух разных сигналов, принятых в разное время):

```
lineNMEA=  
"$GPGGA,151918.000,5952.6527,N,03028.6285,E,1,6,2.30,51.9,M,18.0,M,,*67"  
  Координаты зафиксированы!  
  1) Время (UTS+3): 18:19:18  
  2) Широта (WGS-48): 59.8775 N  
  3) Долгота (WGS-48): 30.4771 E  
  4) Высота антенны над/под средним уровнем моря (геоид): 51.9 М  
  4) Количество видимых спутников: 6  
  5) Горизонтальное снижение точности: 2.3 М  
  7) Геоидальное разделение, разница между земным эллипсоидом WGS-84  
    и средним уровнем моря (геоид): 18 М  
    '-' означает, что средний уровень моря ниже эллипсоида  
  Ошибка ОК при декодировании составит: 1.2451 мм
```

```
lineNMEA=  
"$GPGGA,153745.000,5952.6560,N,03028.5863,E,1,6,1.67,5.7,M,18.0,M,,*5F"  
  Координаты зафиксированы!  
  1) Время (UTS+3): 18:37:45  
  2) Широта (WGS-48): 59.8776 N  
  3) Долгота (WGS-48): 30.4764 E  
  4) Высота антенны над/под средним уровнем моря (геоид): 5.7 М  
  4) Количество видимых спутников: 6  
  5) Горизонтальное снижение точности: 1.67 М  
  7) Геоидальное разделение, разница между земным эллипсоидом WGS-84  
    и средним уровнем моря (геоид): 18 М  
    '-' означает, что средний уровень моря ниже эллипсоида  
  Ошибка ОК при декодировании составит: 2.6788 мм.
```

Как видно из принятых сообщений, они передают данные времени в формате *UTC*, данные о широте и долготе, указывают режим работы приемника, количество используемых спутников, горизонтальный фактор понижения точности (*HDOP*), высоту над средним уровнем моря в метрах, высоту над геоидом в метрах. Режим работы включает в себя 9 видов: «0» -

координаты недоступны или недостоверны; «1» – режим *GPS SPS* (стандартная служба позиционирования, используемая нами повсеместно), координаты достоверны (режим, использовавшийся приемником в данной работе); «2» – дифференциальный режим *GPS SPS*, координаты достоверны; «3» – режим *GPS PPS* (служба точного позиционирования, используемая вооруженными силами США), координаты достоверны; «4» – режим реального времени (*RTK*), с фиксированными целыми числами; «5» – режим *RTK*, с «плавающими» целыми числами; «6» – режим экстраполяции координат; «7» – режим ручного ввода данных; «8» – режим симулятора.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников:

1. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи, 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.
2. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ 2015. Т. 1. С. 122–126.
3. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование базовой станции в сетях LTE средствами пространственной обработки сигналов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. 2014. С. 124–128.
4. Дворников С. В., Фокин Г. А., Аль-Одхари А. Х., Федоренко И. В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, 2017. № 4. С. 94–103.
5. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Оценка возможностей метода разностно-дальномерного метода позиционирования абонентских станций в системах мобильной связи LTE средствами имитационного моделирования // Информационные технологии моделирования и управления, 2016. Т. 98. № 2. С. 149–160.
6. Фокин Г.А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук.: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
7. Фокин Г. А. Эволюция радиointерфейсов позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации, 2020. Том 8. № 2. С. 77–91.
8. Фокин Г. А. Эволюция процедур позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации, 2020. Том 8. № 1. С. 76–89.
9. Фокин Г. А. Эволюция технологий позиционирования в сетях подвижной радиосвязи. Стандарты // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ 2020. Т. 3. С. 371–376.
10. Fokin G., Kireev A., Al-odhari A. H. A. TDOA positioning accuracy performance evaluation for arc sensor configuration // 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications, Moscow, 2018. PP. 1–5.

11. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи, 2020. № 2. С. 3–9.
12. Фокин Г. А. Методика идентификации прямой видимости в радиолиниях сетей мобильной связи 4-го поколения с пространственной обработкой сигналов // Труды Научно-исследовательского института радио, 2013. № 3. С. 78–82.
13. Фокин Г. А. Имитационное моделирование процесса распространения радиоволн в радиолиниях сетей мобильной связи 4-го поколения с пространственной обработкой сигналов // Труды Научно-исследовательского института радио, 2013. № 3. С. 83–89.
14. Киреев А. В., Фокин Г. А. Измерение времени прихода сигнала в задачах позиционирования в мобильных сетях при отсутствии прямой видимости // Информационные технологии и телекоммуникации, 2017. Т. 5. № 4. С. 36–41.
15. Фокин Г. А. Комплексная имитационная модель для позиционирования источников радиоизлучения в условиях отсутствия прямой видимости // Труды учебных заведений связи, 2018. Т. 4. № 1. С. 85–101.
16. Фокин Г. А. Позиционирование в условиях отсутствия прямой видимости с использованием цифровых моделей местности // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2019. Т. 13. № 11. С. 4–13.
17. Fokin G. TDOA Measurement Processing for Positioning in Non-Line-of-Sight Conditions // 2018 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), Batumi, 2018. PP. 1–5.
18. Kireev A., Fokin G., Al-odhari A. H. A. TOA measurement processing analysis for positioning in NLOS conditions // 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications, Moscow, 2018. PP. 1–4.
19. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б., Харин В. Н. Использование SDR технологии для задач сетевого позиционирования. Формирование опорных сигналов LTE // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2022. Т. 16, № 5. С. 28–47.
20. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Модели приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2022. № 3 (59). С. 62–83.
21. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Процедуры приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2023. № 1 (60). С. 52–65.
22. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Апробация приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2023. Т. 17. № 3. С. 23–33.
23. Рютин К. Е., Ушкова И. Г., Фокин Г. А. Программный модуль приема координат в формате NMEA и отображения местоположения на цифровой модели местности в среде Matlab // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3 С. 464–469.
24. GPS-приемник GlobalSat BU-353s4 (USB). URL: <https://www.globalsat.ru/download/snyatyebu-bu-353s4> (Дата обращения 24.01.2024).
25. Изменение частот и скорости обмена GPS-приемников GlobalSat ND-105C / BU-353s4 BU-353 GLONASS. Версия документации: 1.3. 2016. ООО «ГлобалСат». 8с.
26. Модули GeoC. NMEA протокол обмена Версия 3.0. ООО ДЦ «ГеоСтар навигация». Москва. 2015. 30 с. URL: http://geostar-navi.com/files/docs/geos3/geos_nmea_protocol_v3_0_rus.pdf (Дата обращения 24.01.2024).

УДК 621.396.969
ГРНТИ 47.49.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SDR-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СТАНДАРТУ LTE

К. Е. Рютин, Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В последнее время задача разработки технологии сетевого позиционирования с использованием программно-конфигурируемого радио приобретает большую актуальность. Радиотехнический разностно-дальномерный метод позиционирования OTDOA, специфицированный в стандарте LTE и 5G NR, позволяет решить задачу определения местоположения пользовательского устройства с метровой точностью. Для экспериментальной апробации решения задач сетевого позиционирования с использованием SDR-технологии в глобальной системе координат необходимо вместе с опорными сигналами, излучаемыми базовыми станциями eNB, по которым пользовательское устройство UE производит разностно-дальномерные измерения, реализовать передачу собственных координат eNB. В настоящем исследовании формализованы, программно реализованы и экспериментально апробированы процедуры, реализующие формирование, передачу, прием и обработку пакетов данных, содержащих собственные координаты eNB.

5G, LTE, SDR, данные, позиционирование

Позиционирование пользовательских устройств UE (User Equipment) в сетях подвижной радиосвязи LTE реализуется в нисходящем канале разностно-дальномерным методом по измерениям времени прихода сигнала на основе специальных опорных сигналов позиционирования PRS [1–5]. Недостатком использования данных сигналов является то, что устройство UE должно быть абонентом данной сети LTE. Для решения задачи позиционирования устройством, не являющимся абонентом какой-либо сети, можно использовать другие опорные сигналы стандарта LTE. Данный подход экспериментально апробирован с использованием SDR-технологии в [6–9]. Для сопоставления полученных оценок координат со спутниковыми координатами в [10] была формализована задача приема и обработки сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в формате NMEA (National Marine Electronics Association). В настоящей работе решается задача передачи и приема координат в формате NMEA с использованием SDR-технологии.

Разработанный ранее лабораторией программно-конфигурируемого радио в СПбГУТ прототип технологии определения местоположения (ОМП) в сети технологической радиосвязи стандарта LTE использует специфицированный в стандартах LTE и 5G разностно-дальномерный метод

OTDOA (Observed Time Difference Of Arrival) [11]. Для вычисления разностей дистанций между парами базовых станций стандарта LTE (eNB – eNodeB) относительно данного положения пользовательского устройства (UE – User Equipment) алгоритм приема, первичной и вторичной обработки в макете UE вычисляет корреляции по опорным сигналам сот CRS (Cell-Specific Reference Signal). Полевые испытания разработанного прототипа подтвердили, что использование данного метода позволяет решить задачу ОМП с субметровую точностью [12]. Однако, для перевода результатов оценки координат (ОК) из локальной в глобальную систему координат (СК), в алгоритм приема на стороне макета UE необходимо вручную вносить значения глобальных координат опорных базовых станций, что не позволяет автоматизировать услугу ОМП для конечного пользователя. Для решения данной проблемы необходимо вместе с сигналами синхронизации (PSS – Primary Synchronization Signal и SSS – Secondary Synchronization Signal) и опорными сигналами сот CRS, излучаемыми базовыми станциями eNB, реализовать передачу собственных координат макетов eNB в глобальной СК с последующим приемом на макете UE.

Процедуры приема координат eNB в глобальной СК с использованием ГНСС-приемника, а также процедуры кодирования их в пакете данных, специфицированным 3GPP описаны в [13]. После формирования пакета навигационных данных необходимо его закодировать [14] и обработать [15] на транспортном (DL-SCH – DownLink Shared CHannel) и физическом (PDSCH – Physical Downlink Shared CHannel) уровнях, соответственно. Физический нисходящий разделяемый канал PDSCH используется для передачи нисходящего разделяемого канала DL-SCH. В свою очередь, DL-SCH – это транспортный канал, используемый для передачи нисходящих данных (транспортных блоков).

В формировании пакета данных для обработки в канале PDSCH участвуют следующие процедуры: 1) добавление контрольной суммы к исходному блоку данных длины A , обозначенному, как a_0, a_1, \dots, a_{A-1} ; 2) сегментация блока данных, если он превышает максимальный размер, определенный спецификацией; 3) помехоустойчивое канальное турбо-кодирование; 4) согласование скорости; 5) объединение сегментированных блоков данных.

Обработка транспортного блока данных канала DL-SCH в физическом канале PDSCH выполняется согласно следующим процедурам: 1) скремблирование; 2) модуляция (формирование комплексных символов); 3) распределение комплексных символов одному уровню или нескольким параллельным уровням; 4) прекодирование (преобразование информации в соответствии с алгоритмами MIMO); распределение передаваемых символов на ресурсной сетке.

В данной реализации использовался один антенный порт, поэтому процедуру распределения комплексных символов на нескольких уровнях и процедуру прекодирования можно проигнорировать, получив эквивалентный результат.

Во избежание ухудшения результатов работы корреляторов CRS, для размещения модулированных комплексных символов на ресурсной сетке

были выбраны символы, в которых CRS не размещаются вовсе, а также размещение выполнялось в самой маленькой полосе – 1,4 МГц для гарантированного доступа к навигационной информации при работе в любой полосе. После размещения символов на ресурсной сетке формируется OFDM сигнал с помощью обратного быстрого преобразования Фурье. Далее происходит инициализация SDR платформы и передача в эфир полученного OFDM сигнала. На приемной стороне выполняются обратные процедуры, из которых итоговой является вывод местоположения макета базовой станции eNB на карте в глобальной СК. Обобщенная схема процедур приемопередачи навигационных данных приведена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема процедур приема и передачи навигационных данных

Экспериментальная апробация приемопередатчика навигационных данных в сети LTE проводилась с использованием SDR-платформ USRP B210 и заключалась в приеме глобальных координат ГНСС-приемником на стороне макета eNB, кодировании их и передаче в эфир в соответствии с вышеописанными процедурами, приеме LTE сигнала макетом UE, декодировании навигационных данных и отображении на карте местоположения макета eNB. Фото экспериментального стенда приведено на рис. 2. Слева на рис. 2 располагается макет eNB, а справа – макет UE.

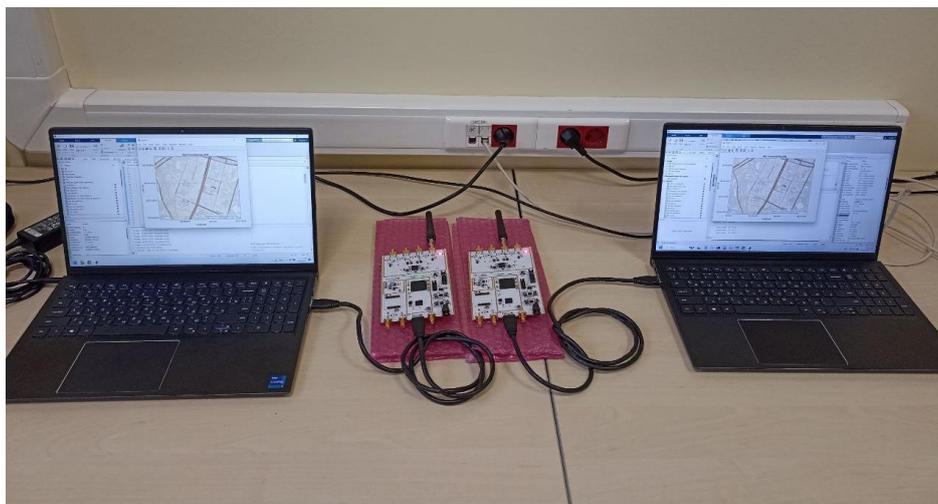


Рис. 2. Экспериментальный стенд

На стороне передатчика в командном окне MATLAB выводится информация о зафиксированных ГНСС-приемником навигационных данных (рис. 3), а также ошибка ОК после декодирования данных макетом UE, которая связана с разрядностью кодовых чисел в пакете данных [13].

```
Command Window
Координаты зафиксированы!
1) Время (UTS+3): 12:04:09
2) Широта (WGS-48): 59.9106 N
3) Долгота (WGS-48): 30.35 E
4) Высота антенны над/под средним уровнем моря (геоид): 38.8 М
5) Количество видимых спутников: 12
6) Горизонтальное снижение точности: 0.8 М
7) Геоидальное разделение, разница между земным эллипсоидом WGS-84
и средним уровнем моря (геоид): 18 М
'- ' означает, что средний уровень моря ниже эллипсоида
Ошибка ОК при декодировании составит: 4.9981 мм
```

Рис. 3. Навигационная информация в командном окне на стороне макета eNB

На стороне приемника макета UE после успешной демодуляции и декодирования выводится графическое окно с картой в глобальной СК и отображенным на ней местоположением макета eNB (рис. 4).

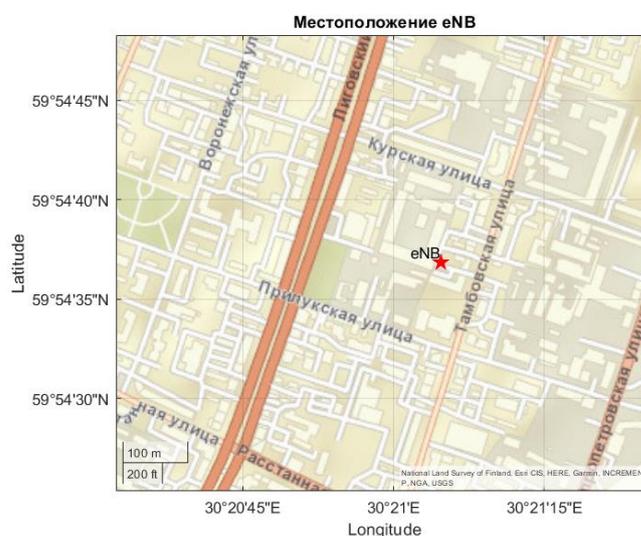


Рис. 4. Принятое местоположение макета eNB на стороне макета UE

В результате экспериментальной апробации приемопередатчика навигационных данных в сети LTE были успешно приняты и декодированы глобальные координаты макета eNB. Направлением последующих исследований и разработок является имплементация разработанного в MATLAB алгоритма в приемопередатчик, реализованный на ПЛИС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Оценка возможностей метода разностно-дальномерного метода позиционирования абонентских станций в системах мобильной связи LTE средствами имитационного моделирования // Информационные технологии моделирования и управления, 2016. Т. 98. № 2. С. 149–160.
2. Дворников С. В., Фокин Г. А., Аль-Одхари А. Х., Федоренко И. В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, 2017. № 4. С. 94–103.
3. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи, 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.
4. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук.: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
5. Фокин Г. А. Эволюция технологий позиционирования в сетях подвижной радиосвязи. Стандарты // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 3. С. 371–376.
6. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б., Харин В. Н. Использование SDR технологии для задач сетевого позиционирования. Формирование опорных сигналов LTE // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2022. Т. 16, № 5. С. 28–47.
7. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Модели приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2022. № 3 (59). С. 62–83.
8. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Процедуры приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2023. № 1 (60). С. 52–65.
9. Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Апробация приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ, 2023. Т. 17. № 3. С. 23–33.
10. Рютин К. Е., Ушкова И. Г., Фокин Г. А. Программный модуль приема координат в формате NMEA и отображения местоположения на цифровой модели местности в среде Matlab // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 464–469.
11. Фокин Г. А., Григорьев В. А., Рютин К. Е. Технология сетевого позиционирования LTE. Часть 3. SDR-демонстратор в лабораторных условиях // Первая миля, 2023. № 3 (111). С. 72–80.
12. Фокин Г. А., Григорьев В. А., Рютин К. Е., Комиссаров А. Е., Волгушев Д. Б. Технология сетевого позиционирования LTE. Часть 4. SDR-демонстратор в полевых условиях // Первая миля, 2023. № 4 (112). С. 34–41.
13. Рютин К. Е., Фокин Г. А. Процедуры кодирования местоположения в геоцентрической глобальной системе координат WGS-84 по спецификации 3GPP TS 23.032 // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 469–474.
14. 3GPP TS 36.212 V17.1.0 (2022-03). Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (Release 17).
15. 3GPP TS 36.211 V16.7.0 (2021-12). Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (Release 17).

УДК 621.396.933
ГРНТИ 47.49.33

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ СВЯЗИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КАНАЛАХ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ С БПЛА

К. И. Семиндеев, А. Г. Чернышов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Все больший рост популярности БПЛА приводит к необходимости обеспечить надежный канал управления между беспилотником и оператором и/или между группой беспилотников во время полета в условиях городской среды. В данной статье проведен сравнительный анализ стандартов связи, применяемых в каналах управления и связи с БПЛА при групповом полете, выявлены их преимущества и недостатки, а также рассмотрены примеры использования разных стандартов связи на практике.

групповой полет, БПЛА, канал управления

Групповой полет беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – это одновременное управление и координация совместных действий нескольких БПЛА в рамках одного вылета. Управление группой дронов бывает централизованным и децентрализованным.

При централизованном управлении происходит непрерывный обмен информацией между наземным центром управления (НЦУ) и группой БПЛА. Оператор может осуществлять контроль каждого летательного аппарата в отдельности, либо управлять группой, посредством команд главенствующему дрону, выступающему в качестве ретранслятора.

В случае с децентрализованным управлением, непрерывная связь с НЦУ не требуется. Обмен информацией происходит с определенной периодичностью или по требованию оператора. Группа БПЛА действует автономно [1].

Групповой полет обладает широким спектром задач, таких как картографирование, инспекция инфраструктуры, поисковые операции, доставка грузов, ретрансляция сигнала.

Для обеспечения успешного и безопасного функционирования БПЛА необходимо грамотно организовать канал управления. Этот канал должен обеспечивать надежную и безопасную двустороннюю передачу информации с низкой задержкой, так как информация, передаваемая с их помощью, критически важна для работы БПЛА. При этом обмен подобной информацией может происходить как между разными БПЛА, так и между БПЛА и наземным пунктом управления. Информация, транслируемая по данному

каналу, может быть разделена на 3 основные категории: команды, передаваемые БПЛА с наземных пунктов управления; отчеты о статусе аппарата, отправляемые с борта БПЛА на землю, и информация о препятствиях и опасностях, передаваемая между БПЛА. Каналы управления необходимы даже в случае использования автономных беспилотных летательных аппаратов, способных выполнять работу, используя бортовые компьютеры и не нуждаясь в постоянном контроле со стороны оператора, так как в экстренных случаях все же возникает потребность ручного управления [2].

Выбор радиоканала управления для группового полета БПЛА зависит от конкретных требований и ограничений системы. Однако, в общем случае, можно выделить следующие факторы, которые могут повлиять на выбор радиоканала:

1. Дальность передачи сигнала. В зависимости от дальности полета необходимо использовать различные радиоканалы. Например, применение низкочастотных радиоканалов позволяет увеличить дальность передачи сигнала за счет дифракции и большей длины волны. Однако, они обладают низкой скоростью передачи данных и более восприимчивы к помехам.

2. Скорость передачи данных. В зависимости от назначения БПЛА требуются различные скорости передачи данных. Повысить скорость передачи данных позволяют расширение полосы пропускания, повышение модуляции и изменение методов кодирования сигнала.

3. Доступность. В случае, когда группа БПЛА должна быть интегрирована с другими системами, требуется выбрать широко используемый радиоканал, что позволит избежать интерференции между устройствами при работе в одном диапазоне.

4. Безопасность. Канал управления должен обеспечивать защиту данных от утечек и несанкционированного доступа к устройствам.

5. Устойчивость к помехам. Плотная застройка, сторонние излучатели, а также ландшафт местности могут значительно повлиять на взаимосвязь между БПЛА и НЦУ. Поэтому, следует обеспечить должную защиту радиоканала от внешних помех.

Для организации каналов управления и высокоскоростной передачи телеметрии и данных используется УКВ (220–400 МГц), L (1,4–1,85 ГГц), S (2,2–2,5 ГГц), C (4,4–5,85 ГГц), и Ku (15,15–15,35 / 14,4–14,83 ГГц) диапазоны. Связь организуется в пределах прямой видимости. Для связи на дальние расстояния могут использоваться БПЛА-ретрансляторы, а также системы спутниковой связи. У простых БПЛА в качестве каналообразующей аппаратуры могут использоваться средства доступа в сети мобильных операторов связи, а также стандартные технологии радиосвязи (табл. 1) [3]:

- RC433: 433 МГц;
- сети 4G: 725–770, 790–830, 850–894 МГц;
- сети CDMA: 850–894 МГц;

- RC868: 868–916 МГц;
- GSM900: 890–915, 935–960 МГц;
- GSM1800: 1710–1880 МГц;
- сети 3G: 2110–2170 МГц;
- сети Wi-Fi на базовой частоте 2,4 ГГц: 2,4–2,5 ГГц;
- сети 4G: 2,5–2,7 ГГц;
- сети Wi-Fi на базовой частоте 5,2 ГГц: 4,9–5,5 ГГц;
- сети Wi-Fi на базовой частоте 5,8 ГГц: 5,5–6,1 ГГц.

Таблица 1. Характеристика наиболее используемых в БПЛА стандартов связи

	LoRa	GSM	UMTS	IEEE 802.11 (2,4 ГГц)	IEEE 802.11 (5,8 ГГц)
Частота	433 МГц	900 МГц	2100 МГц	2,4 ГГц	5,8 ГГц
Мощность передатчика	до 1 Вт	до 250 мВт	до 1 Вт	до 0,5 Вт	до 0,1 Вт
Радиус действия	до 15 км	до 5 км	до 8 км	до 1-2 км	до 1 км
Управление параметрами полета	нет	да	да	да	да
Безопасность передачи данных	нет	да	да	да	да
Простота использования	нет	да	да	да	да
Пример БПЛА	Chitwan QW350-02	Walkera Voyager 4	Parrot AR.Drone	DJI Mavic Pro	CSJ-20411

Ключевыми преимуществами использования каналов управления LoRa является большая дальность передачи данных, в сравнении с другими стандартами, а также малое энергопотребление конечных устройств, что позволяет обеспечить более продолжительный полет.

Стоит также отметить низкую стоимость оборудования и высокий охват территории с низким уровнем застройки.

Недостатками же выступают малая скорость передачи данных, низкая пропускная способность и слабая помехозащищенность.

Каналы управления, реализованные на стандартах сотовой связи GSM и UMTS, обладают большой дальностью передачи сигнала, но в то же время имеют большую стоимость оборудования и необходимость наличия лицензии на использование спектра.

Для каналов управления на GSM ключевыми преимуществами выступают широкое распространение стандарта, а также надежность передачи данных.

В свою очередь, каналы управления UMTS являются менее распространенными, ввиду постепенного вытеснения его стандартом LTE, однако все еще имеют популярность за счет стабильности и низкой задержки передачи данных.

Несмотря на то, что стандарты GSM и UMTS являются в плане шифрования относительно безопасными, наличие потенциальных уязвимостей может потребовать внедрение дополнительных мер защиты.

Наиболее используемыми в каналах управления БПЛА является частоты 2,4 ГГц и 5,8 ГГц стандарта IEEE 802.11. Их популярность обусловлена высокой скоростью передачи данных, а также тем, что данные частоты не лицензируются.

Частота 5,8 ГГц обладает большей пропускной способностью и малой задержкой, но используется в каналах управления гораздо реже, нежели 2,4 ГГц. Это связано не только с меньшей дальностью связи, но еще и с тем, что антенны 5,8 ГГц уже используются в дронах для передачи видеосигнала в режиме реального времени.

Диапазоны частот стандарта IEEE 802.11 имеют свои преимущества и недостатки. Например, 2,4 ГГц обеспечивает большую дальность связи, но может быть подвержен помехам от других устройств, работающих на этой же частоте. 5,8 ГГц, с другой стороны, предлагает более стабильную связь, но может быть менее устойчивым к помехам.

Выбор оптимального канала управления БПЛА зависит от ряда факторов, таких как требуемая дальность управления, скорость передачи данных, помехоустойчивость и другие.

Для группового полета БПЛА наиболее распространенным является стандарт связи IEEE 802.11 и частота 2,4 ГГц.

Частота 2,4 ГГц обеспечивает высокую скорость передачи данных, а также обладает такими преимуществами, как широкая распространенность и низкая стоимость. Эти преимущества делают стандарт IEEE 802.11 привлекательным выбором для использования в каналах управления при групповом полете БПЛА.

Список используемых источников:

1. Бабич Л. А. Групповое применение разведывательных и ударных беспилотных летательных аппаратов: статья // Молодой ученый, 2019. № 45 (283). С. 3–6.
2. Каштанов В. В., Немтинов В. А. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности: статья // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2022. Том 28. № 4. С. 606–613.
3. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2020. 204 с.

УДК 621.398
ГРНТИ 47.49.31**ВЫБОР МЕТОДА ПЕЛЕНГАЦИИ БПЛА ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОИСКА АППАРАТА
В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ****О. А. Симонина², С. Б. Шалунов¹**¹ООО «Специальный Технологический Центр»²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье проведен анализ задач поиска БПЛА, которая актуальна для поисковых и геологоразведочных работ в условиях Крайнего Севера. Показано, что вопрос определения местонахождения БПЛА может быть решен как задача пеленгации источника радиоизлучения. Показано, что традиционные подходы к пеленгации невозможно использовать в силу технических и пространственных ограничений, связанных с использованием таких аппаратов в сложных климатических условиях и труднодоступных географических районах. Аргументирован выбор метода равносигнальной зоны для определения направления на БПЛА.

БПЛА, локальная система навигации, метод равносигнальной зоны

Развитие районов Крайнего Севера связано с использованием сложных технических средств для обеспечения безопасности персонала. Так, при проведении геологоразведочных работ или мониторинга инфраструктуры необходимо использование беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) [1]. Также БПЛА могут использоваться как ретрансляторы для обеспечения связи на дальних расстояниях [2]. Однако, операторы сталкиваются с проблемами потери аппарата, например, из-за обледенения. В этой ситуации важной задачей становится поиск аппарата и определение его предположительного местонахождения. Так как не всегда есть возможность использования глобальной навигационной системы в связи с особенностями ее функционирования (в частности, плохой прием в горных и лесных массивах, слабая помехоустойчивость, плохая радиовидимость в высоких широтах), то имеет смысл использовать локальную навигационную систему.

Локальные навигационные системы позволяют дополнить глобальные системы навигации или даже полностью заменить. Сегодня их можно разделить на следующие типы:

С несколькими передатчиками. Данные системы могут использовать в качестве передатчиков как базовые станции систем мобильной связи, так и устройства иных систем связи (так называемые разностно-дальномерные системы). Такие системы навигации предоставляют отличную точность по-

позиционирования до десятков сантиметров [3]. Однако данный подход не может быть использован в труднодоступных местах, особенно в условиях Крайнего Севера, что связано со слабо развитой инфраструктурой и сложностью размещения объектов связи (трансиверов, пассивных маяков) и необходимого дополнительного оборудования.

С одним передатчиком. Данные системы не требуют размещения дополнительного оборудования на пути следования аппарата. Существующие системы реализованы на основе различных технологий, таких как активные RFID, Wi-Fi, UWB и т.п. Такие системы дают ошибку позиционирования до 50 сантиметров, однако дальность действия таких систем ограничена 100 метрами [3]. Можно отнести данные системы к системам позиционирования внутри помещения.

Для обнаружения БПЛА также используются методы радиолокационного контроля, которые не могут быть применены в данных условиях, так как работают по летящей цели [4]. Существующие методы радиотехнического контроля также ориентированы на противодействие БПЛА, а не поиск потерянных аппаратов.

При этом существуют методы пеленгации источника излучения, давно и успешно используемые, например, в целях радиоконтроля [5]. БПЛА можно рассматривать как источник радиоизлучения и, соответственно, применять методы пеленгации в качестве методов определения местоположения аппарата. Существует несколько методов, используемых для пеленгации источника излучения: метод пеленгации по максимуму (используется в радиолокации), метод пеленгации по минимуму, методы равносигнальной зоны (метод двух антенн, метод трех антенн, метод конического обзора пространства) [6], фазовые методы [7].

Зададим набор требований для определения наилучшего метода для создания локальной навигационной системы:

- размещение передатчика только на пункте управления;
- диапазон СВЧ, гибкость в выборе частот;
- асинхронность;
- дальность действия системы — десятки километров;
- относительная дешевизна решения;
- без необходимости модернизации оборудования БПЛА.

Для поиска оптимального метода используем функцию полезности, так как теория полезности предоставляет более широкие возможности для оценивания альтернатив, чем отбор при условной оптимизации [8]:

$$F(k) = \sum_{j=1}^m c_j f_j(k_j),$$

где c_j – шкалирующие коэффициенты, $f_j(k_j)$ – одномерные функции полезности, являющиеся оценками полезности варианта системы по показателю качества k_j .

В качестве одномерных функций полезности будет использовать критерии качества методов пеленгации. Так как размещение системы только вместе с пунктом управления является важным критерием, полностью блокирующим использование метода в случае несоблюдения, то уберем его из результирующего выражения, проведя выбор альтернатив по данному критерию. Таким образом, для дальнейшей оценки остается 5 методов, относящихся к системам пеленгации с одним передатчиком. В качестве критериев для данных методов выберем оптимальность по энергопотреблению, дальность действия метода, вариативность дальности действия (изменения дальности на разных этапах работы алгоритма), ошибку определения местоположения, низкую чувствительность к задержке работы алгоритма, стоимость решения и его относительно небольшие габариты. Проведем нормирование критериев.

В процессе оценки выяснилось, что наилучшие результаты по вариативности дальности и стоимости показывает равносигнальный метод с двумя антеннами.

Полученные оценки сведены в таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1. Оценки методов пеленгации согласно функции полезности

Методы	По максимуму	По минимуму	Равносигнальный две антенны	Равносигнальный три антенны	Равносигнальный конического обзора пространства
Оценка	2,1	2,0	3,5	2,0	3,0

Таким образом, в основу разрабатываемой навигационной системы имеет смысл положить метод равносигнальной зоны с двумя антеннами [9]. Однако для компенсации погрешностей определения местоположения аппарата необходима разработка специальных алгоритмов. В работе [1] особо отмечается, что существует проблема многолучевости и динамического диапазона, которая пока слабо решена для существующих систем навигации.

Список используемых источников:

1. Митько А. В. БПЛА в условиях арктического региона // Neftegaz.RU. 2019. № 5. // URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/473748-bpla-v-usloviyakh-arkticheskogo-regiona/> (дата обращения 16.02.2024).
2. Кузин К. А., Ширко А. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в районах Крайнего Севера // Символ науки, 2018. № 7. С. 26–29.
3. Корнеев И. Л., Егоров В. В. Локальные системы навигации, дополняющие системы ГНСС // IX Международный форум по спутниковой навигации: тезисы докладов,

Москва, 22-24 апр. 2015 г. // URL: <https://mri-progress.ru/science-publication/278> (дата обращения 16.02.2024).

4. Алексеев В. А., Бакшеева Ю. В. Проблемы радиолокационного обнаружения малоразмерных БПЛА // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации: материалы IV всерос. науч. конф., Санкт-Петербург, 10–17 апр. 2023 г. СПб.: ИД СПбГУАП, 2023. С. 35–41.

5. Антипин Б. М., Виноградов Е. М., Шаброва Е. В. Способы радиоконтроля беспилотных авиационных систем // Экономика и качество систем связи, 2023. №. 4 (30). С. 66–76.

6. Гришко А. К. и др. Сравнительный анализ методов пеленгации источников радиосигнала // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Шляндинские чтения): материалы IX междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 28-30 окт. 2019 г. М.: ИД ПГУ, 2019. С. 27–31.

7. Дорух И. Г., Шеболков В. В. Локальная фазовая разностно-дальномерная радионавигационная система. Пат. 2 604 652 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет). № 2015114868/07; заявл. 2015.04.20; опубл. 2016.12.10.

8. Микони С. В. Системный анализ методов многокритериальной оптимизации на конечном множестве альтернатив // Информатика и автоматизация, 2015. Т. 4. №. 41. С. 180–199.

9. Титков И. В., Ермаков Д. О. Способ определения направления на источник радиоизлучения методом анализа области относительно оси симметрии двух рупорных антенн. Пат. 2 593 835 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военный учебно-научный центр Военно-морского Флота «Военно-морская академия имени адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» № 2014142667/07; заявл. 2014.10.22; опубл. 2016.08.10.

УДК 519.6
ГРНТИ 27.41

ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБРАТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АДАПТИРОВАННЫХ ВЕЙВЛЕТОВ

А. Б. Степанов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена описанию процедуры вычисления обратного непрерывного вейвлет-преобразования сигналов при использовании синтезированных вейвлетов, полученных на основе образцового фрагмента сигнала. Таким образом достигается адаптация вейвлет-функции к анализируемому сигналу. В качестве вейвлетов используются функции, полученные на основе полиномиальных и предложенных автором нейросетевых и сплайновых моделей вейвлетов. Математическое моделирование выполнено в системе MATLAB. Приведены результаты вычисления прямого и обратного непрерывного вейвлет-преобразований и выполнено сравнение исходного и восстановленного сигналов.

вейвлет, непрерывное вейвлет-преобразование, математическая модель, синтез, обратное непрерывное вейвлет-преобразование

Непрерывное вейвлет-преобразование (НВП) получило распространение в цифровой обработке сигналов и широко применяется при выявлении информационных признаков в сигналах [1–7]. Оно может рассматриваться как альтернатива преобразованию Фурье [3]. Вейвлеты обладают компактным носителем и могут применяться при частотно-временном анализе сигналов [5]. Основным недостатком НВП является его избыточность, которая, как правило, приводит к необходимости выполнения значительного объема вычислений и может приводить к ограничениям при его реализации на некоторых типах элементной базы, например, обладающей сверхнизким энергопотреблением.

Формула непрерывного вейвлет-преобразования функции $x(t)$ имеет вид:

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt,$$

где $\psi(t)$ – вейвлет; параметр a – определяет размер вейвлета; b – задает сдвиг по оси времени, так что $a, b \in \mathbb{R}$, $a \neq 0$; горизонтальная черта указывает на комплексное сопряжение.

Результатом вычисления непрерывного вейвлет-преобразования является матрица коэффициентов, которая может быть визуализирована в виде вейвлет-спектрограммы.

Непрерывное вейвлет-преобразование применяется при анализе одномерных сигналов различной природы, например, биомедицинских, таких, как электроэнцефалограмма [8–10].

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) – это сигнал, полученный с поверхности головы или скальпа человека, отражающий электрическую активность группы нейронов головного мозга человека [11, 12].

На рис. 1. в качестве примера приведен фрагмент электроэнцефалограммы с мышечными артефактами с частотой дискретизации 250 Гц, визуализированный в окне электроэнцефалографа.

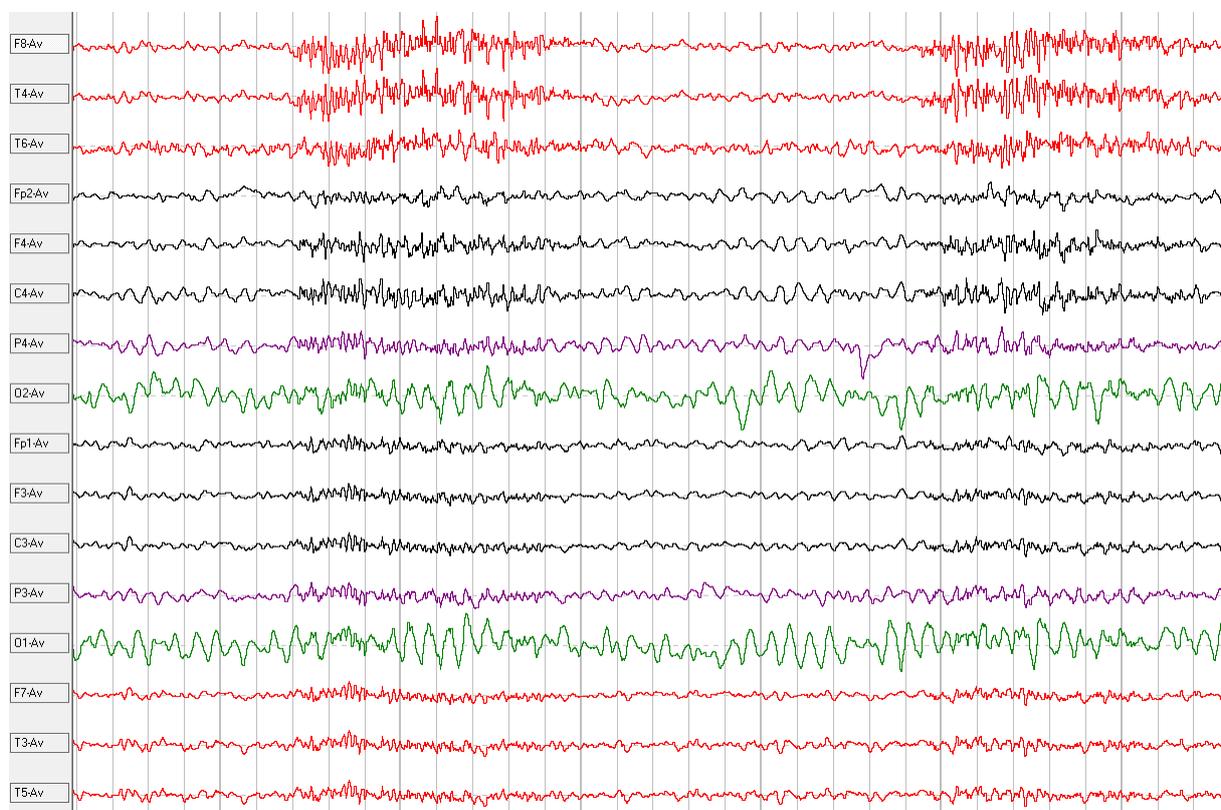


Рис. 1. Фрагмент электроэнцефалограммы с мышечными артефактами

Для повышения точности локализации отдельных деталей сигнала, при выполнении частотно-временного анализа, целесообразно использовать синтезированные вейвлеты, адаптированные к сигналу [1].

Автором данной работы были предложены модифицированная полиномиальная модель вейвлетов, а также нейросетевые и сплайновые модели вейвлетов [1].

Целью данной работы является определение особенностей вычисления обратного непрерывного вейвлет-преобразования (ОНВП) сигналов при использовании синтезированных вейвлетов на основе предложенных моделей. В связи со значительным распространением алгоритмов цифровой обработки сигналов, основанных на использовании НВП, данная тема является актуальной.

В качестве анализируемого сигнала будем использовать фрагмент ЭЭГ (отведение F8) длительностью 3 секунды (750 отсчетов), представленный на рис. 2.

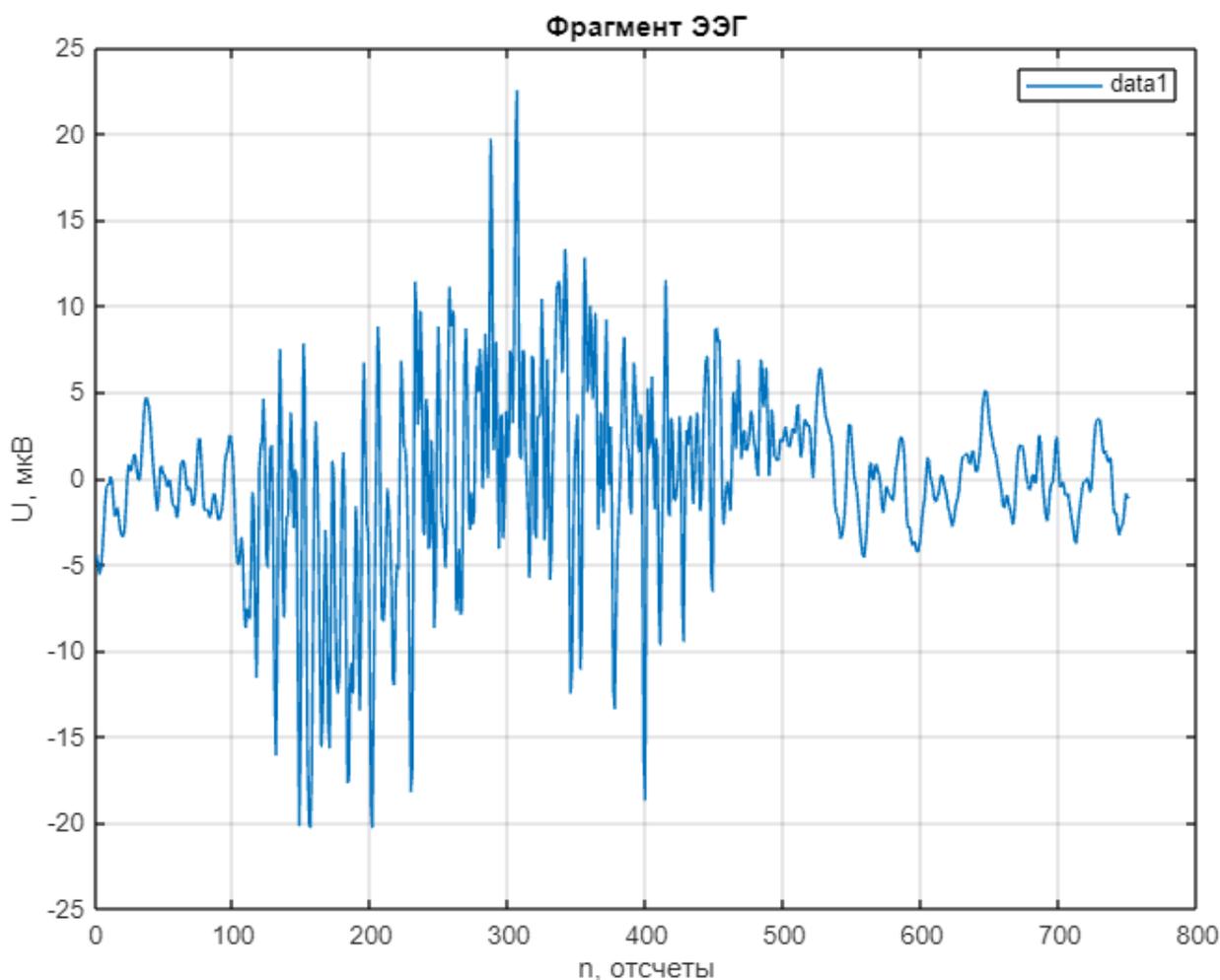


Рис. 2. Фрагмент ЭЭГ (отведение F8)

Обратное непрерывное вейвлет-преобразование может быть вычислено по формуле [3]:

$$x(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(a,b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{1}{\sqrt{a}} \frac{dadb}{a^2},$$

где C_ψ – нормирующий коэффициент:

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} |\hat{\psi}|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty.$$

Проведенные исследования [1] показали, что в зависимости от применяемой математической модели вейвлета, будет изменяться число математических операций, требуемых для вычисления НВП и ОНВП сигналов, что обусловлено разной вычислительной сложностью данных моделей. Так, например, для модифицированной полиномиальной модели могут использоваться в среднем от 6 до 30 параметров, для нейросетевой модели около 100 параметров, для сплайновой около 400 параметров.

В качестве основных особенностей вычисления ОНВП при использовании синтезированных вейвлетов можно отметить:

– как правило, увеличение числа вычислений при использовании математических моделей вейвлетов по сравнению с традиционными вейвлетами, имеющими формализованное представление (например, «Мексиканская шляпа», Морле, Гаусса);

– для моделирования ОНВП в MATLAB целесообразно формировать отдельный m-файл для вычисления значений вейвлета на основе его математической модели.

Основными направлениями дальнейших исследований могут считаться:

– оценка возможности выполнения алгоритмов на основе ОНВП с использованием синтезированных вейвлетов на графических процессорах;

– применение синтезированных вейвлетов прямого и обратного НВП в алгоритмах частотно-временного анализа сигналов различной природы.

Список используемых источников

1. Stepanov A. Polynomial, Neural Network, and Spline Wavelet Models for Continuous Wavelet Transform of Signals. *Sensors*. 2021. Vol. 21. № 19. P. 6416.

2. Stepanov A. Neural Network Model of Wavelets for the Continuous Wavelet Transform // 2014 International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). Editor: E. I. Veremey. Санкт-Петербургский государственный университет; IEEE (IEEE Catalog number CFP14BDA-USB), 2014. С. 177–178.

3. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001, 58 с.

4. Козлов Д. В., Степанов А. Б. Алгоритм выполнения частотно-временного анализа сигналов с применением непрерывного вейвлет-преобразования и метода периодограмм и его реализация на графическом процессоре. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2021. Т. 17. № 3. С. 85–93.

5. Смоленцев Н. К. Основы теории введение. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК-Пресс, 2014. 628 с.

6. Штарк Г.Г. Применение вейвлетов для ЦОС. / Г.Г. Штарк. М.: Техносфера, 2007. 192 с.

7. Zhuravov D. V., Stepanov A. B. Application of Simulink in the Implementation of Calculation Algorithms for Continuous Wavelet Transform on a Digital Signal Processor. *Journal of Radio Electronics*, 2019. № 5. P. 12.

8. Степанов А. Б. Автоматизированная система анализа электроэнцефалограмм. Патент на полезную модель RU 110632 U1, 27.11.2011. Заявка № 2011127360/14 от 28.06.2011.

9. Степанов А. Б. Способ анализа электроэнцефалограмм. Патент на изобретение RU 2467384 C1, 20.11.2012. Заявка № 2011127377/08 от 28.06.2011.

10. Stepanov A. The Application of Neural Network and Spline Wavelet Models in the Electroencephalogram Analysis Automation Process // *Proceedings of the 18th Conference of Open Innovations Association FRUCT and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology*. 2016. PP. 321–327.

11. Зенков Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин; 4-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2011. 448 с.

12. Степанов А. Б., Козлов Д. В., Запайщиков А. В. Автономный портативный электроэнцефалограф на базе одноплатного компьютера NVIDIA JETSON. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2022. Т. 18. № 2. С. 77–85.

УДК 504.7 (470.51-25)
ГРНТИ 37.23.29

К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В КОНЦЕ XX - НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ИЖЕВСКА)

В. И. Стурман

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Проведено статистическое исследование динамики среднегодовых, сезонных и месячных температур в 1960-2023 гг., на примере г. Ижевск. За общей тенденцией к потеплению со средним темпом $0,32^{\circ}/10$ лет выявляются существенные различия тенденций для сезонных и месячных средних температур. Рост среднегодовых температур формируют январские, февральские, мартовские и октябрьские значения. Сохранение восходящего тренда в настоящее время обусловлено участвовавшими положительными аномалиями в зимне-весенний период.

глобальное потепление, климатические характеристики, Ижевск

Современная динамика климатических условий, привлекая исключительное общественное внимание, практически превратилась из частной климатологической проблемы в общую геоэкологическую, и даже в общественно-политическую. Для анализа этой проблемы может быть полезен прием «подкрутки резкости», т. е. переход от более крупных территориальных единиц и интервалов времени к возможно более мелким, что может быть дополнено наблюдением на месте. В силу этого, в качестве примера для анализа динамики показателей температурного режима выбран хорошо знакомый автору г. Ижевск. Метеостанция, характеризующая этот город, располагается на удалении от застроенной территории, в аэропорту, что исключает возможное влияние особенностей городского микроклимата.

Исследование выполнено на основе общедоступных [1] данных о средних месячных и годовых значениях метеоэлементов, с использованием стандартных методов обработки статистических данных. Поскольку исследование направлено не на климатологические, а геоэкологические задачи, выбран интервал времени 1960–2023 гг., что находится в актуальной памяти, и в то же время вдвое превышает минимальный период климатических обобщений. С точки зрения оценки значимости и возможных перспектив современных климатических изменений, важно не только констатировать общую тенденцию, но и выявить характер ее временной изменчивости и распределение изменений по сезонам и месяцам. Для этого были построены и проанализированы графики изменения среднегодовых,

среднемесячных (за все месяцы) и средних температур за сезоны. Опытным путем было определено, что наиболее информативной для указанного интервала времени является линия полиномиального тренда 3-й степени. Линии 5-й и 6-й и т. д. степеней обнаруживают большую зависимость от циклических процессов. Линейный тренд показывает лишь наличие или отсутствие потепления, оставляя вне рассмотрения его изменчивость с течением времени.

Общий характер динамики среднегодовых температур представлен на рис. 1. Как из него видно, в пределах рассматриваемого интервала времени выделяется период похолодания, закончившийся экстремумом в 1969 г., и последовавший за ним период потепления. Внутри рассматриваемого периода в 1970–90-х гг. на восходящий тренд накладывается цикличность с продолжительностью относительно теплых и холодных периодов по 3–4 года, и период роста температур с более короткими колебаниями (после 2000 г.). Темпы роста среднегодовых температур в 1970-х – 2010-х оставались относительно стабильными – $0,36^\circ/10$ лет, что близко к среднему значению для территории Приволжского федерального округа ($0,322^\circ/10$ лет [2]), но существенно меньше аналогичного показателя для Казани – $0,51^\circ/10$ лет [3].

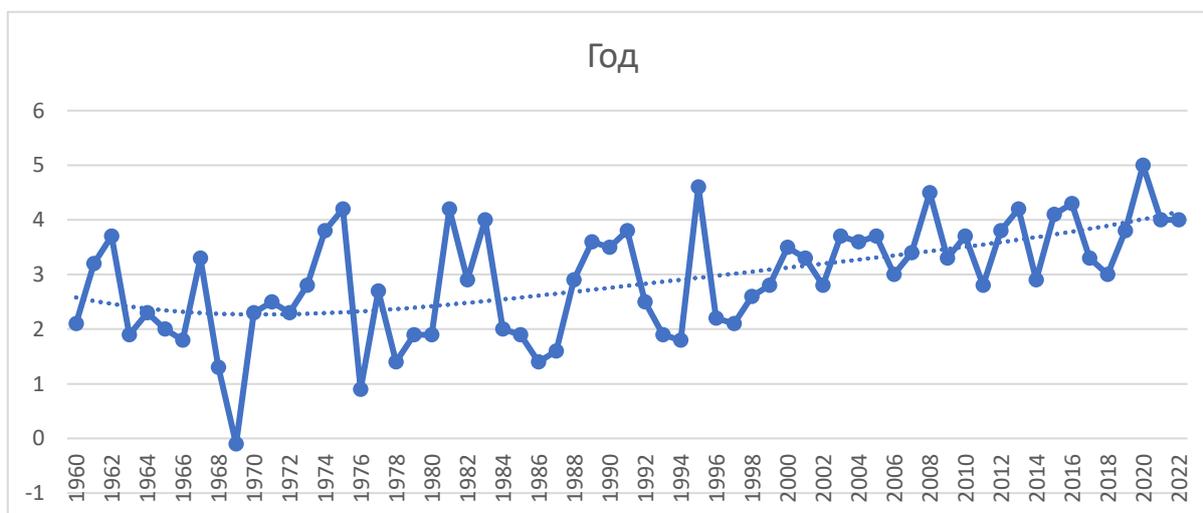


Рис. 1. Среднегодовые температуры по метеостанции Ижевск и полиномиальная линия тренда 3-й степени

Однако не менее важно распределение данного тренда по сезонам и месяцам, а также анализ собственной изменчивости сезонных и месячных трендов. Графики средних сезонных температур представлены на рис. 2. Как следует из него, тенденция роста температур наиболее выражена для зимы и почти отсутствует летом. Рост зимних температур начался с 1970-х гг., тогда как весенние начали расти только с 1990-х гг., а осенние температуры понижались почти до конца 1970-х гг. и начали расти после этого. Зимние температуры росли неравномерно. Рост, как можно увидеть по линии

тренда 4-й степени, был выражен в 1970-х, 80-х и 90-х гг. Далее, в 2000-х и 2010-х гг. рост сменился на противоположную тенденцию. Представленная на рис. 2 линия тренда 3-й степени остается восходящей лишь за счет теплых зим 2019-20 и 2021-22 гг.

Следует отметить, что выявляющиеся по полиномиальным линиям тренда тенденции к ускорению в последние годы роста осенних и весенних температур обусловлены экстремумами 2023 г., и оценивать устойчивость этих тенденций пока преждевременно. Летние температуры на протяжении рассматриваемого периода показали слабый рост (в среднем $0,12-0,2^{\circ}/10$ лет). На общем фоне выявляются пики в 1981, 1988, 2010, 2016 и 2021 гг. Учащение этих пиков в последние годы и сформировало восходящий тренд; в предшествующий период рост практически отсутствовал.

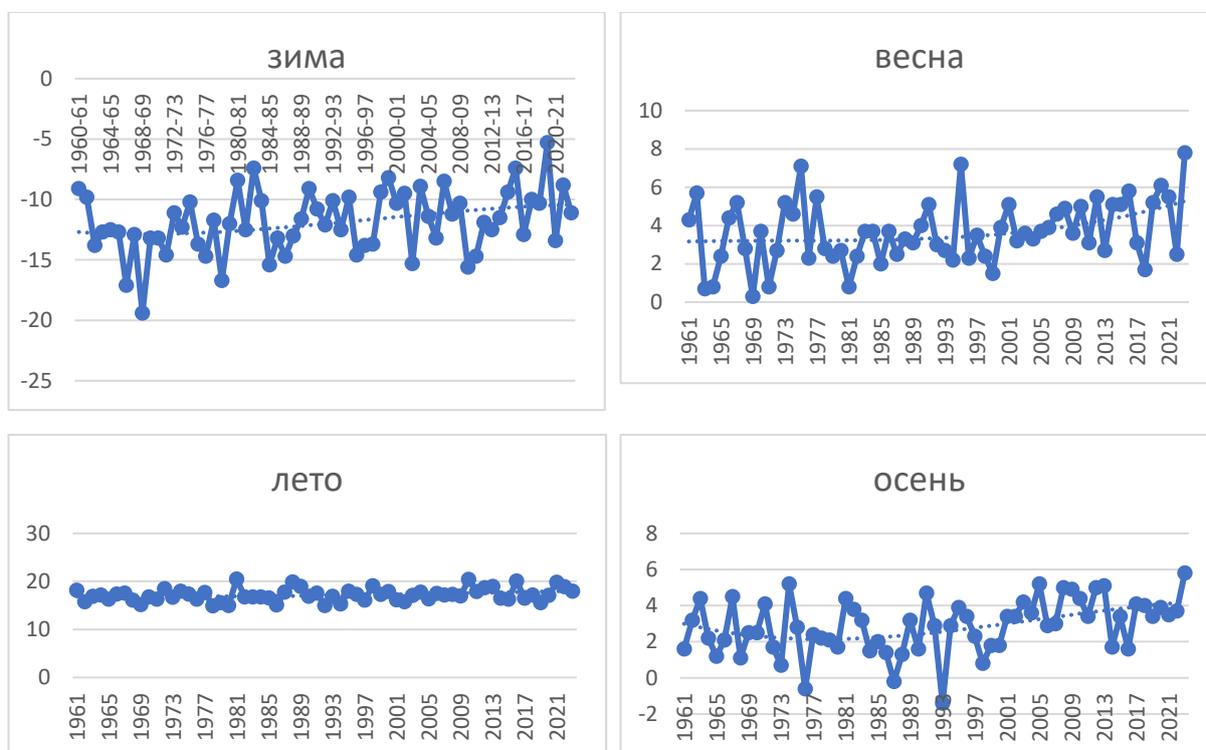


Рис. 2. Средние сезонные температуры по метеостанции Ижевск и полиномиальные линии тренда 3-й степени

Зимний период характеризуется также наибольшей межгодовой изменчивостью температур, тогда как летние температуры наиболее стабильны. В весенний период резко выделяются положительные аномалии, тогда как в осенний – отрицательные. Для дальнейшей детализации характеристик были построены графики и определены показатели изменчивости температур за каждый месяц. Примеры графиков за наиболее показательные месяцы представлены на рис. 3, характеристики – в табл. 1.

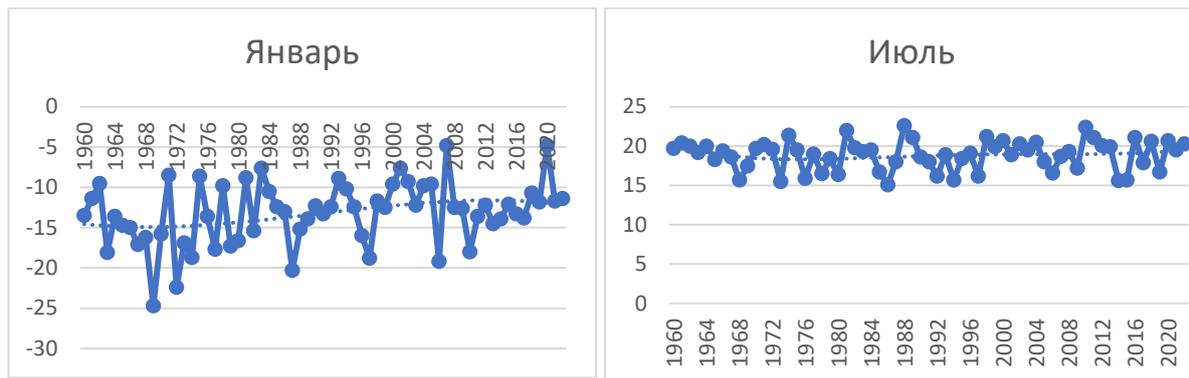


Рис. 3. Средние месячные температуры января и июля по метеостанции Ижевск и полиномиальные линии тренда 3-й степени

Как видно из рис. 3, рост средних температур января в начале 2000-х гг. прекратился, и даже наметилась тенденция к их понижению. Динамика июльских температур незначительна и соответствует таковой за лето.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики изменчивости средних месячных температур по метеостанции Ижевск за 1960-2023 гг.

Характеристики	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Корреляция со среднегодовыми	0,46	0,53	0,41	0,39	0,37	0,25	0,43	0,35	0,23	0,57	0,37	0,28	
Коэффициент вариации, %	14,9	12,8	7,1	6	4,8	4,2	3,5	4	2,6	4,5	8,2	13,6	1,02
Рост за 1970–2020 гг., °С	3,2	6,1	3,5	0,4	0,9	1,5	1,2	2	-0,8	3,4	-1,2	1,2	1,8

Как видно из табл. 1, наибольшей изменчивостью температур отличаются зимние месяцы, а наименьшей – лето и особенно начало осени. Максимальный вклад в суммарную годовую динамику формируют месяцы, для которых прирост температур наиболее значителен: январь, февраль, март и октябрь. При этом в сентябре и ноябре средние температуры за рассматриваемый период даже снизились. За всем этим стоят трудно поддающиеся учету циркуляционные процессы, повторяющиеся с той или иной регулярностью.

Таким образом, за повышением среднегодовых температур при более детальном рассмотрении выявляются существенные различия тенденций по

сезонам и месяцам, а также отдельным интервалам рассматриваемого периода 1960–2023 гг. Общую тенденцию к росту формируют январь, февраль, март и октябрь, тогда как в сентябре и ноябре средние температуры несколько понизились. Наиболее четко выраженный рост температур имел место в 1970–2010 гг. В последующие годы тенденция к росту обусловлена участвовавшими положительными аномалиями температур в зимне-весенний период. Указанные особенности не означают каких-либо негативных оценок и прогнозов для окружающей среды и хозяйства.

Список используемых источников

1. Погода и климат. <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=ru>
2. Важнова В. А., Верещагин М. А. О многолетней динамике приземного термического режима на территории Приволжского федерального округа (ПФО) во второй половине XX и в начале XXI столетия // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология, науки о Земле, вып. 1, 2014. С. 112–121.
3. Парубова Е. М. Оценка термического режима и биоклиматического состояния окружающей среды в Казани за период 1966–2018 гг. // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология, науки о Земле, 2022, вып. 2. С. 175–183.

УДК 621.397.132
ГРНТИ 47.51.39

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ 3D-МОДЕЛЕЙ В СИМУЛЯЦИЯХ: СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Д. А. Татаренков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Создание фотореалистичных 3D-моделей – важный шаг в создании иммерсивных приложений, построении метавселенных и преодолении границ виртуального и реального мира. Эти модели позволяют пользователям погружаться в миры, невозможные в реальной жизни. Статья посвящена сравнительному анализу различных методов обработки волосяного покрова при симуляции поведения тканевых материалов одежды на трехмерных моделях. Исследование фокусируется на эффективности и реалистичности применяемых методов в контексте симуляции движения и взаимодействия между одеждой и волосами. В работе проанализированы современные подходы, включая технологии симуляции физики волос, геометрическое моделирование. Экспериментальные результаты представляют собой сравнение визуальных и кинематических характеристик различных методов в контексте создания более реалистичных виртуальных персонажей. Полученные данные могут быть использованы для улучшения качества визуальных эффектов в игровой индустрии, а также в кинопроизводстве и иммерсивной реальности, виртуальном телепроизводстве.

3D моделирование, симуляция, Houdini, виртуальная реальность

Симуляция волосяного покрова и его взаимодействие с одеждой играют важную роль в создании реалистичных визуальных эффектов в индустрии игр, кинопроизводства, виртуальной реальности, телепроизводстве и других областях компьютерной графики. Один из ключевых аспектов этой задачи – предотвращение пересечения между волосами и одеждой, так как это может привести к искажению реалистичности сцены (рисунок 1). Данная статья посвящена сравнительному анализу двух методов предотвращения пересечения волос и одежды в программе Houdini [1], которая является одним из ведущих инструментов для создания визуальных эффектов и анимации.

Первый метод включает в себя проверку наличия пересечений между каждой парой вершин волос и одежды, с последующим исправлением пересечений. Второй метод предполагает удаление волос, которые пересекаются с одеждой, что позволяет улучшить производительность симуляции за счет уменьшения количества вершин волос.

В Houdini существует ряд инструментов и техник для обработки волосяного покрова и его взаимодействия с одеждой на трехмерных моделях.

Одним из наиболее эффективных методов является использование моделирования волос с помощью симуляций, основанных на физике взаимодействия. Такого рода симуляции позволяют учесть реальные физические свойства волос и их взаимодействие с окружающей средой и другими объектами. В Houdini для этого часто применяются такие инструменты как Hair and Fur. Они предоставляют широкий набор опций для моделирования, анимации и симуляции волос. Эти модули позволяют моделировать физические свойства волос: упругость, жесткость и сопротивление.

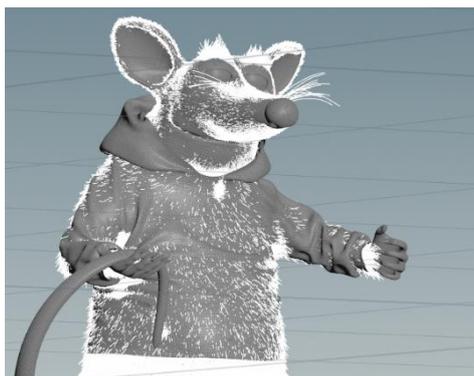


Рис. 1. Пример модели с взаимным пересечением волос и ткани

В Houdini используются инструмент Cloth Solver для симуляции тканей и одежды. Этот инструмент позволяет моделировать физические свойства тканей, такие как упругость, силу трения и сопротивление. Однако существует проблема такой симуляции, если меш ткани пересекается другим объектом, который также участвует в симуляции. Кроме того, симуляция одежды с отслеживанием большого количества коллизий приводит к существенному увеличению вычислений. Таким образом, для правильной симуляции одежды не следует вычислять влияние волосяного покрова. Но для предотвращения проникновения волос сквозь ткань следует производить дополнительные операции.

Существует несколько методов предотвращения пересечения волос и одежды:

- волосы и одежда обрабатываются как физические объекты, которые взаимодействуют друг с другом; при этом можно настроить коллизии между волосами и поверхностью одежды, чтобы предотвратить их пересечение;
- путем настройки параметров симуляции и деформации волос можно добиться естественного движения волос и предотвращения их пересечения с одеждой;
- управлением динамикой сцены, настройкой таких параметров, как сила гравитации, сопротивление воздуха и т.д., можно достичь желаемого поведения волос и одежды;
- ручное изменение параметров симуляции, перемещение отдельных волос или тканей, а также добавление дополнительных элементов, удерживающих волосы на месте и предотвращающих их пересечение с одеждой.

К ручному управлению можно отнести также использование алгоритмического редактирования геометрией волос. В VEX (Vector Expression Language), языке программирования, используемом в Houdini для написания кода, можно реализовать различные методы предотвращения пересечения волос и одежды.

На рисунке 2 приведен пример реализации алгоритма перебора всех вершин волос.

```
void main() {  
    // Получение данных о позициях вершин волос и одежды  
    // и цикл перебора всех вершин волос  
    for (int i = 0; i < numHairVertices; ++i) {  
        vector hairPos = hairPositions[i];  
        // Цикл перебора всех вершин одежды  
        for (int j = 0; j < numClothVertices; ++j) {  
            vector clothPos = clothPositions[j];  
            // Проверка наличие пересечения и исправление  
            preventIntersection(hairPos, clothPos, threshold);  
            // Применение измененных позиции к вершинам  
            hairPositions[i] = hairPos;  
            clothPositions[j] = clothPos;  
        }  
    }  
}
```

Рис. 2. Фрагмент листинга скрипта, реализующего перебор всех вершин волос и ткани

В каждой итерации происходит вызов функции детектирования пересечения и исправления направления волоса. Функция `preventIntersection()` принимает позиции вершин волос и одежды, а также пороговое значение `threshold`, которое определяет расстояние, при котором возникает пересечение. Если расстояние между волосом и одеждой меньше порога, функция корректирует их позиции так, чтобы избежать пересечения. Этот процесс выполняется для каждой пары вершин волос и одежды в цикле. Листинг функции представлен на рисунке 3.

```
int preventIntersection(vector hairPos; vector clothPos; float threshold) {  
    float distance = distance(hairPos, clothPos);  
    if (distance < threshold) {  
        vector direction = normalize(hairPos - clothPos);  
        float correction = threshold - distance;  
        hairPos += direction * correction * 0.5;  
        clothPos -= direction * correction * 0.5;  
        return 1; // Пересечение было исправлено  
    }  
    return 0; // Нет пересечения  
}
```

Рис. 3. Фрагмент листинга скрипта, реализующего перебор всех вершин волос и ткани

Другим способом предотвращения пересечения является удаление волос. Реализация основной части скрипта приведена на рисунке 4.

```
void main() {  
    // Цикл перебора всех вершин волос  
    for (int i = 0; i < numHairVertices; ++i) {  
        vector hairPos = hairPositions[i];  
        // Проверка пересечения и удаление волос, если необходимо  
        removeIntersectingHair(i, hairPos, clothPositions, threshold);  
    }  
}
```

Рис. 4. Фрагмент листинга скрипта, реализующего перебор всех вершин волос и ткани

На рисунке 5 представлена часть кода, которая детектирует пересечение двух примитивов. И в случае положительного результата происходит удаление всего волоса.

```
// Функция для проверки пересечений и удаления волос  
void removeIntersectingHair(int hairIndex; vector hairPos; vector[] clothPositions; float threshold) {  
    foreach(int clothIndex; vector clothPos; clothPositions) {  
        float distance = distance(hairPos, clothPos);  
        if (distance < threshold) {  
            removepoint(geoself(), "point", hairIndex);  
            break; // Удаление волоса и переход к следующему  
        }  
    }  
}
```

Рис. 5. Фрагмент листинга скрипта, реализующего функцию удаления пересекающего волоса

В этом скрипте функция `removeIntersectingHair()` принимает индекс вершины волоса, координаты этой вершины и массив координат вершин одежды. Она проходит по всем вершинам одежды и проверяет расстояние между вершиной волоса и каждой вершиной одежды. Если расстояние меньше порогового значения `threshold`, функция удаляет вершину волоса с помощью `removepoint()`.



Рис. 6. Результат работы скрипта, удаляющего пересекающие ткань волосы

Метод удаления волос, который предполагает удаление волос, пересекающихся с одеждой, оказался более эффективным с точки зрения времени генерации общей сцены, которое составляет 2.037 с. При использовании метода изменения направления волос время генерации сцены составляет в среднем 2.239 с. Измерения проводились на 100 сценах с одной и той же моделью, но ее разными позами. Метод удаления волос также привел к увеличению производительности за счет уменьшения количества вершин на сцене после удаления. Исходное количество волос на сцене составляло 173000, в то время как после удаления в среднем оставалось 594988 волос. Пример работы метода удаления волос со сцены представлен на рисунке 6.

Исходя из этих данных, для большинства случаев использование метода удаления волос, пересекающихся с одеждой, представляется более предпочтительным с точки зрения производительности и эффективности ресурсов. Однако необходимо учитывать специфику каждого конкретного проекта и принимать во внимание другие факторы, такие как требования к качеству и реалистичности визуализации.

Список используемых источников

1. Houdini // Documentation. URL: <https://www.sidefx.com/docs/houdini/> (дата обращения 25.02.2024).

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой ТВиМ СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Фёдоровым.

УДК 621.397.48
ГРНТИ 47.51.29

ГИБРИДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ: ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

А. Н. Тучкевич

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие и распространение гибридного телевидения идет уже более десяти лет, но предоставляемые им возможности не сразу очевидны как обычным пользователям, так и потенциально заинтересованным организациям. Пользователи могут получить повышенную гибкость в выборе потребляемого контента, а организации – новые возможности взаимодействия с рекламодателями. В докладе описывается принцип работы системы гибридного телевидения на основе стандарта HbbTV. Проанализированы способы применения таких систем. Определяются направления развития данной технологии.

гибридное телевидение, HbbTV, интерактивное телевидение, направленная реклама, HbbTV TA, DVB-I

Стандарт HbbTV представляет собой интегрированную вещательно-широкополосную (IBB) систему и имеет два основных преимущества:

Объединение традиционных вещательных (спутниковые, кабельные, эфирные) и глобальных (Интернет) услуг.

Предоставление стандартизированной среды для просмотра, которая позволяет предлагать веб-услуги на телевизорах.

Основная цель HbbTV – расширить возможности просмотра визуального контента. В основе этой технологии лежат дополнительные сервисы или материалы различного формата, плавно встраиваемые в воспроизведение. Несмотря на то, что он уже много лет по умолчанию встроен в большинство телевизоров среднего и высокого класса, HbbTV не является широко известной функцией. HbbTV может работать как через эфирное вещание, так и по IP-каналу.

Если телевизор зрителя поддерживает HbbTV и вещатель делает доступными приложения, связанные с вещанием, зритель увидит "приглашение" на экране. Это может быть, например, значок в виде красной кнопки, информирующий зрителя о том, что приложение доступно для запуска при нажатии этой кнопки. После нажатия на кнопку, приложение, уже находящееся в телевизоре, будет отображено.

Комплексная архитектура HbbTV показана на рис. 1 [1].

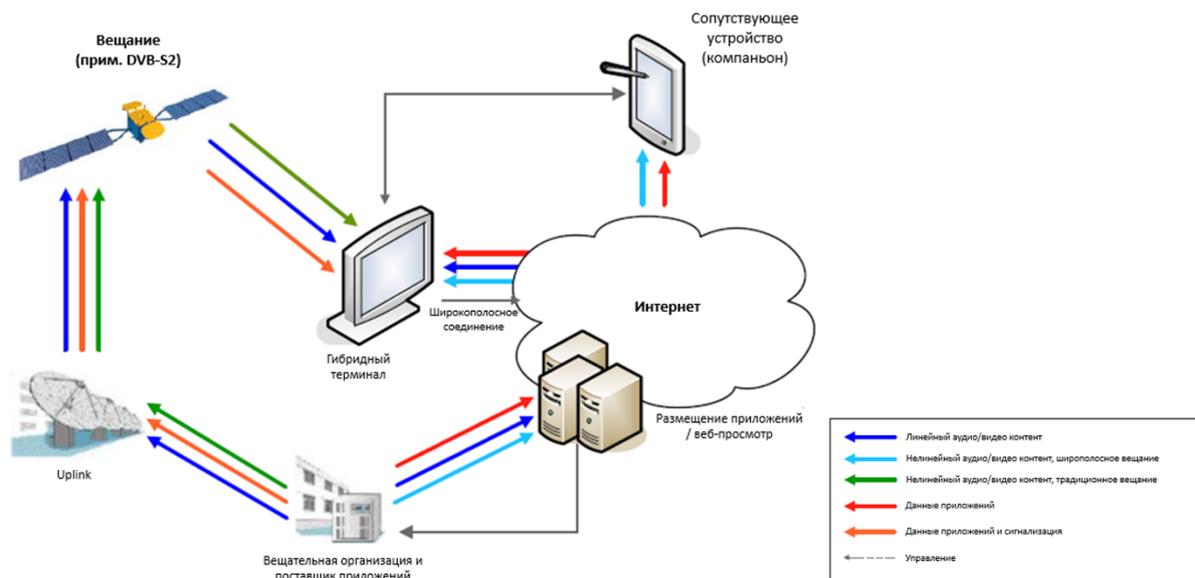


Рис. 1. Комплексная архитектура HbbTV

Гибридный терминал (телевизор с поддержкой HbbTV) имеет возможность параллельного подключения к двум сетям [1].

С одной стороны, он может быть подключен к вещательной сети DVB (например, DVB-T, DVB-S или DVB-C). Через это соединение гибридный терминал может принимать стандартный транслируемый аудио/видео контент (т.е. линейный аудио/видео контент), нелинейный аудио/видео контент (видео по запросу), данные приложений и сигнализацию приложений. Даже если терминал не подключен к широкополосной сети, его подключение к сети вещания позволяет ему принимать приложения, связанные с вещанием. Кроме того, через сеть вещания можно передавать сигналы о событиях потока в приложение.

С другой стороны, гибридный терминал может быть подключен к Интернету через широкополосный интерфейс. Это позволяет осуществлять двунаправленную связь с поставщиком приложений. Через этот интерфейс терминал может получать данные приложений и нелинейный аудио/видео контент (например, аудио/видео контент, передаваемый по запросу). Гибридный терминал может также поддерживать загрузку аудио/видео контента в режиме ожидания через этот интерфейс. Широкополосный интерфейс может также подключаться к сопутствующим устройствам или другим терминалам HbbTV в той же локальной сети, что и гибридный терминал. Сопутствующими устройствами могут являться пользовательские смартфоны и планшеты. С их помощью можно обеспечить дополнительное взаимодействие с приложениями HbbTV, или облегчить просмотр контента лицам с ограниченными возможностями.

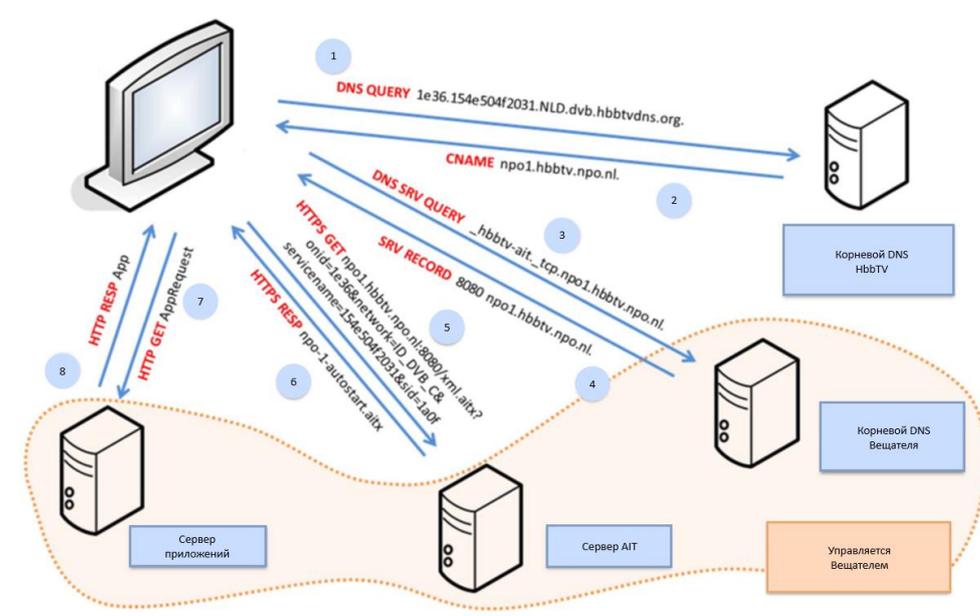


Рис. 2. Подключение гибридного терминала к службам HbbTV

Для подключения гибридного устройства (терминала) к службе HbbTV используется протокол поиска и распознавания (AIT), состоящий из 8 шагов, как показано на рис. 2 [2].

1. Терминал посылает запрос на корневой DNS-сервер (HbbTV DNS root), используя полное доменное имя (Fully Qualified Domain Name (FQDN)) извлеченное из информации, содержащейся в трансляции.

2. Определяется возвращаемая информация. Если для данной службы доступно авторитетное FQDN, корневой DNS-сервер предоставит информацию о нем.

3. Отправляется запрос сервера системы доменных имен (DNS SRV) на авторитетный FQDN, чтобы обнаружить службу HbbTV-AIT, предоставляющий AIT для соответствующего сервиса.

4. Определяется информация о SRV-записи. Если DNS SRV доступен, авторитетный FQDN возвращает SRV-запись (определяет символическое имя и транспортный протокол, используемый как часть доменного имени) для службы HbbTV-AIT на терминал.

5 и 6. После того как терминал получает SRV-запись для HbbTV-AIT от авторитетного FQDN, терминал получает кодированную в XML AIT с сервера AIT, используя его URL-адрес.

7. После того, как терминал получает от сервера XML-кодированную AIT. Терминал отправляет запрос на Сервер Приложений (App Server).

8. Терминал загружает приложение, и конечный пользователь может им воспользоваться.

Прежде всего, HbbTV используется для получения информации, образовательных и развлекательных программ. Он также используется для ком-

мерческих целей (скачивание музыки, онлайн-покупки, (направленная) реклама и т. д.). Приложения могут предоставлять дополнительную информацию о программе (например, спортивную статистику), показывать электронный телегид с возможностью переключения каналов или предоставлять меню с доступом к дополнительным видеопрограммам [1]. Другие варианты включают реальное взаимодействие, например, групповые викторины, в которых пользователь играет с другими зрителями HbbTV. Интеграция с социальными сетями, адресуемая ТВ-реклама и реклама товаров с возможностью покупки. Также, сюда входит предоставление любой необходимой услуги по обеспечению доступности, в том числе для людей с ограниченными возможностями. HbbTV уже помогает людям с проблемами зрения, поскольку новые текстовые сервисы, предоставляемые HbbTV, гораздо лучше читаются, чем обычный телетекст, а в некоторых случаях уже предлагают возможности персонализации для дальнейшего улучшения читаемости за счет увеличенного размера шрифта и различных вариантов цвета (адаптация цветового контраста к индивидуальным потребностям). Кроме того, HbbTV может служить средством для оповещения населения в случае чрезвычайных ситуаций, что было продемонстрировано в ходе работы над европейским проектом “Alert4All” [3].

Основными направлениями развития стандарта HbbTV за последние несколько лет являются:

- совместное использование стандарта HbbTV и стандарта DVB-I;
- стандарт направленной рекламы HbbTV TA (HbbTV Targeted Advertising).

DVB-I – это предоставление вещательного контента, характерного для вещательных компаний, зрителям по всем возможным путям доставки, с помощью устройств, подключенных к вещательной сети, а также к Интернету. HbbTV позволяет предоставлять интегрированный опыт вещательного телевидения и других услуг и возможностей через связанные приложения. Задача данного направления заключается также в обеспечении большей согласованности услуг доступности для вещателей, предоставляющих потоковое видео по запросу (HbbTV), потоковое линейное видео (DVB-DASH) и традиционные вещательные услуги, включая рассмотрение любых возможностей достижения согласованности подхода с HbbTV Accessibility Framework для предоставления услуг на основе возможностей терминала и предпочтений пользователя.

HbbTV TA, в свою очередь, может позволить вещательным организациям использовать существующий охват аудитории и повысить уровень ее восприятия, а следовательно, и доходы от рекламы, заменив стандартные типовые телевизионные рекламные ролики на направленную рекламу, ориентированную на домохозяйства и продаваемую по принципу программ. В данном случае подразумевается динамическая врезка рекламы (Dynamic Ad

Insertion), применяемая не только к сервисам потоковой передачи, но и к классическим телеканалам.

Процесс работы системы направленной рекламы в HbbTV представлен на рис. 3 [4].

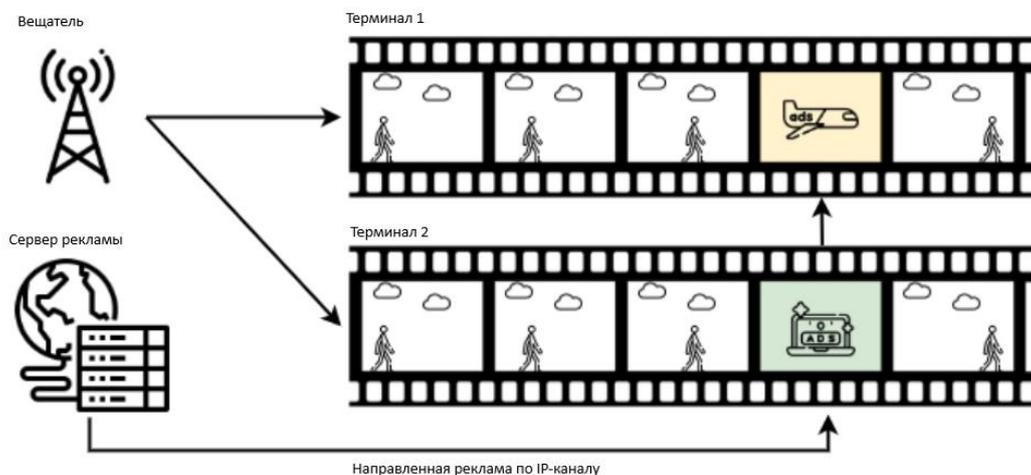


Рис. 3. Принцип работы HbbTV TA

Два пользователя с различными предпочтениями могут получать персонализированную рекламу от сервера рекламы. Это поведение контролируется приложением HbbTV Digital Ad Substitution (DAS), которое требует, чтобы терминалы HbbTV реализовали механизм, позволяющий предварительно считывать, буферизировать и воспроизводить рекламный контент. Процесс начинается с того, что вещатель сигнализирует о приближении возможности замещения. Затем приемник запрашивает у рекламного сервера рекламу, которая должна быть воспроизведена. После чего приемник загружает рекламу. Когда она подготовлена и достигнут нужный момент, приемник переключается с телевещания на рекламу. После окончания рекламы приемник снова переключается на телевещание.

Список используемых источников

1. ETSI TS 102 796 V1.7.1, “Hybrid Broadcast Broadband TV”, Sept. 2023.
2. ETSI TS 103 464 V1.1.1, “Hybrid Broadcast Broadband TV; Application Discovery over Broadband”, Sept. 2016.
3. “Alert 4 All (A4A)”, Projektarchiv, Institut für Kommunikation und Navigation. Доступно по ссылке: https://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-12748/22264_read-29975/.
4. Volnei da Silva Klehm, Rodrigo de Souza Braga, Vicente Ferreira de Lucena, Jr., “A Survey of Digital Television Interactivity Technologies”, Sensors, MDPI, 2022.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой ТВиМ СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Фёдоровым.

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Н. С. Фисечко, Д. А. Хименкова, И. Н. Чернов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Традиционные способы обнаружения предаварийных ситуаций основаны на датчиках или сенсорах. Применение таких датчиков не всегда дает информацию о точном месте обнаружения нештатной ситуации и часто требует большое количество времени на срабатывание.

Решение данной проблемы возможно на основе применения системы обнаружения, основанной на нейронных сверточных сетях. Залог успешного использования нейронных сетей заключается в правильном процессе обучения и составления набора обучающих данных. Для оптимальной работы также необходимо учитывать оборудование, на котором будет использоваться нейронная сеть.

распознавание объектов, сверточная нейронная сеть, YOLOv3, Python, dataset

Сверточные нейронные сети (*CNN*) стали широко популярными и востребованными на современном этапе развития технологий. Особенно успешно они зарекомендовали себя в области компьютерного зрения, где используются для обнаружения и распознавания объектов как на статических изображениях, так и в видеопотоке. Применение *CNN* в промышленности позволяет значительно повысить уровень безопасности, эффективно выявляя внештатные ситуации. Кроме того, использование сверточных нейронных сетей для анализа сложных объектов может оказаться более целесообразным по сравнению с традиционными методами, основанными на датчиках и сенсорах. Одним из современных детекторов выступает сверточная нейронная сеть *YOLO* (*You Only Look Once* – Ты Смотришь Только Один Раз), архитектура которой приведена на рис. 1 [1].

Неотъемлемой составляющей обучения нейронных сетей является обработки и формирования данных, необходимых для последующего обучения и валидации. Количество и разнообразие обучающего набора данных, который обычно обозначают термином «*dataset*» не зависит от размера и сложности нейронных сетей. Для достижения наилучших результатов обучения важно учитывать все факторы при формировании *dataset*.

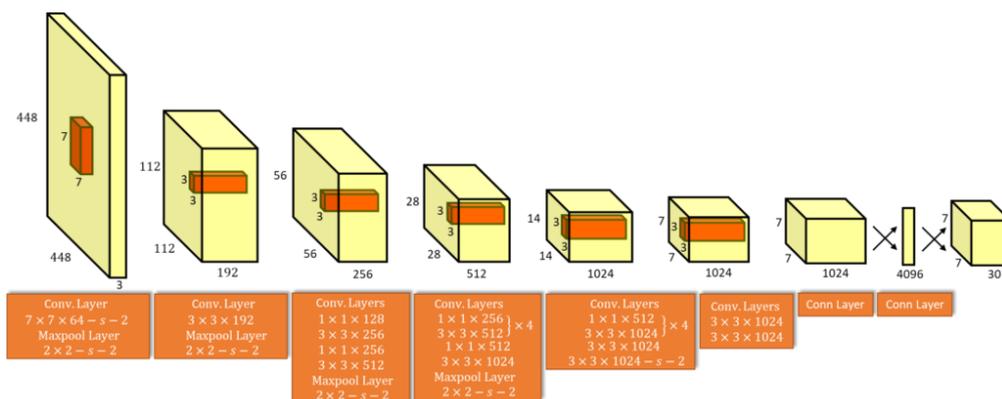


Рис. 1. Архитектура YOLO

1. Разнообразие данных

Важным аспектом создания набора файлов для *dataset* является обеспечение разнообразия. Достичь вариативности *dataset* можно путем использования изображений или видеоряда, сделанных с разных ракурсов, в условиях изменения яркости света и места расположения исследуемого объекта. Обогащать обучающий набор данных также можно используя различные камеры при прочих разных условиях. Правильное использование вышеупомянутых пунктов позволит повысить точность распознавания после процесса обучения и снизить вероятность переобучения нейронной сети. На рис. 2 представлены результаты распознавания при разных объемах обучающей выборки.

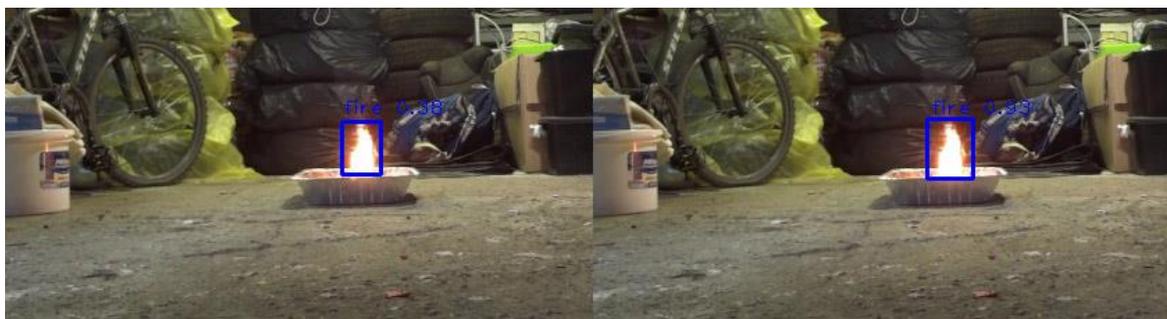


Рис. 2. Результат работы при объеме обучающей выборки 16000 и 32000

2. Положение объекта относительно центра изображения

Важно, чтобы исследуемый объект в обучающем наборе данных располагался в максимально возможном количестве положений относительно центра изображения или видеопотока, это поможет достичь максимального результата обучения и расширить область распознавания. Чаще всего набор обучающих данных содержит файлы, где исследуемый объект расположен

строго по центру, что приводит к запоминанию моделью конкретного расположения объекта и способствует потере способности распознавания его в других частях изображения или видеопотока.

3. Разметка dataset

Разметка обучающего и валидационного набора данных является неотъемлемой частью эффективного обучения нейронных сетей. При выделении исследуемого объекта необходимо избегать попадания в рамку участков изображения, которые негативно влияют на процесс обучения и в дальнейшем могут помешать корректному распознаванию. Если объект имеет составные части, например, у огня есть языки пламени, то их также следует выделять. Процент верного распознавания напрямую зависит от аккуратности и детальности выделения исследуемого объекта. На рис. 3 приведены примеры правильной и неправильной разметки исследуемого объекта [2].



Рис. 3. Правильная и неправильная разметка изображения

Более точная методика локализации исследуемых объектов заключается в выделении сложного контура, таким образом объект выделяется максимально точно, а области, не относящиеся к исследуемому объекту, исключаются. Так как такая методика достаточно трудоемкая, в рамках данной работы не применяется. На рис. 4 представлен пример такого выделения [3].



Рис. 4. Выделение контура

4. Количество классов обучения

Если нейронная сеть обучается для распознавания нескольких классов – исследуемых объектов, важно обеспечить равное количество примеров для каждого класса. Таким образом процент обнаружения каждого исследуемого объекта будет примерно одинаковым. Для получения лучшего результата при обучении использование большого количества классов не рекомендуется, так как это может перегрузить обучающий и валидационный наборы данных, вследствие чего произойдет переобучение нейронной сети.

5. Формат входных данных

Весь набор данных: обучающий и валидационный необходимо преобразовать в формат, соответствующий входным слоям сверточной нейронной сети. В случае с *YOLOv3* все входные изображения при обучении должны иметь размер кратный 32x32, данный параметр указывается в начале обучения в файле конфигурации, приведенном на рис. 5 [4].

```
1 [net]
2 # Training
3 batch=64
4 subdivisions=16
5 width=416
6 height=416
7 channels=3
8 momentum=0.949
9 decay=0.0005
10 angle=0
11 saturation = 1.5
12 exposure = 1.5
13 hue=.1
14
15 learning_rate=0.001
16 burn_in=1000
17 max_batches = 16000
18 policy=steps
19 steps=12800,14400
20 scales=.1,.1
```

Рис. 5. Файл конфигурации

6. Использование собственного dataset

Для проведения анализа или прогнозирования, не углубляясь в особенности глубокого обучения, можно рассмотреть разнообразные методы машинного обучения, включая алгоритмы с учителем, частично контролируемые, без учителя и с подкреплением. Эти методы основаны на обучении представлений, а не на специализированных алгоритмах для конкретных задач. В качестве источников данных можно использовать открытые наборы данных общего назначения, однако для решения специфических задач обнаружения объектов необходимо формировать собственный набор данных. Для достижения наилучших результатов важно учитывать все аспекты будущего применения обученной нейронной сети, включая тип входных данных и источники их получения.

При выполнении всех вышеперечисленных условий для подготовки к обучению сверточной нейронной сети на примере *YOLOv3* можно добиться максимального процента точности обнаружения исследуемого объекта. На рис. 6 приведены результаты работы до и после применения всех условий обучения.



Рис. 6. Результат работы до и после применения правильных условий обучения

Таким образом, рассмотрены основные методы правильного обучения сверточной нейронной сети для повышения результата обнаружения объекта. Приведены экспериментальные данные использования вышеуказанных факторов при обнаружении внештатной ситуации – огня.

Список используемых источников

1. #OD1 YOLO Object Detection // Hacker URL: <https://datahacker.rs/how-to-reform-yolo-object-detection-using-keras/> (дата обращения: 11.11.2023).
2. AlexeyAB / darknet // GitHub URL: <https://github.com/AlexeyAB/darknet> (дата обращения: 11.11.2023).
3. Instance Segmentation // Ultralytics URL: <https://docs.ultralytics.com/tasks/segment/> (дата обращения: 11.11.2023).
4. Дэвис Р., Тёрк М. Компьютерное зрение. Современные методы и перспективы развития. М.: ДМК Пресс, 2022. 690 с.

Статья представлена кандидатом технических наук, доцентом В. И. Тимченко.

УДК 621.396.969
ГРНТИ 47.49.31

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ 5G: ОДНОПОЗИЦИОННАЯ ОЦЕНКА КООРДИНАТ И ОРИЕНТАЦИИ

Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В сетях пятого и последующих поколений инфраструктура сети радиодоступа позволяет совместно решать задачи организации радиосвязи и позиционирования. Многоэлементные антенные решетки на базовых станциях gNB и пользовательских устройствах UE открывают широкие возможности по измерению угла прихода и ухода сигнала с высокой точностью для последующей оценки ориентации. В отличие от сетей подвижной связи предыдущих поколений, где для оценки координат UE в пространстве разностно-дальномерным методом необходимо было задействовать не менее четырех синхронизированных gNB, в сетях 5G позиционирование может быть реализовано однопозиционным методом посредством единственной базовой станции gNB и пользовательского устройства UE, оборудованных антенной решеткой, выполняющей оценку времени и угла прихода-ухода сигнала в нисходящем gNB→UE или восходящем UE→gNB канале. В настоящей работе формализована задача оценки координат и ориентации пользовательских устройств однопозиционным методом в условиях наличия прямой видимости в нисходящем gNB→UE канале.

сети 5G, позиционирование, однопозиционный метод, оценка координат, ориентация

В настоящее время существует комплекс различных сценариев определения местоположения (ОМП) пользовательских устройств UE (User Equipment) в условиях отсутствия прямой видимости NLOS (Non Line of Sight) сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с использованием инфраструктуры сетей подвижной связи LTE и NR [1]. Традиционные методы позиционирования UE в сетях подвижной связи LTE предполагают синхронизацию нескольких базовых станций gNB (gNodeB), реализующих разностно-дальномерный метод (РДМ) в восходящем UL (Uplink) или нисходящем DL (Downlink) канале [2]; в первом случае gNB работают на прием, а во втором случае gNB работают на передачу [3]. В обоих случаях требования к синхронизации между UE и gNB не предъявляются, так как синхронизированные gNB позволяют выполнить измерения разности времен прихода сигнала относительно одной опорной базовой станции gNB [4]. Если же в условиях прямой видимости LOS (Line of Sight) пользовательского устройства UE оказывается доступна только одна базовая станция gNB, актуальным становится однопозиционный метод [5]. В та-

ком случае определение местоположения реализуется посредством совместного измерения времени TOA (Time of Arrival) и угла прихода AOA (Angle of Arrival) и/или ухода AOD (Angle of Departure) сигнала на gNB или UE, которые оборудованы антенной решеткой (AP) [6]. При отсутствии изначальной синхронизации между gNB и UE вместе с локализацией необходимо дополнительно решить и задачу локальной синхронизации [7].

На сегодняшний день теория и практика технологий позиционирования в сетях пятого 5G [8] и последующих 6G [9] поколений находится в стадии становления. Однако уже сейчас модно утверждать, что сети 5G привнесли в область позиционирования ряд новых подходов, которые отсутствовали в сетях предыдущего поколения LTE. Среди новых технологий сетевого позиционирования 5G можно выделить следующие подходы: 1) однопозиционная оценка координат и ориентации устройств [10, 11]; 2) совместное позиционирование и синхронизации при отсутствии прямой видимости [12, 13]; 3) совместная локализация и синхронизации в ближней зоне [14, 15]; 4) использование реконфигурируемых интеллектуальных поверхностей RIS (Reconfigurable Intelligent Surface) [16, 17].

В настоящей работе формализуется однопозиционный метод оценки координат и ориентации устройства UE по сигналу от базовой станции gNB в нисходящем канале DL с оценкой угла ухода AOD и угла прихода AOA сигнала в условиях прямой видимости LOS (Line of Sight) в диапазоне миллиметровых волн (MMB). В [10, 11] установлено, что в условиях LOS угол ухода AOD используется для оценки координат UE, а угол прихода AOA используется для оценки ориентации UE; также показано, что информационная матрица Фишера FIM (Fisher Information Matrix) по совокупности первичных измерений TOA, AOD, AOA несингулярна, что является необходимым условием для оценки координат и ориентации UE однопозиционным методом (вырожденная, сингулярная или особая матрица – это такая квадратная матрица, у которой определитель равен нулю).

Допустим, gNB и UE оборудованы линейной антенной решеткой ULA (Uniform Linear Array). Рис. 1 иллюстрирует сценарий однопозиционного метода оценки координат и ориентации UE на плоскости по прямому сигналу LOS, излучаемому одной gNB [10].

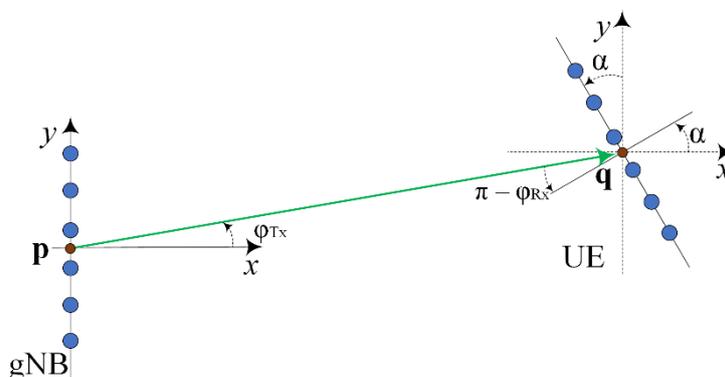


Рис. 1. Сценарий однопозиционного позиционирования в условиях LOS

Модель территориального распределения gNB и UE

Обозначим через $\mathbf{p} = [p_x, p_y]^T \in \mathbb{R}^2$ и $\mathbf{q} = [q_x, q_y]^T$ вектор координат UE и gNB на плоскости соответственно; пусть $\alpha \in (0, 2\pi]$ – угол поворота массива линейной AP UE относительно вертикальной оси системы координат (СК). Допустим, что N_t – число элементов ULA передающей базовой станции gNB, а N_r – число элементов ULA приемного пользовательского устройства UE.

Модель переданного сигнала

Модель переданного сигнала обозначим $\mathbf{F}\mathbf{x}(t)$, где $\mathbf{F} = [\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_{M_t}] \in \mathbb{C}^{N_t \times M_t}$ – диаграммообразующая матрица с числом лучей $M_t < N_t$, а сигнал $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_{M_t}(t)]^T \in \mathbb{C}^{M_t}$ одновременно передается M_t лучами.

Модель радиоканала с одним лучом LOS

Допустим, что ширина полосы частот сигнала равна B , а несущая частота сигнала диапазона ММВ равна f_c . Для модели узкополосного канала сделаем следующие допущения: 1) B невелика, поэтому потери при распространении радиоволн (РРВ) постоянны во всей ширине полосы; 2) разница фаз между верхней и нижней границами полосы частот сигнала B при передаче и приеме антенной решеткой достаточно мала настолько, что справедливо $\max(N_t, N_r)d \ll c/B$, где d – расстояние между элементами AP, c – скорость света. С учетом данных допущений канальная матрица может быть представлена выражением [9]:

$$\mathbf{H} = \sqrt{N_t N_r / \rho} h \mathbf{a}_{R_x}(\varphi_{R_x}) \mathbf{a}_{T_x}^H(\varphi_{T_x}),$$

где ρ – коэффициент потерь при РРВ между gNB и UE; h – комплексный коэффициент передачи сигнала по прямому лучу LOS; $\mathbf{a}_{T_x}(\varphi_{T_x}) \in \mathbb{C}^{N_t}$ – вектор направления диаграммообразующей схемы (ДОС) передатчика gNB; и $\mathbf{a}_{R_x}(\varphi_{R_x}) \in \mathbb{C}^{N_r}$ – вектор отклика ДОС приемника UE; φ_{T_x} – угол ухода сигнала AOD; φ_{R_x} – угол прихода сигнала AOA (рис. 1). Для линейной антенной решетки ULA на передающей gNB справедливо выражение:

$$\mathbf{a}_{T_x}(\varphi_{T_x}) = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \left[1, e^{j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\varphi_{T_x})}, \dots, e^{j(N_t-1) \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\varphi_{T_x})} \right]^T,$$

где $\lambda = c/f$ – длина волны. Для линейной антенной решетки ULA на приемном UE справедливо выражение:

$$\mathbf{a}_{R_x}(\varphi_{R_x}) = \frac{1}{\sqrt{N_r}} \left[1, e^{j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\varphi_{R_x})}, \dots, e^{j(N_r-1) \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\varphi_{R_x})} \right]^T.$$

Модель принятого сигнала

Модель принятого сигнала можно представить выражением:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{H}\mathbf{F}\mathbf{x}(t - \tau) + \mathbf{n}(t),$$

где $\tau = \|\mathbf{q} - \mathbf{p}\|/c$ – время или задержка распространения между gNB и UE, или время прихода сигнала TOA; $\mathbf{n}(t) \in \mathbb{C}^{N_r}$ – вектор комплексных выборок шума с нулевым средним и двусторонней спектральной плотностью мощности (СПМ) $N_0/2$. Задача позиционирования заключается в оценке координат \mathbf{p} и ориентации α пользовательского устройства UE на интервале $t \in [0, T_{ob})$, где T_{ob} – время сбора первичных измерений. Далее выполним постановку задачи оценки пределов точности позиционирования по нижней границе Крамера-Рао (НГКР, CRLB – Cramer–Rao Lower Bound).

Запишем информационную матрицу Фишера FIM (Fisher Information Matrix) и затем CRLB погрешности оценки координат \mathbf{p} и ориентации α пользовательского устройства UE в диапазоне ММВ. Сначала сформируем FIM из параметров канала: задержки τ , угла ухода AOD φ_{Tx} , угла прихода AOA φ_{Rx} и вещественной h_R и мнимой h_I составляющих комплексного коэффициента передачи канала h . Затем из FIM получим CRLB.

Формирование FIM из параметров канала

Обозначим через $\boldsymbol{\eta} \in \mathbb{R}^5$ вектор неизвестных параметров канала, включая τ , φ_{Tx} , φ_{Rx} , h_R и h_I [9]:

$$\boldsymbol{\eta} = [\tau, \boldsymbol{\varphi}^T, \mathbf{h}^T],$$

где $\boldsymbol{\varphi} = [\varphi_{Tx}, \varphi_{Rx}]^T$, $\mathbf{h} = [h_R, h_I]^T$.

Пусть $\hat{\boldsymbol{\eta}}$ – несмещенная оценка $\boldsymbol{\eta}$, тогда среднеквадратичная ошибка MSE (Mean Squared Error) $\hat{\boldsymbol{\eta}} - \boldsymbol{\eta}$ ограничена снизу величиной:

$$\mathbb{E}_{\mathbf{y}|\boldsymbol{\eta}}[(\hat{\boldsymbol{\eta}} - \boldsymbol{\eta})(\hat{\boldsymbol{\eta}} - \boldsymbol{\eta})^T] \geq \mathbf{J}_{\boldsymbol{\eta}}^{-1},$$

где $\mathbb{E}_{\mathbf{y}|\boldsymbol{\eta}}[\cdot]$ – оператор математического ожидания неизвестных параметров в $\boldsymbol{\eta}$ при известном принятом сигнале \mathbf{y} , а $\mathbf{J}_{\boldsymbol{\eta}}$ – FIM размерности 5×5 [9].

Оценка вектора параметров $\boldsymbol{\eta}$ осуществляется по алгоритму сжатого зондирования [18], который подходит для разреженного канала ММВ.

Рис. 2 иллюстрирует пример однопозиционной оценки координат и ориентации UE на плоскости в условиях LOS с использованием [7].

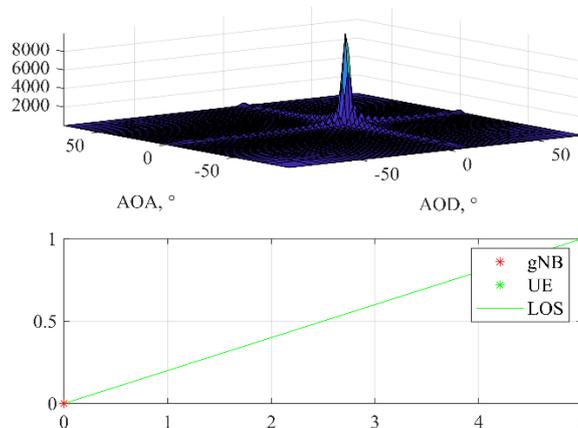


Рис. 2. Пример однопозиционного позиционирования в условиях LOS

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи, 2020. № 2. С. 3–9.
2. Фокин Г. А. Оценка точности позиционирования абонентских станций в сетях LTE разностно-дальномерным методом // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 2-х т. СПб.: СПбГУТ, 2015. Т. 1. С. 170–173.
3. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук.: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
4. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи, 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.
5. Киреев А. В., Фокин Г. А. Измерение времени прихода сигнала в задачах позиционирования в мобильных сетях при отсутствии прямой видимости // Информационные технологии и телекоммуникации, 2017. Т. 5. № 4. С. 36–41.
6. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2015. Т. 1. С. 122–126.
7. Фокин Г. А., Маколкина М. А., Елагин В. С., Тефикова М. Р., Кузьмина Е. А. Имитационная модель оценки точности позиционирования и ориентации устройств сверхплотных сетей 6G по широкополосным сигналам терагерцового диапазона на плоскости. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680542 Российская Федерация / Г. А. Фокин, М. А. Маколкина, В. С. Елагин, М. Р. Тефикова, Е. А. Кузьмина; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». – № 2022669646; заявл. 20.10.2022; опубл. 02.11.2022. 1 с.
9. Italiano L., Tedeschini B. C., Brambilla M., Huang H., Nicoli M., Wymeersch H. A Tutorial on 5G Positioning // arXiv preprint, 2023. arXiv:2311.10551.
9. Chen H., Srieddeen H., Ballal T., Wymeersch H., Alouini M. -S., Al-Naffouri T. Y. A Tutorial on Terahertz-Band Localization for 6G Communication Systems // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022. Vol. 24. № 3. PP. 1780–1815.
10. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. 5G Position and Orientation Estimation through Millimeter Wave MIMO // 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), San Diego, CA, USA, 06-10 December 2015. PP. 1–6.
11. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. Position and Orientation Estimation Through Millimeter-Wave MIMO in 5G Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2018. Vol. 17. № 3. PP. 1822–1835.
12. Wymeersch H. A simple method for 5G positioning and synchronization without line-of-sight // arXiv preprint. 2018. arXiv:1812.05417.
13. Mendrzik R., Wymeersch H., Bauch G. Joint Localization and Mapping Through Millimeter Wave MIMO in 5G Systems // 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 09-13 December 2018. PP. 1–6

14. Wymeersch H. Near-field joint localization and synchronization // arXiv preprint. 2019. arXiv:1907.07411.

15. Wymeersch H. A Fisher Information Analysis of Joint Localization and Synchronization in near Field // 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Dublin, Ireland, 07-11 June 2020. PP. 1–6.

16. Abu-Shaban Z., Keykhosravi K., Keskin M. F., Alexandropoulos G. C., Seco-Granados G., Wymeersch H. Near-field Localization with a Reconfigurable Intelligent Surface Acting as Lens // ICC 2021 – IEEE International Conference on Communications, Montreal, QC, Canada, 14-23 June 2021. PP. 1–6.

17. Keykhosravi K., Keskin M. F., Seco-Granados G. and Wymeersch H. SISO RIS-Enabled Joint 3D Downlink Localization and Synchronization, ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications, Montreal, QC, Canada, 2021. PP. 1–6.

18. Duarte M. F., Sarvotham S., Baron D., Wakin M. B., Baraniuk R. G. Distributed Compressed Sensing of Jointly Sparse Signals // Conference Record of the Thirty-Ninth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 30 October – 02 November 2005. PP. 1537–1541.

УДК 621.396.969
ГРНТИ 47.49.31

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ 5G: ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ И СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящей работе формализована математическая модель и программно реализована имитационная модель для совместной оценки координат и синхронизации устройств однопозиционным методом в условиях отсутствия прямой видимости в нисходящем канале между базовой станцией gNB и пользовательским устройством UE. Предполагается, что базовая станция gNB и пользовательское устройство UE оборудованы многоэлементными линейными антенными решетками и функционируют в диапазоне миллиметровых волн в условиях отсутствия прямой видимости и наличия нескольких переотраженных сигналов. Показана геометрическая трактовка поиска неизвестных координат пользовательского устройства UE и неизвестного сдвига синхронизации между gNB и UE в нисходящем канале gNB→UE. Результаты моделирования подтверждают работоспособность однопозиционного метода.

сети 5G, позиционирование, синхронизация, отсутствие прямой видимости

Точность многопозиционных методов определения местоположения (ОМП), основанных на первичных измерениях времени прихода TOA (Time of Arrival) в сетях LTE, зависит от свойств и ширины полосы используемых сигналов [1], а также взаимного расположения нескольких базовых станций, задействованных в сеансе позиционирования пользовательского устройства UE (User Equipment) [2]. Использование пространственной обработки сигналов [3] и направленных антенн [4] в самоорганизующихся сетях [5] позволяет решать задачу позиционирования однопозиционным методом посредством измерения углов ухода AOD (Angle of Departure) и прихода AOA (Angle of Arrival) сигналов. В диапазоне дециметровых волн (ДМВ) сетей LTE для эффективного функционирования угломерного метода (УМ) необходимо предварительно идентифицировать условия наличия прямой видимости LOS (Line of Sight) [6] посредством пространственной обработки сигналов [7]. В диапазоне миллиметровых волн (ММВ) сетей NR внедрение многоэлементных антенных решеток (АР) на базовых станциях gNB (gNodeB) и пользовательских устройствах UE [8] способствует более широкому использованию угломерного метода в различных сценариях [9], включая однопозиционное позиционирование, ориентацию и синхронизацию

[10] в условиях наличия [11–14] и отсутствия прямой видимости NLOS (Non Line of Sight) [15–20]. Далее рассмотрим подход к позиционированию и ориентации в условиях NLOS согласно [10, 16].

В нисходящем канале gNB→UE принятый сигнал, содержащий параметры TOA, AOD и AOA можно представить выражением [16]:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{W}^H \sum_{l=0}^L h_l \mathbf{a}_R(\boldsymbol{\theta}_l) \mathbf{a}_T^H(\boldsymbol{\varphi}_l) \mathbf{s}(t - \tau_l) + \mathbf{n}(t),$$

где $\mathbf{s}(t)$ – вектор переданного сигнала; \mathbf{W} – матрица комбинирования принятого сигнала; h_l – комплексный коэффициент передачи канала l – й многолучевой компоненты (МЛК); общее число МЛК $l = 1, \dots, L$ в условиях NLOS; компонента $l = 0$ соответствует условиям LOS; $\boldsymbol{\theta}_l = [\theta_l^{az}, \theta_l^{el}]^T$ – вектор азимута θ_l^{az} и угла места θ_l^{el} направления прихода сигнала AOA l – й МЛК; $\boldsymbol{\varphi}_l = [\varphi_l^{az}, \varphi_l^{el}]^T$ – вектор азимута φ_l^{az} и угла места φ_l^{el} направления ухода сигнала AOD l – й МЛК; τ_l – время прихода сигнала TOA l – й МЛК; $\mathbf{n}(t)$ – вектор выборок шума. Углы AOA и время TOA прихода сигнала измеряются по опорным сигналам в приемнике, а углы ухода AOD фиксируются в передатчике; $\mathbf{a}_R(\boldsymbol{\theta}_l)$ – вектор отклика антенной решетки приемника; $\mathbf{a}_T(\boldsymbol{\varphi}_l)$ – направляющий вектор антенной решетки передатчика.

Углы ухода AOD, прихода AOA и задержки каждой МЛК характеризую определенный геометрический сценарий в пространстве, который включает местоположение передатчика, приемника и отражателей. Допустим, базовая станция gNB имеет известные координаты в 3D: $\mathbf{x}_{gNB} \in \mathbb{R}^3$; пользовательское устройство UE имеет неизвестные координаты в 3D: $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3$, а также неизвестный сдвиг синхронизации B между gNB и UE в нисходящем канале gNB→UE, выражаемый в метрах; также UE имеет неизвестную ориентацию α относительно вертикальной оси системы координат. Обозначим неизвестные координаты точек рассеивания SP (Specular Points), являющихся источниками МЛК, через $\mathbf{x}_{s,l} \in \mathbb{R}^3$. Данные точки рассеивания, или точки падения лучей, можно рассматривать как отражающие поверхности. Начинается решение задачи позиционирования и синхронизации с отыскания вектора первичных дальномерных TOA и угломерных AOD/AOA измерений по каждой МЛК [16]:

$$\mathbf{z}_l = [\tau_l \boldsymbol{\theta}_l^T \boldsymbol{\varphi}_l^T]^T + \mathbf{w}_l, \mathbf{w}_l \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Sigma}_l),$$

где \mathbf{w}_l – вектор выборок шума первичных измерений с нулевым средним и ковариационной матрицей $\boldsymbol{\Sigma}_l$. Заканчивается решение задачи позиционирования и синхронизации в условиях полного отсутствия прямой видимости NLOS (компонента луча LOS при $l = 0$ отсутствует) отысканием вектора координат UE \mathbf{x} , ориентации α , сдвига синхронизации B и координат $\{\mathbf{x}_{s,l}\}_{l=1}^L$ точек рассеивания SP для всех L МЛК при минимальной априорной информации, включая дальность связи R между gNB и UE.

Формализуем геометрические соотношения между gNB, UE и SP для решаемой задачи в условиях однократного отражения МЛК. Обозначим через c – скорость света, $\mathbf{x} = [x, y, z]^T$ – неизвестные координаты UE; $\mathbf{x}_{s,l} = [x_{s,l}, y_{s,l}, z_{s,l}]^T$ – неизвестные координаты отражателя l – й МЛК; $\mathbf{x}_{gNB} = [x_{gNB}, y_{gNB}, z_{gNB}]^T$ – известные координаты gNB; функция $\arctan2$ вычисляет арктангенс и возвращает угол в диапазоне $[-\pi, \pi]$.

Время прихода сигнала TOA для l – й МЛК определяется как:

$$\tau_l = \|\mathbf{x}_{s,l} - \mathbf{x}_{gNB}\|/c + \|\mathbf{x}_{s,l} - \mathbf{x}\|/c + B/c;$$

Азимут и угол места направления прихода для l – й МЛК:

$$\theta_l^{az} = \pi + \arctan2(y_{s,l} - y, x_{s,l} - x) - \alpha; \theta_l^{el} = \arcsin((z_{s,l} - z)/\|\mathbf{x}_{s,l} - \mathbf{x}\|)$$

Азимут и угол места направления ухода для l – й МЛК:

$$\varphi_l^{az} = \arctan2(y_{s,l}, x_{s,l}); \varphi_l^{el} = \arcsin((z_{s,l} - z_{gNB})/\|\mathbf{x}_{s,l} - \mathbf{x}_{gNB}\|)$$

Суть предлагаемого в [16] метода в нисходящем канале gNB→UE сводится к следующему. *Во-первых*, угол ухода φ_l и сдвиг синхронизации B определяют отрезок от gNB до l – й точки отражения длины $\rho_l = \tau_l - B$. Данный отрезок характеризуется двумя точками \mathbf{x}_{gNB} и \mathbf{s}_l .

$$\mathbf{s}_l = \mathbf{x}_{gNB} + \rho_l \begin{bmatrix} \cos \varphi_l^{el} \cos \varphi_l^{az} \\ \cos \varphi_l^{el} \sin \varphi_l^{az} \\ \sin \varphi_l^{el} \end{bmatrix}; \tilde{\mathbf{s}}_l = \mathbf{x}_{gNB} + \rho_l \begin{bmatrix} \cos \theta_l^{el} \cos(\theta_l^{az} + \alpha - \pi) \\ \cos \theta_l^{el} \sin(\theta_l^{az} + \alpha - \pi) \\ \sin(-\theta_l^{el}) \end{bmatrix};$$

Точка отражения l – й МЛК с координатами $\mathbf{x}_{s,l}$ должна находиться на данном отрезке. *Во-вторых*, угол прихода θ_l , сдвиг синхронизации B и угол ориентации UE α определяют отрезок от точки \mathbf{s}_l до точки $\tilde{\mathbf{s}}_l$.

Точка координат UE \mathbf{x} должна находиться на данном отрезке. Таким образом, кортеж первичных измерений $[\theta_l, \varphi_l, B, \alpha]$ определяет отрезок, на котором должно находиться пользовательское устройство UE. Оценка угла ухода φ_l и прихода θ_l доступна из вектора первичных измерений \mathbf{z}_l . При условии однократных отражений от точек рассеивания SP и отсутствии шума \mathbf{w}_l в векторе \mathbf{z}_l , $l = 1, \dots, L$ набор из L отрезков МЛК в условиях NLOS определяет единственную точку их пересечения, которая и является оценкой координат UE. При наличии шума порядок оценки координат можно формализовать следующим образом [16]: 1) рассмотрим гипотезу (α, B) ; 2) для всех МЛК $l = 1, \dots, L$ при данном \mathbf{z}_l сформируем: а) $n = 1, \dots, N_s$ выборки φ_l и ρ_l ; для каждой выборки сформируем отрезок, на котором должна лежать точка SP с координатами $\mathbf{x}_{s,l}$; б) $n = 1, \dots, N_s$ выборки φ_l , θ_l и ρ_l ; для каждой выборки сформируем отрезок, на котором должна лежать точка UE с координатами \mathbf{x} ; обозначим данный отрезок ℓ_l^n ; 3) для каждой выборки $n = 1, \dots, N_s$ вычислим расстояние $d_{l,l'}^n$ между ℓ_l^n и $\ell_{l'}^n$ при условии $l \neq l'$;

одновременно с этим определим единственную точку в пространстве на минимальном расстоянии до ℓ_l^n и до $\ell_{l'}^n$; обозначим данную точку $\mathbf{x}_{l,l'}^n$; при правдоподобной гипотезе (α, B) точки $\mathbf{x}_{l,l'}^n$, сгруппированы в окрестности истинного местоположения UE; 4) в заключении вычисляется метрика ошибки [16]:

$$\varepsilon(\alpha, B) = \frac{2}{N_s(L(L-1))} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{l=1}^L \sum_{l'>l} d_{l,l'}^n,$$

и распределение местоположений UE [16]:

$$\boldsymbol{\mu}_{UE}(\alpha, B) = \frac{2}{N_s(L(L-1))} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{l=1}^L \sum_{l'>l} \mathbf{x}_{l,l'}^n,$$

$$\boldsymbol{\Sigma}_{UE}(\alpha, B) = \frac{2}{N_s(L(L-1))} \sum_{n=1}^{N_s} \sum_{l=1}^L \sum_{l'>l} \left(\mathbf{x}_{l,l'}^n - \boldsymbol{\mu}_{UE}(\alpha, B) \right) \left(\mathbf{x}_{l,l'}^n - \boldsymbol{\mu}_{UE}(\alpha, B) \right)^T,$$

где $\boldsymbol{\mu}_{UE}(\alpha, B)$ – вектор математических ожиданий оценок местоположений UE; $\boldsymbol{\Sigma}_{UE}(\alpha, B)$ – ковариационная матрица оценок местоположений UE. В качестве результирующей оценки координат UE выбирается оценка для заданной гипотезы (α, B) из набора $(\alpha^*, B^*) = \arg \min_{(\alpha, B)} \varepsilon(\alpha, B)$.

Рис. 1 иллюстрирует пример однопозиционной оценки координат и ориентации UE на плоскости в условиях NLOS с использованием [10].

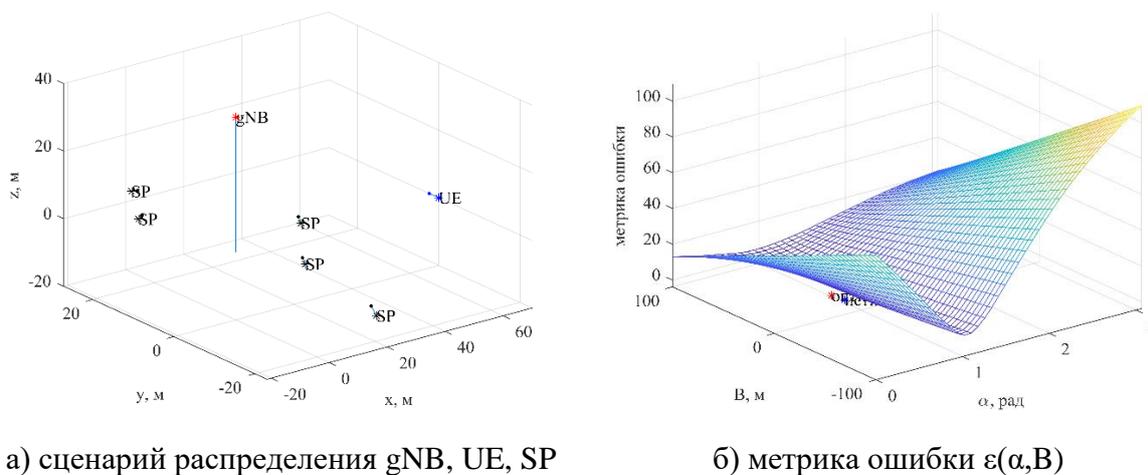


Рис. 1. Пример однопозиционного позиционирования в условиях NLOS

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>.

Список используемых источников

1. Дворников С. В., Фокин Г. А., Аль-Одхари А. Х., Федоренко И. В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, 2017. № 4. С. 94–103.

2. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Оценка возможностей метода разностно-дальномерного метода позиционирования абонентских станций в системах мобильной связи LTE средствами имитационного моделирования // Информационные технологии моделирования и управления, 2016. Т. 98. № 2. С. 149–160.
3. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование базовой станции в сетях LTE средствами пространственной обработки сигналов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 124–128.
4. Бабков В. Ю., Фокин Г. А. Оценка вероятности успешного радиоприема в самоорганизующихся пакетных радиосетях на основе радиостанций с направленными антеннами // Информатика. Телекоммуникации. Управление, 2009. № 4 (82). С. 77–84.
5. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами / Г.А. Фокин. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 144 с.
6. Фокин Г. А. Методика идентификации прямой видимости в радиолиниях сетей мобильной связи 4-го поколения с пространственной обработкой сигналов // Труды Научно-исследовательского института радио, 2013. № 3. С. 78–82.
7. Фокин Г. А. Имитационное моделирование процесса распространения радиоволн в радиолиниях сетей мобильной связи 4-го поколения с пространственной обработкой сигналов // Труды Научно-исследовательского института радио, 2013. № 3. С. 83–89.
8. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук.: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
9. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи, 2020. № 3. С. 13–21.
10. Фокин Г. А., Маколкина М.А., Елагин В. С., Тефикова М.Р., Кузьмина Е. А. Имитационная модель оценки точности позиционирования, ориентации и синхронизации устройств сверхплотных сетей 6G по широкополосным сигналам терагерцового диапазона в пространстве. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680598 Российская Федерация / Г. А. Фокин, М. А. Маколкина, В. С. Елагин, М. Р. Тефикова, Е. А. Кузьмина; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». № 2022669655; заявл. 20.10.2022; опублик. 02.11.2022. 1 с.
11. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. 5G Position and Orientation Estimation through Millimeter Wave MIMO // 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), San Diego, CA, USA, 06-10 December 2015. PP. 1–6.
12. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. Position and Orientation Estimation Through Millimeter-Wave MIMO in 5G Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2018. Vol. 17. № 3. PP. 1822–1835.
13. Guerra A., Guidi F., Dardari D. Single-Anchor Localization and Orientation Performance Limits Using Massive Arrays: MIMO vs. Beamforming // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2018. Vol. 17. № 8. PP. 5241–5255.
14. Abu-Shaban Z., Wymeersch H., Abhayapala T., Seco-Granados G. Single-Anchor Two-Way Localization Bounds for 5G mmWave Systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020. Vol. 69. № 6. PP. 6388–6400.
15. Witrisal K. et al. High-Accuracy Localization for Assisted Living: 5G systems will turn multipath channels from foe to friend // IEEE Signal Processing Magazine, 2016. Vol. 33. № 2. PP. 59–70.

16. Wymeersch H. A simple method for 5G positioning and synchronization without line-of-sight // arXiv preprint. 2018. arXiv:1812.05417.
17. Mendrzik R., Wymeersch H., Bauch G. Joint Localization and Mapping Through Millimeter Wave MIMO in 5G Systems // 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Abu Dhabi, United Arab Emirates. 09-13 December 2018. PP. 1–6.
18. Mendrzik R., Wymeersch H., Bauch G., Abu-Shaban Z. Harnessing NLOS Components for Position and Orientation Estimation in 5G Millimeter Wave MIMO // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2019. Vol. 18. № 1. PP. 93–107.
19. Li Z., Jiang F., Wymeersch H., Wen F. An Iterative 5G Positioning and Synchronization Algorithm in NLOS Environments With Multi-Bounce Paths // IEEE Wireless Communications Letters, 2023. Vol. 12. № 5. PP. 804–808.
20. Wen F., Kulmer J., Witrissal K., Wymeersch H. 5G Positioning and Mapping With Diffuse Multipath // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2021. Vol. 20. №. 2. PP. 1164–1174.

УДК 621.396.969
ГРНТИ 47.49.31

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ 5G: ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В сетях пятого и последующих 5G поколений антенные решетки используются как для решения задач радиосвязи, так и для позиционирования. С увеличением размерности антенных решеток, которыми оборудованы базовые станции gNB и пользовательские устройства UE, допущение о плоском фронте волны и работе радиоканала gNB-UE в модели дальней зоны перестает действовать и становится необходимо учитывать кривизну сферического фронта волны. В настоящей работе выполнена постановка задачи совместного позиционирования и синхронизации UE однопозиционным методом с использованием антенной решетки на gNB в условиях работы радиоканала gNB-UE в модели ближней зоны.

сети 5G, позиционирование, синхронизация, модель ближней зоны.

Позиционирование в сетях подвижной связи дециметрового диапазона (ДМВ) 4G основано на допущении о работе радиоканала между базовой станцией и пользовательским устройством UE (User Equipment) в модели дальней зоны и разностно-дальномерном методе (РДМ) [1–3]. Для реализации РДМ в сетях LTE были предложены специальные опорные сигналы позиционирования PRS (Positioning Reference Signals) [4]. С распространением антенных решеток (АР) в сетях LTE стал набирать популярность и угломерный метод (УМ) определения местоположения (ОМП), основанный на пространственной обработке сигналов [5–8]. Пределы точности позиционирования РДМ и УМ определяются нижней границей Крамера-Рао (НГКР, CRLB – Cramer–Rao Lower Bound) [9].

С переходом к сверхплотным сетям миллиметрового (ММВ) и субмиллиметрового диапазона пятого 5G [10] и последующих 5G [11] поколений допущение о плоском фронте волны и работе радиоканала между базовой станцией gNB (gNodeB) и UE в модели дальней зоны перестает действовать. Более того, использование многоэлементных АР на gNB и UE позволяет решать совместную задачу позиционирования, ориентации и синхронизации UE однопозиционным методом [12, 13], в том числе, при отсутствии прямой видимости NLOS (Non-Line-of-Sight) [14, 15]. В связи с этим актуальным становится решение задачи ОМП в диапазоне ММВ в ближней зоне. За последнее время по этой тематике опубликовано достаточное число работ [16–24]. В настоящей работе выполнена постановка задачи совместного позиционирования и синхронизации UE однопозиционным методом в модели ближней зоны с использованием [24].

Одной из первых работ по решению задач позиционирования источников радиоизлучения в ближней зоне является [16], где исследовалось влияние некалиброванной AP на локализацию источника радиоизлучения (ИРИ) в ближней зоне. В [17] для ближней зоны выполнена оценка направления прихода сигнала DOA (Direction of Arrival) от множественных ИРИ с использованием алгоритма MUSIC (Multiple Signal Classification) и максимального правдоподобия ML (Maximum Likelihood). В [18] авторы выполнили оценку показателей функционирования метода ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Techniques) по угломерному разрешению ИРИ в ближней зоне. НКГР для разрешения нескольких ИРИ в условиях ближней зоны с использованием линейных AP ULA (Uniform Linear Array) была получена в [19]. Совместная оценка параметров удаления и направления ИРИ с использованием симметричных составных массивов AP исследована в [20]. Вопросы передачи данных в ближней зоне радиолинии диапазона ММВ нашли отражение в [21]. Актуальные исследования по локализации ИРИ в условиях ближней зоны [22–24] формализуются далее.

Рассмотрим на рис. 1 сценарий позиционирования на плоскости пользовательского устройства UE – источника радиоизлучения с одной антенной и неизвестными координатами $\mathbf{x} = [x, y]^T$ в прямоугольной системе координат (СК) или $[d, \theta]^T$ в полярной СК, где $d = \|\mathbf{x}\|$, $\theta = \arccos(x/\|\mathbf{x}\|)$. Допустим, что близкорасположенная к UE базовая станция gNB – приемник радиоизлучения, оборудована линейной AP из $N + 1$ элементов с расстоянием между соседними элементами Δ и известными координатами элементов AP $\mathbf{x}_n = [n\Delta, 0]^T, n \in \{-N/2, \dots, N/2\}$.

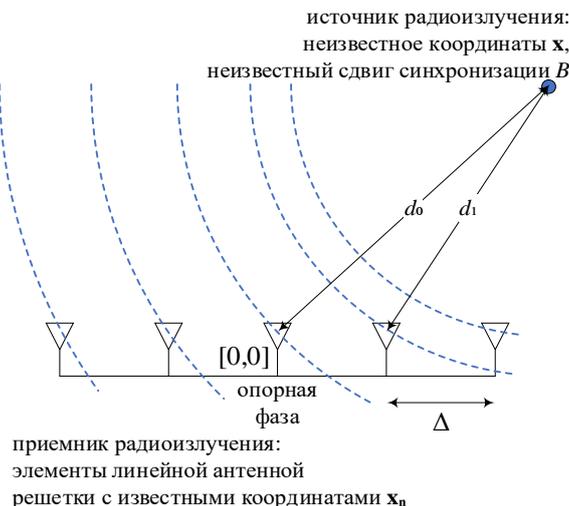


Рис. 1. Сценарий приема линейной антенной решеткой в ближней зоне

UE имеет неизвестный сдвиг синхронизации B относительно gNB, выраженный в метрах, и передает известный OFDM сигнал с мощностью P_t на

несущей частоте f_c диапазона ММВ (от 28 ГГц) с совокупной шириной полосы частот $W = (K + 1)\Delta_f$, где Δ_f – разнос поднесущих, а $(K + 1)$ – число поднесущих; что индекс поднесущей обозначим $k \in \{-K/2, K/2\}$.

Определим расстояние между ИРИ UE с координатами \mathbf{x} и n – м элементом AP с координатами \mathbf{x}_n через $d_n = \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_n\|$; расстояние между фазовым центром AP gNB с координатами $\mathbf{x}_0 = [0,0]^T$ и ИРИ UE обозначим через $d = d_0$. Определим через параметр $\delta_n = d_n - B$ влияние сдвига синхронизации B на принимаемый n – м элементом AP gNB сигнал y_n , тогда на k – й поднесущей $y_n[k]$ можно представить как:

$$y_n[k] = \alpha_n s[k] e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\xi_n[k]} + \sum_{l=1}^L \alpha_{n,l} s[k] e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\xi_{n,l}[k]} + w_n[k],$$

где $w_n[k]$ – комплексная выборка аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ, AWGN – Additive white Gaussian noise) с нулевым средним и дисперсией вещественной составляющей $N_0/2$, где N_0 – спектральная плотность мощности (СПМ) АБГШ. Допустим, что центральный элемент линейной AP с $N = 0$ является опорным элементом с нулевой фазой на поднесущей $k = 0$, т.е. $\xi_0[0] = 0$, а фаза на n – м элементе AP на поднесущей k определяется выражением:

$$\xi_n[k] = (d_n - d_0) + k \frac{\delta_n}{(K+1)T_s f_c},$$

где $T_s = 1/W$. Первое слагаемое $(d_n - d_0)$ определяет разность расстояний, преодолеваемых сферическим фронтом волны до n -го элемента AP относительно фазового центра AP. Второе слагаемое определяется абсолютной задержкой δ_n и увеличивается с ростом индекса поднесущей k .

Рис. 2 иллюстрирует зависимость фазы $-2\pi\xi_n[k]/\lambda$ принимаемого в ближней зоне сигнала от индекса элемента AP k и индекса поднесущей n при следующих параметрах: $K = 257, N = 129, f_c = 28$ ГГц, $W = 1,4$ ГГц.

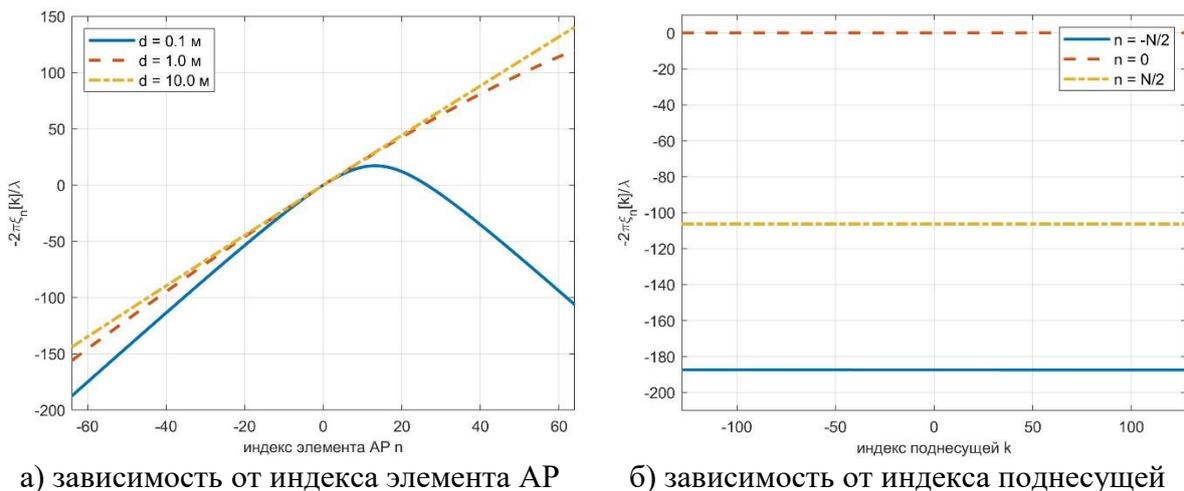


Рис. 2. Зависимость фазы принимаемого в ближней зоне сигнала

Разнос элементов AP для примера на рис. 2 равен $\Delta = \lambda/2$. На рис. 2,а показано изменение $-2\pi\xi_n[k]/\lambda$ в зависимости от индекса элемента AP n для

различных значений d_0 ; видно, что при малом d_0 фаза в зависимости от n изменяется нелинейно. На рис. 2,б показано изменение $-2\pi\xi_n[k]/\lambda$ в зависимости от индекса поднесущей k при различных индексах элемента АР n и значении $d_0 = 0,1$; видно, что при малом d_0 различные элементы АР наблюдают различные значения задержек $\delta_n = d_n - B$ [24].

Комплексный коэффициент передачи канала на n – м элементе АР равен $\alpha_n = \lambda/(2\pi d_n)$ с фазой $\psi_n = -2\pi d_0/\lambda$. Комплексный коэффициент передачи канала на n – м элементе АР для l -й многолучевой компоненты (МЛК) в условиях NLOS равен $\alpha_{n,l}$, фаза которого $\xi_{n,l}[k]$ возрастает с индексом поднесущей k вследствие увеличения задержки l –й МЛК.

Для позиционирования в ближней зоне предполагают, что коэффициент α_n не используется непосредственно, а трактуется как отдельный неизвестный параметр; для коэффициента α_n компоненты луча прямой видимости LOS справедливо $|\alpha_n| \gg |\alpha_{n,l}|, \forall l$. Также делается допущение о том, что спектр сигнала симметричен, т.е. $|s[k]| = |s[-k]|$. Совместная задача позиционирования и синхронизации заключается в нахождении неизвестного вектора координат x и сдвига синхронизации B и набора принятых сигналов Y размерности $Y \in \mathbb{C}^{(N+1) \times (K+1)}$ с учетом установленных на рис. 2 свойств фазы принятого в ближней зоне сигнала.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>.

Список используемых источников

1. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Оценка возможностей метода разностно-дальномерного метода позиционирования абонентских станций в системах мобильной связи LTE средствами имитационного моделирования // Информационные технологии моделирования и управления, 2016. Т. 98. № 2. С. 149–160.
2. Киреев А. В., Фокин Г. А. Измерение времени прихода сигнала в задачах позиционирования в мобильных сетях при отсутствии прямой видимости // Информационные технологии и телекоммуникации, 2017. Т. 5. № 4. С. 36–41.
3. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов // Труды учебных заведений связи, 2016. Т. 2. № 1. С. 68–72.
4. Дворников С. В., Фокин Г. А., Аль-Одхари А. Х., Федоренко И. В. Оценка влияния свойств сигнала PRS LTE на точность позиционирования // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, 2017. № 4. С. 94–103.
5. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование базовой станции в сетях LTE средствами пространственной обработки сигналов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 124–128.
6. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ 2015. Т. 1. С. 122–126.
7. Киреев А. В., Фокин Г. А. Пеленгация источников радиоизлучения LTE мобильным пунктом радиоконтроля с круговой антенной решеткой // Труды Научно-исследовательского института радио, 2015. № 2. С. 68–71.

8. Киреев А. В., Фокин Г. А. Positionирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // В сборнике: Наука и инновации в технических университетах. Материалы Девятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. С. 25-26.
9. Киреев А. В., Федоренко И. В., Фокин Г. А. Оценка точности позиционирования объекта с помощью границы Крамера-Рао // Труды учебных заведений связи, 2017. Том 3. № 2. С. 77–83.
10. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук.: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
11. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е., Нестерова Я. О. Программный модуль исследования зависимости точности позиционирования и ориентации устройств в пространстве от территориального разнесения в модели ближней и дальней зон в сверхплотных сетях миллиметрового и терагерцового диапазона. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682184 Российская Федерация / Г. А. Фокин, А. Е. Кучерявый, Я.О. Нестерова; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». № 2023681056; заявл. 12.10.2023; опубл. 23.10.2023. 1 с.
12. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. 5G Position and Orientation Estimation through Millimeter Wave MIMO // 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), San Diego, CA, USA, 06-10 December 2015. PP. 1–6.
13. Shahmansoori A., Garcia G. E., Destino G., Seco-Granados G., Wymeersch H. Position and Orientation Estimation Through Millimeter-Wave MIMO in 5G Systems // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2018. Vol. 17. № 3. PP. 1822–1835.
14. Wymeersch H. A simple method for 5G positioning and synchronization without line-of-sight // arXiv preprint. 2018. arXiv:1812.05417.
15. Witrals K. et al. High-Accuracy Localization for Assisted Living: 5G systems will turn multipath channels from foe to friend // IEEE Signal Processing Magazine, 2016. Vol. 33. № 2. PP. 59–70.
16. Rockah Y., Schultheiss P. Array shape calibration using sources in unknown locations-Part II: Near-field sources and estimator implementation // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1987. Vol. 35. № 6. PP. 724–735.
17. Huang Y.-D., Barkat M. Near-field multiple source localization by passive sensor array // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1991. Vol. 39. № 7. PP. 968–975.
18. Yuen N., Friedlander B. Performance analysis of higher order ESPRIT for localization of near-field sources // IEEE Transactions on Signal Processing, 1998. Vol. 46. № 3. PP. 709–719.
19. Gazzah H., Delmas J. P. CRB-Based Design of Linear Antenna Arrays for Near-Field Source Localization // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014. Vol. 62. № 4. PP. 1965–1974.
20. Zhi W., Chia M. Y. -W. Near-Field Source Localization via Symmetric Subarrays // IEEE Signal Processing Letters, 2007. Vol. 14. № 6. PP. 409–412.
21. Myers N. J., Kaleva J., Tölli A., Heath R. W. Message Passing-Based Link Configuration in Short Range Millimeter Wave Systems // IEEE Transactions on Communications, 2020. Vol. 68. № 6. PP. 3465–3479.
22. Friedlander B. Localization of Signals in the Near-Field of an Antenna Array // IEEE Transactions on Signal Processing, 2019. Vol. 67. № 15. PP. 3885–3893.
23. Wymeersch H. Near-field joint localization and synchronization // arXiv preprint. 2019. arXiv:1907.07411.
24. Wymeersch H. A Fisher Information Analysis of Joint Localization and Synchronization in near Field // 2020 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), Dublin, Ireland, 07-11 June 2020. PP. 1–6.

УДК 621.396.677
ГРНТИ 47.45.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЯ В СЕТЯХ 5G

Г. А. Фокин, Н. В. Шеремет

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Адаптивное диаграммообразование играет ключевую роль в эффективной реализации пространственного уплотнения одновременных передач в сетях мобильной связи пятого поколения. Антенные решетки устройств сетей высокой плотности сталкиваются с большим количеством помех, борьба с которыми требует применения алгоритмов адаптивного формирования диаграмм направленности. В исследовании рассматривается применение алгоритмов метода наименьших квадратов и рекурсивного метода наименьших квадратов для определения весовых коэффициентов SMART-антенн. Для сравнительного анализа результатов и оценки эффективности этих алгоритмов была разработана модель в среде MATLAB.

сверхплотные сети, адаптивное диаграммообразование, МНК, РМНК

Технологии многоантенных систем Massive MIMO [1–5] в целом и процедуры управления диаграммой направленности антенны (ДНА) [6–10], включая пространственную обработку сигналов при позиционировании с использованием антенных решеток (АР) [11–15], в частности, являются одними из прорывных для построения и функционирования сверхплотных сетей радиодоступа (СРД) пятого и последующих поколений [16–20].

Сети 5G отличаются от сетей предыдущих поколений своей способностью функционировать при сверхвысокой плотности распределения абонентских устройств. Рост плотности сетей и уровня помех в них вызваны снижением дальности распространения радиоволн при повышении частоты [18–20] из-за перехода на миллиметровый диапазон радиоволн (ММВ). Для обеспечения требований к параметрам качества связи в обстановке возросшего уровня внутрисистемных помех [8–10] необходим поиск новых методов уплотнения одновременных передач, например, – направленной радиосвязи посредством пространственного уплотнения SDMA (Space Division Multiple Access)

Цифровые антенные решетки (ЦАР) или SMART-антенны [6] за счет повышения уровня принятого сигнала и снижения уровня помех способны увеличить итоговое соотношение сигнал/шум для всей системы, а также уменьшают уровень помех, создаваемых самим устройством. Для формирования луча антенной решетки на ее элементах вводятся различные ампли-

туды сигналов и их задержки, задающие фазы [21–25]. ЦАР дают дальнейшее развитие концепции сотовой секторизации, посредством контроля множества лучей создавая собственную соту для каждого отдельного абонента. Различные диаграммы направленности задаются весовыми коэффициентами формирователей, которые вычисляются алгоритмами адаптивного диаграммообразования (ДО).

Алгоритмы диаграммообразования по требуемым для работы входным данным делятся на слепые и неслепые [21–25]. Слепые алгоритмы обрабатывают только стандартные принимаемые сигналы и информацию для формирования ДНА. Работа неслепых алгоритмов основана на приеме уникальной для каждого пользователя обучающей последовательности. Принятая из эфира последовательность сравнивается с известной оригинальной и используется для оценки состояния канала. Для формирования ДНА неслепым алгоритмам необходима не только текущая принятая обучающая последовательность, но и результат обработки предыдущего набора весовых коэффициентов ЦАР.

В данной работе в качестве неслепых алгоритмов адаптивного ДО рассматриваются метод наименьших квадратов (МНК) и его рекурсивная версия (РМНК). Алгоритм МНК – итерационно настраиваемый линейный фильтр, весовые коэффициента которого настраиваются так, чтобы минимизировать среднеквадратичную ошибку (СКО) между предсказанным и реальным выходными сигналом. В основе алгоритма лежит метод наискорейшего отрицательного спуска [21–25]. Алгоритм определяет ошибку отклонения для текущих весовых коэффициентов, и учитывает ее для вычисления новых коэффициентов. Оценка ошибки $e(k)$ – разница известной обучающей последовательности $d(k)$ и принятой из эфира последовательностью $x(k)$, пропущенной через фильтр весовых коэффициентов $w(k)$, из чего следует:

$$e(k) = d(k) - w^H(k)x(k). \quad (1)$$

Обновление весов осуществляется в соответствии с:

$$w(k + 1) = w(k) + \mu e^*(k)x(k). \quad (2)$$

где μ – коэффициент сходимости, отвечающий за скорость работы и стабильность алгоритма. Величина коэффициента μ прямопропорциональна скорости алгоритма, но требует тщательного подбора, так как слишком высокие значения снижают точность определения оптимума функции, а слишком низкие не только значительно увеличивают объем вычислений, но и могут привести к нахождению ложного оптимума. Проблема подбора коэффициента сходимости решается применением алгоритма рекурсивного МНК (РМНК), в котором градиентный шаг обновляется в процессе работы. Формула (2) приобретает вид

$$\mathbf{w}(k + 1) = \mathbf{w}(k) + \mathbf{e}^*(k) \frac{R^{-1}(k-1)\mathbf{x}(k)}{\lambda - \mathbf{x}^H(k)R^{-1}(k-1)\mathbf{x}(k)}, \quad (3)$$

где R^{-1} – обратная автоковариационная матрица принятого из эфира сигнала $\mathbf{x}(k)$, λ – экспоненциальный коэффициент масштабирования. РМНК рекурсивно обновляет корреляционную матрицу в каждой итерации, за счет чего имеет большую скорость сходимости, чем МНК, требующий ее постоянных перерасчетов [2].

Сравнительная оценка эффективности МНК и РМНК была произведена посредством их моделирования в программном комплексе Matlab. В рамках моделирования производилось построение диаграммы направленности линейной антенной решетки из восьми элементов. Сценарий предполагал наведение главного лепестка диаграммы на сигнал интереса и нулей диаграммы на два помеховых сигнала, находящихся на равных угловых расстояниях от сигнала интереса. Угловые расстояния в процессе моделирования изменяются, как показано на рис. 1, где SOI – сигнал интереса и SNOI – сигнал неинтереса, помеха.

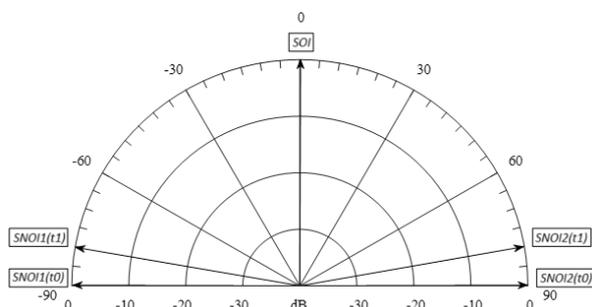


Рис. 1. Сценарий моделирования: сигналы неинтереса равноудалены от сигнала интереса и итеративно приближаются до пересечения с ним

Алгоритмы сравниваются по значениям СКО, – среднего значения квадратов разностей между ожидаемым и действительным значениями. В таблице 1 представлены результаты моделирования описанного сценария; угловой разнос – угол между сигналом интереса и одной из помех.

ТАБЛИЦА 1. Результат моделирования для алгоритмов МНК и РМНК

Угловой разнос сигналов	СКО МНК, дБ	СКО РМНК, дБ
90°	6,29	-9,25
80°	-13,08	-22,61
70°	-11,78	-18,15
60°	-12,24	-13,64
50°	-7,36	-13,22
40°	-10,77	-14,84
30°	2,45	-12,11
20°	-10,70	-15,90
10°	-9,80	-18,73
0°	7,29	7,37

На рис. 2 данные таблицы 1 представлены в виде графика. На всем наборе угловых разносов сценария СКО алгоритма РМНК имеет значения меньшие, чем у МНК. Среднее значение СКО МНК на 7,14 дБ выше. Также при угловом разносе 30° МНК имеет ярковыраженный пик СКО, который у РМНК не наблюдается. Таким образом и по количественным показателям и качественно алгоритм РМНК превосходит МНК с неизменным коэффициентом сходимости в задаче адаптивного диаграммообразования.

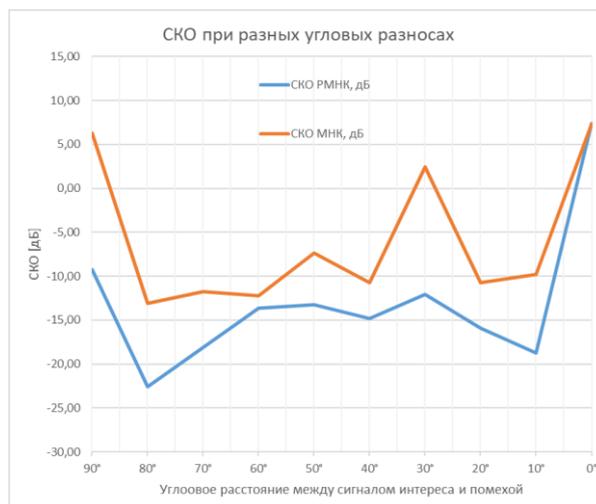


Рис. 2. Сравнение СКО алгоритмов МНК и РМНК

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>.

Список используемых источников

1. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Особенности реализации и перспективы развития технологии Massive MIMO в сетях // В сборнике: Интернет вещей и 5G (INTHITEN 2017). 3-я международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Под редакцией А. Е. Кучерявого, 2017. С. 186–190.
2. Мамонтов Д. Е., Фокин Г. А. Использование технологий Massive MIMO в сетях 5G // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 236–241.
3. Степанец И., Фокин Г. Особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G // Первая миля, 2018. № 1 (70). С. 46–52.
4. Степанец И. В., Фокин Г. А., Мюллер А. Способы оценки пропускной способности систем massive MIMO // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2018. Т. 12. № 10. С. 64–69.
5. Степанец И. В., Фокин Г. А. Оценка показателей качества разнесенного приема систем Massive MIMO // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 3. С. 279–284.

6. Кулик И. Ю., Фокин Г. А. Возможности диаграммообразования Smart антенн // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 210–214.
7. Бабков В. Ю., Фокин Г. А. Оценка вероятности успешного радиоприема в самоорганизующихся пакетных радиосетях на основе радиостанций с направленными антеннами // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление, 2009. № 4 (82). С. 77–84.
8. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами / Г.А. Фокин. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 144 с.
9. Фокин Г. Модели управления лучом в сетях 5G NR. Часть 1. Выравнивание лучей при установлении соединения. Первая миля, 2022. № 1 (101). С. 42–49.
10. Фокин Г. Модели управления лучом в сетях 5G NR. Часть 2. Выравнивание лучей при ведении радиосвязи. Первая миля, 2022. № 3 (103). С. 62–69.
11. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование базовой станции в сетях LTE средствами пространственной обработки сигналов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 124–128.
12. Киреев А. В., Фокин Г. А. Пеленгация источников радиоизлучения LTE мобильным пунктом радиоконтроля с круговой антенной решеткой // Труды Научно-исследовательского института радио. 2015. № 2. С. 68–71.
13. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ 2015. Т. 1. С. 122–126.
14. Киреев А. В., Фокин Г. А. Позиционирование источников радиоизлучения в сетях LTE с использованием круговой антенной решетки // Наука и инновации в технических университетах. Материалы Девятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. С. 25–26.
15. Фокин Г. А. Методика идентификации прямой видимости в радиолиниях сетей мобильной связи 4-го поколения с пространственной обработкой сигналов. Труды Научно-исследовательского института радио, 2013. № 3. С. 78–82.
16. Фокин Г. А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения: дис. ... докт. техн. наук: 05.12.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2021. 499 с.
17. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. Москва: Горячая Линия-Телеком, 2021. 456 с.
18. Фокин Г. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех. Первая миля, 2021. № 3 (95). С. 66–73.
19. Фокин Г. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств. Первая миля, 2021. № 4 (96). С. 66–73.
20. Фокин Г. А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием. T-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
21. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. John Wiley & sons, 2016. 1104 p.
22. Mailloux R. J. Phased Array Antenna Handbook. 3rd Ed. Artech House, 2017. 691 p.
23. Gross F. Smart Antennas for Wireless Communications: With MATLAB. McGraw-Hill Professional, 2005. 288 p.
24. Haykin S. S. Adaptive filter theory. Pearson Education, 2002.
25. Trees Van H. L. Optimum array processing: Part IV of detection, estimation, and modulation theory. John Wiley & Sons, 2002.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ИСТОЧНИКОВ ПОМЕХ ПРИ АДАПТАЦИИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

В. И. Царик

ООО «Эйртэго»

Рассмотрена задача определения числа источников помеховых сигналов, возникающая при построении некоторых видов цифровых адаптивных антенных решеток. Описаны некоторые алгоритмы решения поставленной задачи, основанные на методах статистического и кластерного анализов, а также на методах определения выбросов в числовой выборке. Проведено компьютерное моделирование работы указанных алгоритмов в разных сигнально-помеховых условиях. По результатам моделирования выполнен сравнительный анализ характеристик работы алгоритмов и определены методы с наилучшими показателями.

адаптивная антенная решетка, широкополосные помехи, количество источников помех, статистический анализ, кластерный анализ, компьютерное моделирование, MATLAB.

Одновременно с постоянным ростом области применения спутниковых навигационных систем и их значимости для различных сфер человеческой деятельности растет и потребность в обеспечении их непрерывной и надежной работы. Одним из препятствий на пути к удовлетворению данной потребности является возросшее за последние годы число доступных и относительно эффективных способов постановки помех, искажающих приходящие от спутников к потребителям сигналы и потому затрудняющих или делающих невозможным корректное позиционирование по спутниковым данным [1].

Среди известных методов борьбы с глушением навигационных сигналов выделяется широко применяемое построение цифровых адаптивных антенных решеток. Данная технология заключается в применении в приемнике спутниковых сигналов такой фильтрации, которая выражается в максимизации уровня диаграмм направленности элементов антенной решетки принимающей системы в направлении полезного сигнала и его минимизации (обращении в ноль) в направлении помех [2].

Часто при построении такого рода цифровых фильтров оказывается необходимым знание количества действующих в текущей сигнальной обстановке источников помех. Эта нужда возникает, например, в связи с известными результатами, связывающими количество антенных элементов

проектируемых решеток с максимальным числом подавляемых помех. Также необходимость вычисления количества источников помех может быть обусловлена спецификой построения конкретных алгоритмов адаптации, задействующих это количество и направления на источники помех при манипуляциях с диаграммами направленности антенных элементов. При этом многие из известных методов определения направлений на источники помех также используют в качестве входных данных, помимо прочего, заранее подсчитанное количество данных источников [3].

Наиболее распространенная из формальных постановок задачи определения числа источников помех имеет следующий вид. Сигнал, пришедший на антенную решетку приемника, прошедший через радиочастотную часть приемного тракта (в частности, аналого-цифровой преобразователь) и затем поступивший на вход цифрового фильтра имеет вид прямоугольной комплексной матрицы:

$$X \in \mathbb{C}^{N \times K},$$

где N — количество каналов тракта, K — количество отсчетов сигнала, используемых для вычислений. Данный сигнал представляет собой сумму полезного спутникового сигнала, шума и N_I некоррелированных помех, причем уровень полезного сигнала не превосходит уровень шума, который, в свою очередь, не превосходит суммарный уровень помех. Требуется синтезировать алгоритм, определяющий по X количество N_I источников помех.

В основе всех использовавшихся в рамках данной работы методов решения поставленной задачи лежит следующая идея. Предполагается, что множество всех сигналов, допустимых в данной постановке задачи, является конечномерным линейным пространством, которое можно разложить в прямую сумму двух собственных подпространств, содержащих соответственно полезные сигналы и помехи. В этой связи множество собственных чисел корреляционной матрицы C_X входного сигнала X также распадается на два подмножества, соответствующие указанным подпространствам, причем N_I собственных значений из подмножества, соответствующего помеховому подпространству, оказываются гораздо больше, чем остальные $N_S = N - N_I$ собственных чисел. Этот факт можно описать следующей цепочкой соотношений:

$$\lambda_{N_I}^l \geq \dots \geq \lambda_1^l > \lambda_{N_S}^s \approx \dots \approx \lambda_1^s.$$

Вследствие этого задача определения количества источников помех сводится к подсчету количества достаточно больших собственных чисел корреляционной матрицы входного C_X сигнала.

Одним из наиболее часто используемых и проработанных подходов к решению данной задачи является использование методов статистического последовательного анализа. Значительным результатом данной области знаний, полученным при решении поставленной задачи, является тот факт, что точка минимума функции:

$$F(d) = K(N - d) \ln \left\{ \frac{\frac{1}{N-d} \sum_{j=d+1}^N \lambda_j}{\left(\prod_{j=d+1}^N \lambda_j \right)^{\frac{1}{N-d}}} \right\},$$

где $d = 0, \dots, N - 1$, может служить оценкой числа достаточно больших значений в наборе собственных чисел $\Lambda = \{\lambda_j, j = 1, \dots, N\}$. Этот факт лежит в основе двух наиболее часто используемых для решения поставленной задачи методов. В соответствии с одним из них — информационным критерием Акаике (англ. Akaike information criterion, AIC) — в качестве оценки количества источников помех используется значение:

$$\arg \min_d \{F(d) + d(2N - d)\}.$$

При применении другого алгоритма — метода наименьшей описательной длины (англ. minimum description length, MDL) — для оценки этого числа используется значение:

$$\arg \min_d \left\{ F(d) + \frac{1}{2} (d(2N - d) + 1) \ln K \right\}.$$

Известно, что при неограниченном увеличении K оценка метода MDL становится состоятельной, в отличие от оценки алгоритма AIC, которая обычно оказывается больше реального числа источников помех [3].

С учетом того факта, что сущность обозначенной задачи заключается в разделении множества собственных чисел корреляционной матрицы входного сигнала на два подмножества со значительно отличающимися значениями, представляется перспективным применение при решении данной задачи методов кластерного анализа и обнаружения выбросов в числовых выборках. Один из использовавшихся в рамках данной работы методов этой группы основан на применении в качестве метрики, определяющей включение или невключение элемента выборки в число выбросов, медианного абсолютного отклонения (англ. median absolute deviation, MAD) числового набора Λ , равного:

$$MAD(\Lambda) = \text{med}(|\Lambda - \text{med}(\Lambda)|),$$

где $\text{med}(\cdot)$ — оператор вычисления медианы выборки. Известно, что, в отличие от выборочной дисперсии, медианное абсолютное отклонение является робастной оценкой дисперсии конечной выборки [4]. В этой связи можно считать выбросом элемент множества Λ , который отстоит от его медианы более чем на $3MAD(\Lambda)$. Положение такого выброса во множестве собственных чисел можно считать местом перехода между двумя подмножествами с сильно отличающимися значениями.

С целью увеличения выраженности перехода между искомыми наборами собственных чисел, уменьшения вариации значений внутри этих наборов и обращения в отрицательные числа, соответствующих полезным сигналам — обычно близких к нулю — ко множеству собственных значений можно применить логарифмическое преобразование по основанию 10. После этого оценкой

количества источников помех можно считать количество положительных значений в получившемся наборе $\{\lg \lambda_j, j = 1, \dots, N\}$.

Наконец, третьим использованным в рамках данного исследования методом разбиения множества собственных чисел на подмножества был известный алгоритм кластеризации по принципу k -средних. Входными данными для данного алгоритма служат числовое множество, подлежащее кластеризации, и требуемое количество кластеров [5]. Это позволяет разделить множество собственных чисел ровно на два подмножества, что приводит к простому решению поставленной задачи.

С целью проверки качества работы и сравнения характеристик, приведенных выше методов, было проведено компьютерное моделирование обработки данными алгоритмами реальных сигналов в среде MATLAB. Записи сигналов были получены в результате проведения серии экспериментов, которые отличались количеством источников помех и их расположением относительно принимающей системы. В качестве интегральной оценки результатов работы перечисленных алгоритмов при моделировании так же использовалась мода набора значений, полученных всеми указанными методами. Результаты моделирования приведены в таблице 1. В столбце «Положение источников» приняты следующие условные обозначения: «0» – источник помехи находился на одной высоте с приемником; «1» – источник помехи находился на 1 м выше приемника; «-1» – источник помехи находился на 1 м ниже приемника.

Из результатов экспериментов можно сделать следующие выводы. Благодаря использованию моды набора полученных всеми методами результатов, в каждом эксперименте в конечном счете был получен правильный ответ. Однако по отдельности алгоритмы выдавали правильные ответы не в каждом случае. Только методами MDL и MAD во всех случаях были получены правильные ответы. Алгоритм k -средних ни разу не выдал неправильный ответ только в случае 2 помех. В остальных случаях наблюдается определенное количество неправильных ответов. В отдельных сериях экспериментов для некоторых алгоритмов количество неправильных ответов превышает половину от числа соответствующих экспериментов – например, в случае с алгоритмом логарифмирования при 3 источниках помех. В этой связи из описанных в данной работе методов для практического применения в реальных спутниковых навигационных системах можно рекомендовать алгоритмы MDL и MAD, показавшие наилучшие результаты при моделировании. Остальные методы можно применять лишь в сочетании с двумя указанными и только при одновременном использовании некоторой интегральной оценки результатов совокупной работы алгоритмов, например, моды набора оценок, полученных всеми методами.

ТАБЛИЦА 1. Результаты оценивания количества источников помех, полученные алгоритмами в различных экспериментах

Количество помех	Положение источников	AIC	MDL	MAD	lg	k -средних	Мода
0	-	0	0	0	4	4	0
1	0	1	1	1	1	4	1
	-1	2	1	1	1	2	1
	1	1	1	1	1	4	1
2	0, 0	3	2	2	2	2	2
	-1, -1	2	2	2	2	2	2
	1, 1	3	2	2	2	2	2
	1, 0	2	2	2	2	2	2
	1, -1	2	2	2	1	2	2
	0, -1	2	2	2	1	2	2
3	0, 0, 0	3	3	3	2	3	3
	-1, -1, -1	3	3	3	3	3	3
	1, 1, 1	4	3	3	3	3	3
	1, 1, 0	4	3	3	3	3	3
	1, 1, -1	3	3	3	2	2	3
	0, 0, -1	3	3	3	2	2	3
	0, 0, 1	4	3	3	2	3	3
	-1, -1, 1	3	3	3	1	3	3
	-1, -1, 0	4	3	3	1	3	3
	1, -1, 0	3	3	3	2	2	3

Список используемых источников

1. Gao G. X., Sgammini M., Lu M., Kubo N. Protecting GNSS Receivers From Jamming and Interference // Proceedings of the IEEE, 2016. Vol. 104, № 6. PP. 1327–1338. DOI: 10.1109/JPROC.2016.2525938.

2. Morales-Ferre R., Richter P., Falletti E., de la Fuente A., Lohan E. S. A Survey on Coping With Intentional Interference in Satellite Navigation for Manned and Unmanned Aircraft // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020. Vol. 22, № 1. PP. 249–291. DOI: 10.1109/COMST.2019.2949178.

3. Van Trees H. L. Optimum Array Processing. Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory. New York: John Wiley & Sons, 2002. ISBN 0-471-09390-4.

4. Ruppert D., Matteson D. S. Statistics and Data Analysis for Financial Engineering with R examples. 2nd ed. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2613-8. DOI: 10.1007/978-1-4939-2614-5.

5. Xu D., Tian Y. A Comprehensive Survey of Clustering Algorithms // Annals of Data Science, 2015. Vol. 2. PP. 165–193. DOI: 10.1007/s40745-015-0040-1.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры РОС СПбГУТ, доктором технических наук, профессором Е. И. Глушанковым.

УДК 654.16
ГРНТИ 49.43.29

DEVELOPMENT OF ANALYZING AND TESTING DEVICE FOR 802.11 NETWORKS. PART 1 – GENERAL IDEA AND CONCEPT

M. A. Gordeev, A. N. Likontsev

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications

This article presents the initial stages of creating a specialized device for analyzing and testing 802.11 networks. It outlines the fundamental concepts and the overall vision driving the device's development. Specifically, the paper discusses the underlying principles guiding the device's design. Additionally, the article provides insights into the anticipated challenges and considerations in implementing the device, including issues related to hardware design and software development. This article serves as a precursor to forthcoming parts, where more detailed discussions on the technical specifications, implementation strategies, and practical applications of the device are expected to be addressed.

wireless networks, Wi-Fi analyzer, device engineering

Introduction

The demand for Wi-Fi analyzers originates from various requirements and challenges encountered in the management and optimization of wireless networks, especially on a large scale. Primarily, these tools provide insights into network performance, including signal strength, channel utilization, data throughput, and interference levels. By monitoring these parameters, users can identify potential bottlenecks, optimize network configurations, and troubleshoot connectivity issues effectively.

Moreover, Wi-Fi analyzers play a crucial role in spectrum management, especially in environments with multiple overlapping networks. By visualizing the Wi-Fi spectrum and detecting interference sources, users can strategically allocate channels and minimize co-channel interference, thereby enhancing network reliability and performance.

Additionally, Wi-Fi analyzers facilitate security assessments by identifying rogue access points, unauthorized devices, and potential security vulnerabilities. Through comprehensive scanning and analysis, users can ensure compliance with security protocols and mitigate the risk of unauthorized access or data breaches.

All these issues may not seem so crucial for a regular user, but they are for large companies where resilience, security and performance are the hard requirements for wireless networks.

General idea

On the market there are quite a lot of different solutions for analyzing wireless networks, but these are either not suitable for large scale surveys, too complex, or lacking certain features [1]. The goal of this study is to design a such tool that will be a perfect balance between power, cost, and complexity.

The first step is to determine whether it should be a piece of software, or a physical device. While software-based Wi-Fi analyzers offer convenience and flexibility, there are inherent limitations (both feature- and engineering-wise) that necessitate the development of dedicated physical devices.

From an engineering standpoint, development of a dedicated device will increase R&D costs on a short-term (since, well, there's a device to be designed), but in the long-term will reduce the number of resources needed to support it. The latter one is because in the case of a software suite, one needs to consider an enormous number of different customer's device setups to make sure that the software works well on each of them, and in case of a single dedicated device – there is only one.

From a consumer perspective there are two crucial factors that point towards a separate hardware: consistency of results and performance.

Consumer-grade Wi-Fi modules commonly used in software-based analyzers exhibit inherent variations in hardware specifications, such as antenna configurations, chipset capabilities, and sensitivity levels. Consequently, the accuracy and reliability of analysis results may vary significantly between different devices, leading to inconsistencies and potential inaccuracies in network assessments.

To illustrate the limitations of consumer-grade Wi-Fi modules, we provide a comparison table between two commonly used modules (Table 1):

TABLE 1. Comparison of consumer wireless modules

Parameter	BCM43013 [2]	QCA9377 [3]
Chipset	Broadcom	Qualcomm
Supported standards	a/b/g/n	a/b/g/n/ac
Maximum channel width	40 MHz	80 MHz
Peak speed	72 Mbps	433 Mbps

These variations can and will yield different results which will impact the reliability and accuracy of software-based Wi-Fi analyzers where more than one analyzer is required.

In addition to variations in hardware specifications, software-based analyzers are susceptible to fluctuations in system resources and environmental conditions, which can impact their performance and reliability. Based on a variety of personal computers on the market (including smartphones and tablets), this can have a negative impact on user experience when complex calculations take place.

User interface and internal software architecture

This part will not cover any hardware points, since it requires more thorough research on this specific topic, which goes beyond the scope of defining a general idea, but it is good to think of a software, since this is heavily coupled with user interface and experience which are crucial parts to defining a concept.

In the realm of modern networking devices, accessibility and user interaction play pivotal roles in ensuring seamless operation and user satisfaction. When considering the interface for a Wi-Fi analyzer device, there arises a pertinent question: whether to develop a standalone application or embed a web interface directly into the device. While both approaches have their merits, integrating a web interface offers four distinct advantages: compatibility, maintainability, simplicity, extensibility [4].

One of the primary advantages of integrating a web interface into the Wi-Fi analyzer device is its versatility and cross-platform compatibility. Unlike standalone applications that are typically developed for specific operating systems (e.g., Windows, macOS, Linux, Android, iOS), a web-based interface is accessible from any device with a web browser, regardless of its platform or operating system. This universality ensures seamless accessibility across a wide range of devices, including desktop computers, laptops, tablets, and smartphones, catering to diverse user preferences and requirements.

And intermediate advantage between compatibility and maintainability is the TCP/IP stack that allows to skip a process of designing a communications tunnel between analyzer and user device entirely and allows us to communicate with the user device with no additional code required to be placed there.

Another significant is the ease of deployment and maintenance. Unlike standalone applications that require installation and configuration on individual devices, the web-based interface is inherently platform-independent and does not necessitate any installation or setup process. Users can simply access the device's interface through a web browser, eliminating the complexity associated with software installations and compatibility issues.

Integrating a web interface into the Wi-Fi analyzer device also facilitates seamless integration with existing network infrastructure and ecosystems. By leveraging standard web protocols and interfaces, such as HTTP and RESTful APIs, the device can communicate with other network components, management systems, and third-party applications, enabling interoperability and data exchange. This integration capability enhances the device's versatility and extensibility, allowing users to leverage complementary tools and services to.

Conclusion

This this part we have defined our general idea and concept for the wireless networks analyzing device. The high-level design of this device (see Figure 1)

provides a versatile modular architecture which can be adapted to different use cases.

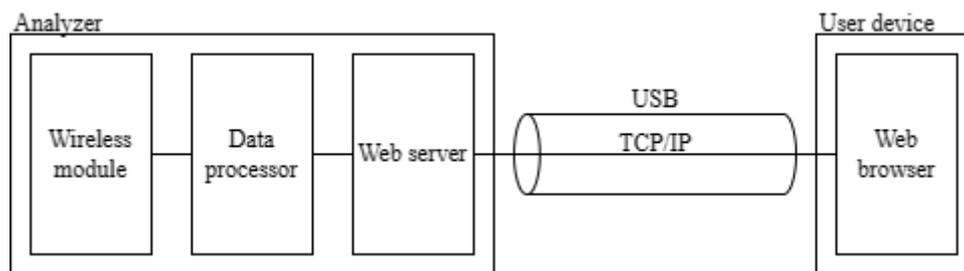


Fig. 1. High-level architecture of the analyzer

Next steps

Looking ahead, the next step in this endeavor is development of the outlined software. This includes finding a suitable set of tools to write the program with as well as finding the best combination of features that will be included in the prototype. After that there will be an extensive R&D period for designing and finding components for the hardware part.

References

1. Jivthesh M. et al. A Comprehensive survey of WiFi Analyzer Tools. 2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), 2022. 8 p.
2. BCM43013 // Broadcom Inc., Palo Alto, <https://www.broadcom.com/products/wireless/wireless-lan-bluetooth/bcm4313> (accessed 28.03.24)
3. QCA9377 // Bluetooth and Wi-Fi Wireless Adapter Chipset | Qualcomm [Online] Qualcomm Technologies, Inc., San Diego, <https://www.qualcomm.com/products/technology/wi-fi/qca9377> (accessed 28.03.24)
4. Jobe W. Native Apps vs. Mobile Web Apps // International Journal of Interactive Mobile Technologies, 2013. № 7.4. PP. 27–32.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СИСТЕМ СВЯЗИ

УДК 621.39
ГРНТИ 49.27

К ВОПРОСУ О КОМПАНДИРОВАНИИ ПРИ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИИ

В. А. Авдяков, А. Ю. Бухинник, П. Е. Щербатый

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время дельта-модуляция применяется как способ аналого-цифрового преобразования в системах связи, обработки сигналов как в гражданской, так и специальной военной технике. Рассмотрен способ компандирования, являющейся составляющей АЦП на основе дельта-модуляции.

дельта-модуляция, компандирование, цифровая компрессия

В настоящее время дельта-модуляция применяется как способ аналого-цифрового преобразования в системах связи, обработки сигналов, как в гражданской, так и специальной военной технике. Основное назначение цепей компандирования в кодеке – это расширение динамического диапазона преобразуемых сигналов, при поддержании заданного качества аналого-цифрового преобразования, которое достигается усложнением схемы кодека. В литературе описано множество различных схем и алгоритмов дельта-кодеков с инерционным (слоговым) компандированием [1, 2, 3, 4, 5], каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. В [3, 4] сформулированы некоторые рекомендации, используя которые можно добиться высокого качества преобразования аналоговых сигналов при тактовых частотах 32÷48 кГц.

Так сигнал управления целесообразно формировать непосредственно из цифровой информационной дельта-последовательности $L(t)$, что обеспечивает высокую стабильность остаточного затухания и простоту реализации схемы цифровыми элементами.

Рассмотрим работу дельта модулятора при адаптации шага квантования под величину уровня входного сигнала. Дельта – модулируемый сигнал поступает в блок 9 выделения пачек символов, на информационный вход пятиразрядного регистра сдвига. До величины оценочного уровня входного сигнала, равной P_2 , блок работает на выделение пачек из $N + 1$ ($N = 4$) и более однородных символов. После поступления пачки, на $N + 1$ разрядах регистра появляются однородные логические символы и на выходе соответствующего элемента, появляется сигнал в виде логической «1». При этом длительность выделенной блоком пачки однородных символов уменьшается на N . Сигнал выделенных и укороченных пачек поступает на вход мультиплексора, которым управляют выходные сигналы компараторов 2 и 3. Компараторы 2 и 3 сравнивают оценочное значение P_{rech} с уровнями P_1 и P_2 . Если $P_{rech} < P_1 < P_2$, на выходах компараторов появляются сигналы логического «0», которые поступают на управляющие входы блока 10 расширения пачек, мультиплексора 11 и блока 12 коммутации. При этом мультиплексор 11 подключает выход выделения пачек из $N + 1$ символов блока 9 к входу блока 10 расширения пачек, где восстанавливается начальная длительность пачек.

При дальнейшем увеличении уровня входного аналогового сигнала число и длительность пачек увеличивается, значит, увеличивается оценочное значение уровня P_{rech} , на выходе интегратора 7. Если $P_{rech} \geq P_1$, на выходе компаратора 2 появляется сигнал логической 1. Этот сигнал разрешает подключение второго выхода блока 9 выделения пачек к информационному входу блока 10 расширения пачек, где восстанавливается начальная длительность пачек из $N = 4$ и более однородных символов. Сигнал логической «1» с выхода компаратора 2 поступает в блок 12 коммутации и подключает к входу компаратора 2 сигнал уровня P_{1II} , сформированный источником 13. В зависимости от начального шага квантования, тактовой частоты и особенностей схемного решения отдельных узлов дельта – модулятора этот уровень примерно должен составлять $P_{1II} \approx (0,9 \div 0,95)P_1$. Замена сигнала уровня P_1 уровнем P_{1II} необходимо потому, что анализ уровня по N и более однородных символов повышает уровень сигнала на выходе интегратора 6 и одновременно увеличивает уровень выходных импульсов АИМ. Тем самым увеличивает шаг квантования дельта-модуляции. Увеличение шага вызывает уменьшение плотности пачек однородных символов выходного ДМ – сигнала, что уменьшает оценочное значение P_{rech} . При этом дельта – модулятор должен вернуться к анализу цифрового сигнала по $N+1$ однородных символам, а далее снова к анализу по N однородных символам и т. д. Такая ситуация может возникнуть, например, при медленном повышении уровня входного аналогового сигнала. Для исключения этого к входу компаратора 2, подключается сигнал уровня P_{1II} вместо сигнала уровня P_1 , если $P_{rech} \geq P_1$. По

той же причине при $P_{реч} \geq P_2$ сигналом логической «1», сформированным на выходе компаратора 3, посредством блока 12, к входу компаратора 3 подключается сигнал уровня $P_{2П}$, соответственно равный $P_{2П} \approx (0,9 \div 0,95)P_2$. Соответствующие переключения происходят в мультиплексоре 11 и блоке 10 расширения пачек. Таким образом, в этой ситуации анализ уровня ведется на основе пачек однородных символов дельта-модулированного – сигнала, состоящих из $N - 1$ и более однородных символов.

Способность адаптироваться особенно важно при обработке речевых сигналов, имеющих значительный интервал корреляции, что позволяет поддерживать постоянное отношение сигнал/шум в широком динамическом и частотном диапазонах [7, 8]. При этом дельта-кодеки, рассчитанные для преобразования гармонических сигналов, хорошо преобразуют и речевые сигналы.

Далее рассмотрим особенности оптимизации АЧХ речевых каналов с дельта-модуляцией (ДМ). Специфической особенностью каналов с ДМ является более значительная, чем обычно, взаимосвязь АЧХ с помехозащищенностью каналов. Основными причинами этого являются: 1) принципиальная возможность расширения рабочей полосы частот канала до частоты, равной $0.5F_T$; 2) увеличение спектральной плотности шумов в канале с ростом частоты.

Модель канала, положенная в основу анализа, приведена на рисунке 2. В ее состав входят: фильтр на входе канала 1, ДМ-кодек без фильтров 2 и фильтр на выходе канала 3.

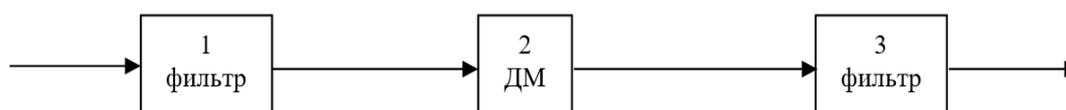


Рис. 2. Модель речевого канала

Рассмотрим ДМ-кодек, который является нелинейным устройством, поэтому о его АЧХ можно говорить лишь в среднестатистическом смысле. Так как при работе в режиме без перегрузок среднее значение ошибок квантования равно нулю, то коэффициент передачи кодека не зависит от частоты и равен «1».

Специфической характеристикой кодека является зависимость от частоты (f_c) наибольшего значения действующего напряжения U_p гармонического сигнала на входе кодера, при котором кодер работает без перегрузки (копия сигнала в цепи ОС достаточно повторяет сигнал на входе кодера). Формула перегрузочной характеристики определяется типом используемого интегратора в цепи ОС кодера. Типичная форма характеристики при использовании двойного интегратора приведена на рисунке 2.2 кривая «1».

Здесь по оси ординат отложено значение $a_n = 20 \lg \frac{u_n(f = 1000 \Gamma \text{ц})}{U(f)}$. При аппроксимации ее отрезками прямых линий с наклоном 0 дБ, 6 дБ, 12 дБ на октаву образуются точки излома на частотах f_1 , f_2 и f_3 , которые являются параметрами двойного интегратора. На рисунке: $f_1=280$ Гц, $f_2=2250$ Гц и $f_3=6400$ Гц. На этом же рисунке приведен энергетический спектр речевого сигнала (кривая 2) в виде функции $\Delta P_c = 10 \lg \frac{\max_g g_c(f)}{g_c(f)}$, где $g_c(f)$ - спектральная

плотность мощности сигнала.

В соответствии с [9]:

$$g_c(f) = 2\rho \left[\frac{1}{\rho^2 + 4\pi^2(f - f_0)^2} + \frac{1}{\rho^2 + 4\pi^2(f + f_0)^2} \right], \quad (2.1)$$

где $\rho=1$ кГц и $f_0=0,4$ кГц.

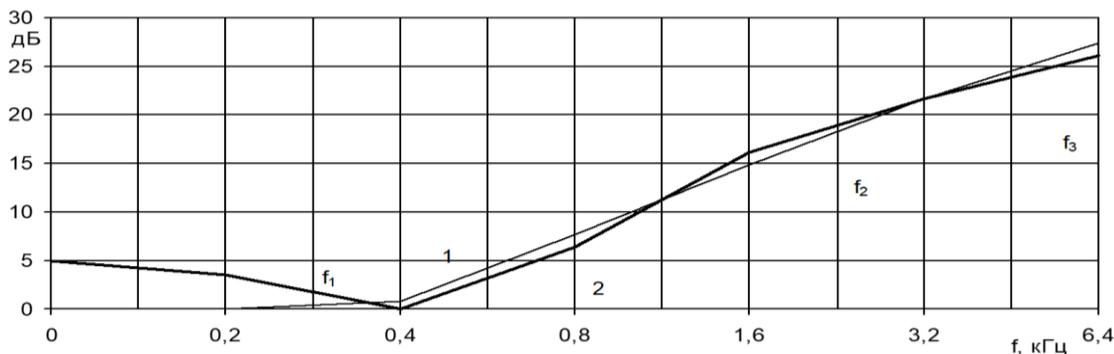


Рис. 2.2. Характеристика при использовании двойного интегратора кривая – «1»; кривая «2» – энергетический спектр речевого сигнала

Совпадение ΔP_c и a_n свидетельствует о достижении в данном кодеке наивысшей защищенности передачи от шумов квантования. Существенное отклонение параметров интегратора от указанных, ведет к падению защищенности. В частности, при использовании одинарного интегратора, как показано в [10], защищенность уменьшается на 6-10 дБ. Поэтому при прочих равных условиях в кодеках с ДМ используют двойные интеграторы.

$$A_3 = 10 \lg \left(\frac{\int_0^{f_g} g_c(f) df}{\int_0^{f_g} g_{III}(f) df} \right) \quad (2.2),$$

здесь, $g_{III}(f)$ – спектральная плотность средней мощности шумов квантования на входе фильтра.

В первом приближении может быть принято:

$$g_{III}(f) = G_0 \left(1 + B \left(\frac{f}{0.5F_m} \right)^2 \right) \quad (2.3),$$

где: G_0 – спектральная плотность средней мощности шумов в области нижних частот; B – коэффициент, характеризующий неравномерность распределения шумов по спектру.

Расчеты по (2.2), с учетом (2.1) и (2.3), выполненные на ПК, показывают, что если при равномерном распределении шумов ($B = 0$) и $f_с = 3,4$ кГц обеспечивается $A_3 = 20$ дБ, то при неравномерном ($B=16$) - $A_3 = 19,74$ дБ. При расширении рабочей полосы частот до $f_с = 7$ кГц соответственно $A_3 = 17$ дБ и 16 дБ. Другими словами, двукратное расширение рабочего диапазона при прямоугольной форме АЧХ ведет к возрастанию уровня шумов на выходе канала на 3÷4 дБ. При таком возрастании шумов не реализуется ожидаемое повышение качества канала, вызванное расширением спектра передаваемых частот.

Компромисс между желаемым расширением спектра и нежелательным увеличением шумов может быть найден путем перехода к частотно-зависимой форме АЧХ в рабочем диапазоне частот. При оптимизации АЧХ будем учитывать, что потребители информации менее чувствительны к потерям энергии сигнала, возникающим при линейных искажениях, чем к такому же увеличению энергии шумов. Одинаковая оценка имеет место, когда потери энергии, по крайней мере, в 3÷5 раз превышают увеличение шумов. Поэтому, оптимальной будем считать АЧХ, которая обеспечивает достижение минимума среднего квадрата взвешенной ошибки передачи, равной:

$$\sigma^2 = \int_0^{0,5F_m} \left(R(1 - k(f))^2 g_c(f) + k^2(f) g_{III}(f) \right) df \quad (2.4),$$

здесь: $k(f)$ – модуль коэффициента передачи фильтра.

Взвешивающий коэффициент R примем равным 0,2.

При $R=1$ и $F_T \rightarrow \infty$ поставленная задача минимизации σ^2 не отличается от известной задачи оптимальной фильтрации случайных сигналов, решенной А. Н. Колмогоровым и Н. Винером [11]. Следуя [11], можно показать, что при $R=1$ и $F_T \rightarrow \infty$ оптимальным фильтром является фильтр, модуль коэффициента передачи которого равен $\left(1 + \frac{g_{III}}{R \times g_c} \right)^{-1}$. В связи с этим, решение задачи, в данном случае, ищется во множестве значений:

$$k(f) = \begin{cases} \left(1 + \frac{L}{R} \times \frac{g_{ш}(f)}{g_c(f)}\right)^{-1}, & \text{при } f \leq 0,5F_m \\ 0, & \text{при } f > 0,5F_m \end{cases} \quad (2.5),$$

путем вариаций значением L. При оптимальном значении $k = k_0$ помехозащищенность окажется равной:

$$A_{opt.} = 10 \lg \left(\int_0^{0,5F_m} k_0^2 \times g_c df / \int_0^{0,5F_m} k_0^2 \times g_{ш} df \right) \quad (2.6)$$

Выигрыш, достигнутый использованием фильтра с частотно-зависимым затуханием по сравнению со случаем использования фильтра с прямоугольной АЧХ, равен:

$$\Delta A = A_{opt.} - A_{\Sigma} \quad (2.7)$$

Блок-схема алгоритма оптимизации АЧХ приведена в укрупненном виде на рисунке 3. Здесь Δf – шаг изменения f при расчете интегралов по (2.2), (2.4) и (2.6). Вычисление интегралов производится по методу трапеций. Нижняя граница неопределенности может быть принята равной 0,9, верхняя – 5,9. Расчет σ^2 на каждом шаге производится с использованием формул (2.1), (2.3), (2.4), (2.5).

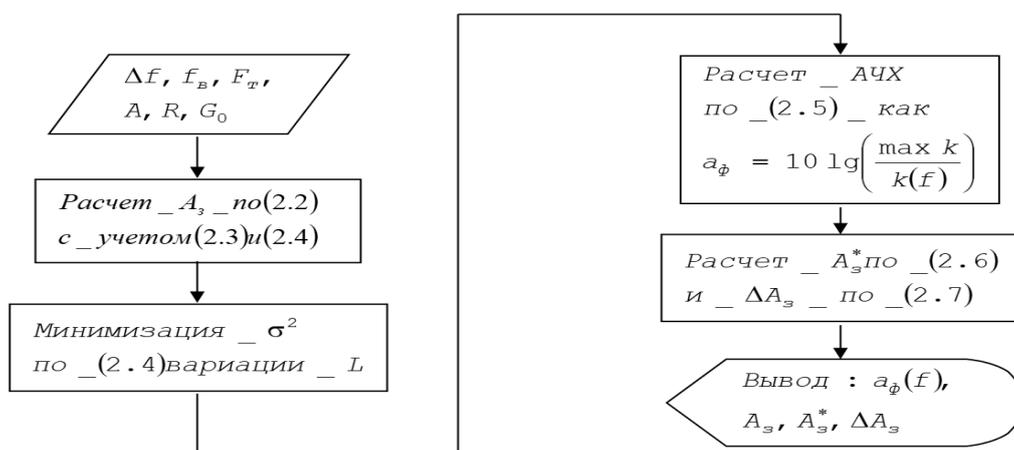


Рис. 3. Блок-схема алгоритма оптимизации АЧХ

В результате исследований выявлено, что правильно выбранный способ компандирования позволяет значительно расширить динамический диапазон, улучшить отношение сигнал/шум обрабатываемых сигналов, увеличить стабильность работы дельта-модулятора.

Список используемых источников

1. Стил Р. Принципы дельта-модуляции. М.: «Связь», 1979.
2. Венедиктов М. Д. Дельта-модуляция. Теория и применение. М.: «Связь», 1976.
3. Котович Г. И., Ламекин В. Ф. Проектирование дельта-преобразователей речевых сигналов. М.: Радио и связь. 1986.
4. Трофимов Б. Е., Щербатый П. Е. Устройство передачи сигналов методом дельта-модуляции. Пат (А.с.) 1429332 СССР; заявка № 4185003; заявл. 22.01.87; опубл. 07.10.88.
5. Трофимов Б. Е., Щербатый П. Е. Холостой ход дельта-кодера с двойным интегрированием в цепи обратной связи // Сборник научных трудов учебных институтов связи. М-во связи СССР / Под ред. М. А. Сиверс и др. Ленинград : ТУИС ЛЭИС, 1990. Вып 151. С. 100–108.
6. Трофимов Б. Е., Щербатый П. Е. Бухинник А. Ю. Дельта-модулятор. Пат (А.с.) 1474850 СССР; заявка № 4240321; заявл. 05.05.87; опубл. 23.04.89.
7. Банк М. У., Барбанель Е. С., Бухинник А. Ю., Шехтман Б. И., Щербатый П. Е. Устройство для цифровой записи – воспроизведения речевой информации. Пат (А.с.) СССР; заявка 1573470 Открытие. Изобретение. № 23, 1990.
8. Барбанель Е. С., Бухинник А. Ю., Щербатый П. Е. Устройство для цифровой записи – воспроизведения речевой информации. Пат (А.с.) СССР; заявка 1788521, Открытие. Изобретение. № 2, 1993.
9. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1983.
10. Щербатый П. Е. Расчет шумов квантования при имитационном моделировании процессов в кодеках с дельта-модуляцией // Сборник научных трудов учебных институтов связи / Ленинград : ТУИС СПбГУТ, 1994. С. 123–127.
11. Белами Д. Цифровая телефония. М.: Эко Трендз, 2004. 640 с.

УДК 621.391.14
ГРНТИ 47.47.31

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ BLUETOOTH LE

В. А. Авдяков, А. В. Гаркавая, П. П. Шумаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Сделан краткий обзор технологий позиционирования внутри промышленных помещений и методов реализации точного определения местоположения сетевого устройства при использовании mesh-сетевой технологии Bluetooth Low Energy. Рассмотрены методы трилатерации, триангуляции, «отпечатка пальца», особенности их реализации в контексте точности позиционирования устройств внутри помещения.

Bluetooth Low Energy (BLE), методы позиционирования, трилатерация, триангуляция, «отпечаток пальца»

Введение

Позиционирование – это процесс определения местоположения объекта в пространстве.

Существующие технологии глобального позиционирования, например, на основе глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, а также технологии, которые используют средства мобильной связи LTE, 5G [1], не могут эффективно применяться в помещении, где сигнал со спутников или вышек связи значительно снижается, или вовсе отсутствует вследствие ослабления в стенах и перекрытиях железобетонных промышленных объектов.

Актуальными остаются задачи реализации технологий и методов позиционирования для разработки перспективных сервисов высокоточного измерения координат подвижных и стационарных объектов внутри промышленных сооружений и помещений.

Для позиционирования внутри помещений используются различные технологии, такие как Wi-Fi [2], Bluetooth, UWB, RFID, MEMS, компьютерное зрение, магнитное поле, ультразвук и инфракрасное излучение. Некоторые из них уже широко применяются для поиска предметов и других сервисов.

В настоящее время весьма перспективными для целей позиционирования внутри помещений являются беспроводные персональные самоорганизующиеся сети (mesh), базирующиеся на стандарте IEEE 802.15.1

(Bluetooth) универсального радиointерфейса диапазона 2.4 ГГц, и спецификациях Bluetooth 5.X с низким энергопотреблением – Bluetooth Low Energy (BLE).

Далее рассматриваются методы позиционирования внутри промышленных помещений, использующие возможности технологии BLE.

BLE – это беспроводная радиотехнология эффективной передачи данных на короткие расстояния (~100 м), которая использует программно-аппаратный интерфейс с очень низким энергопотреблением, за счет алгоритма включения передатчика только на время отправки данных, что обеспечивает возможность работы от автономной батарейки 3.5[V] в течение нескольких лет.

Низкая мощность радиопередатчика +4дБм (2.5 мВт) уменьшает проблемы с переотражениями сигналов и многолучевостью их распространения.

В стеке протоколов предусмотрены возможности записи и передачи установленных для устройств BLE координат с привязкой к всемирной система геодезических координат и параметров Земли -WGS-84.

Устройства BLE позволяют определять уровень мощности сигнала (RSSI) в децибелах, тем самым определять аппроксимированное расстояние между устройствами.

В последних спецификациях BLE 5.X предусмотрена возможность определения углового направления на устройство BLE по его радиоизлучению с использованием направленных антенных устройств или фазированных антенных решеток.

Для реализации услуг на основе определения местоположения необходимо сформировать ячеистую сеть (mesh) из устройств BLE, в которой должны быть известны трехмерные координаты минимум двух BLE узлов. Узлы такой сети подключаются, инициализируются, конфигурируются специальным приложением и имеют уникальные адреса.

Все BLE устройства до подключения в mesh-сеть являются широкоэмиттерными маяками (beacons), а после подключения становятся узлами сети. Все узлы могут публиковать свои виртуальные адреса и подписываться на адреса других узлов путем передачи-приема специальных сообщений, работая по модели сервера, модели клиента или модели управления.

Технология маяка Bluetooth является приложением стандарта BLE. Маяк широкоэмиттерно передает информацию о себе (адрес, UUID). Приложение на устройстве BLE, получающее это сообщение, изучает базу данных сети, чтобы распознать информацию и затем сообщает пользователю информацию, связанную с местоположением этого маяка.

Маяки могут быть размещены в определенных точках пространства (стены и потолки помещения), их сообщения могут быть приняты и интерпретированы другими устройствами, такими как смартфоны или специализированные приемники.

В системе позиционирования BLE устройства анализируют сообщения маяков, и по известным их координатам, вычисляют свое местоположение. В некоторых случаях положение маяка должно быть определено в трех измерениях, x и y в горизонтальной плоскости и z в вертикальном измерении выше или ниже некоторой референсной высоты. Приложение может определить положение своего хост-устройства, только если знает угловое направление, от которого получен сигнал и аппроксимированное расстояние до этого маяка.

Методы позиционирования и определения координат в сетях BLE

Системы позиционирования на основе BLE позволяют определять местоположение объектов внутри помещений с высокой точностью, используя информацию об уровне мощности сигнала [3], поступающего от маяка (уровень RSSI в децибелах). При этом используются методы трилатерации для определения только расстояния от маяков до объекта или триангуляции (оценивается дальность и угловое направление), для последующего определения местоположения BLE устройства.

Оценка дальности до маяка связана с уровнем его стандартной мощности +4Дб следующим соотношением:

$$\sim D = 10^{\frac{-69 - \text{RSSI}}{2N}},$$

где RSSI уровень принятого сигнала в децибелах; $N = 0..4$ – характеристика среды распространения сигнала в помещении.

Методы трилатерации

Наличие информации об уровне сигнала, а, соответственно, расстояния от двух или трех маяков, позволяет реализовать оценку местоположения, принимающего сигналы маяков BLE устройства, методом трилатерации [4].

В этом методе должны быть известны координаты по крайней мере двух маяков BLE. Однако, чтобы точно определить относительное местоположение узла, необходимы три маяка. Метод трилатерации использует значение полученного индикатора силы сигнала (RSSI), чтобы вычислить расстояние между маяками и устройством BLE. Значение RSSI позволяет определить близость двух устройств BLE с точностью до метра. Измеряя только уровень сигнала при трилатерации направление на маяк однозначно не может быть определено. Местоположение устройства BLE может быть в любой точке на окружности вокруг маяка, радиус которой определяется уровнем сигнала RSSI.

Однако, если три маяка с известными координатами не находятся на одной прямой, то можно оценить положение BLE устройства внутри общей области пересечения трех окружностей (рис. 1).

Из-за отсутствия информации, связанной с направлением сигнала маяка, эти три круга не могут всегда иметь общей точки пересечения. Для более точного позиционирования внутри общей области можно использовать известные методы фильтрации, например, по минимуму средних квадратов, фильтрацию Калмана, метод градиентного спуска, байесовские методы, отношение правдоподобия и др.

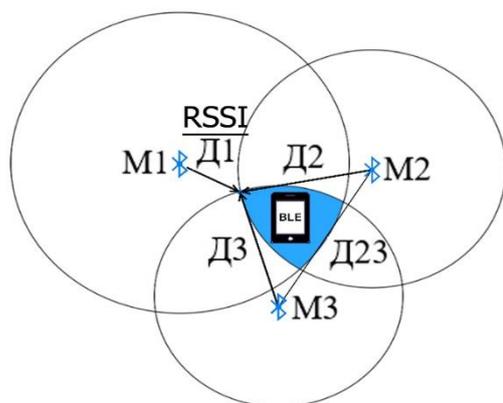


Рис. 1. Трилатерация

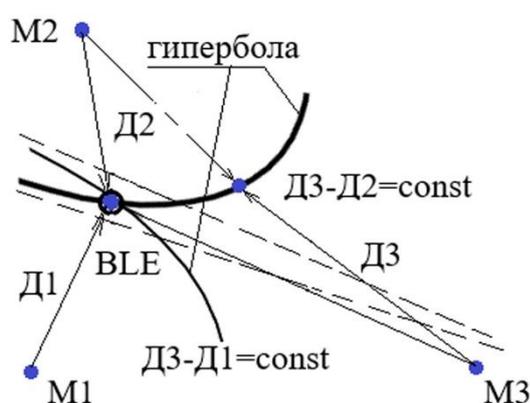


Рис. 2. Разностно-дальномерный метод

Повысить точность позиционирования можно разностно-дальномерным методом, который базируется на измерении разности дальностей до двух маяков, находящихся в фокусах гиперболы (рис. 2).

Метод эффективен, когда применяется базово-корреляционная обработка, при которой вид принимаемых сигналов может быть произвольным: могут использоваться импульсные и непрерывные сигналы, в том числе шумоподобные, например, коды Баркера.

В трилатерации преимущество использования значения RSSI состоит в том, что нет необходимости ни в каком дополнительном оборудовании.

Точности основанного на RSSI подходе препятствует влияние условий окружающей среды, присутствие посторонних предметов, мебели, стен и людей. Эти препятствия являются источником многолучевого замирания сигналов и делают оценку расстояния по величине RSSI неточным.

Метод ToA

Измерение дальности возможно путем фиксации времени задержки распространения сообщения от маяка к устройству BLE, а затем от BLE обратно на маяк. Далее разность временных интервалов можно преобразовать в расстояние с помощью фиксированной скорости распространения сигнала.

Для корректной работы метода ТоА требуется точная синхронизация между устройствами, что может быть сложно.

Метод TDoA

Метод TDoA основан на измерении разницы времени прибытия сигнала к нескольким принимающим устройствам, которые фиксируют время прибытия сигнала от передающего устройства. Затем по разнице времен прибытия сигнала к разным принимающим устройствам можно определить расстояние между передающим и принимающим устройствами. В этом методе точная временная синхронизация устройств в сети не требуется.

Метод триангуляции

Триангуляция является методом вычисления положения BLE, который использует известное расстояние между двумя или тремя маяками и измеренные углы, определенные в направлении BLE с каждым маяком. Этими углами могут быть углы, полученные по методам AoA или AoD [4].

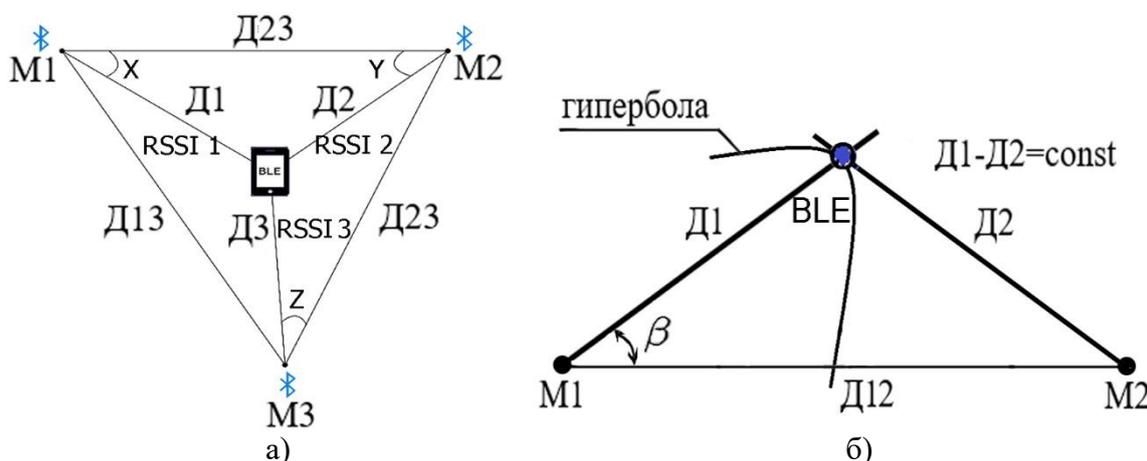


Рис. 3. Метод триангуляции (угломерно-разностно-дальномерный)

Определение местоположения устройства BLE может быть рассчитано угломерно-разностно-дальномерным способом на пересечении гиперболы и прямой линии (рис. 3б).

Метод AoA

Реализуется в ситуации, когда BLE устройство имеет фазированную антенную решетку (ФАР), определяет угол прихода сигнала с одной антенны маяка и выдает его на сервер позиционирования (рис.4а).

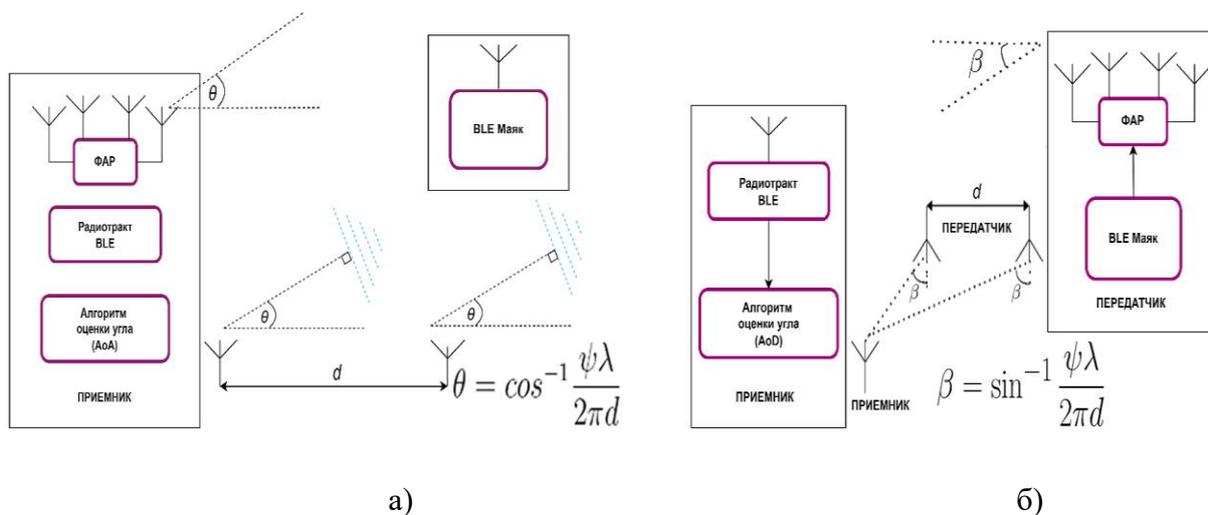


Рис. 4. Методы определение угла

Метод AoD

Реализуется, когда маяк имеет антенную решетку, а устройство BLE имеет одну антенну на прием (рис.4б).

Передатчик маяка, состоящий из радиочастотного переключателя и антенной решетки, отправляет пакеты для определения направления и затем переключает антенну в антенную решетку во время передачи. Приемник BLE получает пакеты с помощью одной антенны и определяет угловое направление сигнала по времени задержек распространения сигнала BLE между несколькими антеннами антенной решетки и одной приемной антенны. Концепцию данного метода иллюстрирует рис. 4б.

Методы на основе искусственного интеллекта

Возможно предварительно путем трудоемких натурных измерений при фиксированных координатах узлов mesh-сети получить радиокарту уровней RSSI в промышленном помещении (рис. 5).

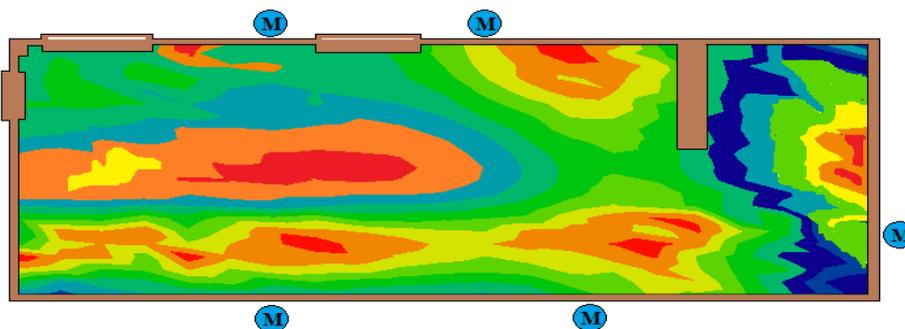


Рис. 5. Радиокарта промышленного помещения

Используя эту карту и нейронную обучающую сеть, возможно с высокой степенью точности определять координаты устройства BLE по суммарному уровню RSSI принятого сигнала сравнивая с радиокарты промышленного помещения.

Данный метод по аналогии назван методом «отпечатка пальца» [5]. Он критичен к перемещению узлов сети в новые координаты – приходится по-новому создавать радиокарту и проводить обучение на нейронной сети.

Выводы

Приведенный обзор позволяет рекомендовать рассмотренные технологии и методы для дальнейшего их исследования с целью разработки сервисов и приложений точного позиционирования объектов внутри промышленных помещений в перспективных гибридных сетях связи.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М: Горячая Линия – Телеком, 2022. 456 с.
2. Андреев Р. А., Остроумов С. И., Федоров А. С. Методы позиционирования в сетях Wi-Fi URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-pozitsionirovaniya-v-setyah-wi-fi/viewer> (дата обращения: 27.01.2024).
4. Лавров Д. Н., Вишнякова О. А., Лаврова С. Ю. Математическая модель обнаружения точки беспроводного доступа по измерениям мощности излучения разнесенными наблюдателями // Математические структуры и моделирование. Омск: Ом. гос. ун-т. 2013. Т. 28. № 2. С. 49–59
3. Нгуен Д. А., Нургалиев Р. К. Техника позиционирования радиосигнала и алгоритмы позиционирования трилатерации / мультилатерации // Санкт-Петербург, Научные исследования в современном мире. Теория и практика; фундаментальные и прикладные исследования. Актуальные проблемы и достижения; современные методы и инновации в науке; исследование и практика в социально-экономической и гуманитарной сфере. ГНИИ «Нацразвитие». СПб, 2021.
5. Мюллер Ф., Райтохарью М., Али-Лойту С., Вирола Л., Пише Р. Обзор параметрических методов позиционирования на основе концепции отпечатка пальца. Научный портал Технологического университета Тампере, 2016. Том 24. № 1 (92).

УДК 678.83
ГРНТИ 45.09.37

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

А. А. Безбатченко¹, В. Д. Лукьянов², В. Р. Полищук¹

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Научно-производственное объединение «Авангард»

В современной промышленности наблюдается повышенная потребность в новых материалах, обладающих высокими физико-механическими, химическими и электрическими свойствами. Полиимиды представляют собой термоустойчивые соединения, способные сохранять свои электрические свойства при высоких температурах до 200°. Они обладают превосходными механическими и диэлектрическими характеристиками, что делает их востребованными в различных отраслях промышленности, включая химическую, энергетическую, аэрокосмическую и электронную.

полиимиды, электрические свойства, электропроводность, энергия активации

Полиимиды являются группой полимеров с высокой прочностью и устойчивостью к химическим веществам и высоким температурам, что делает их интересными объектами исследования. Высокое сопротивление химическим и термическим воздействиям приводит к широкому использованию этих материалов в промышленных приложениях, где требуется надежность и стойкость. Они также применяются в повседневной жизни для создания различных изделий, например, в автомобилестроении они используются для создания стоек и шасси, а также в частях двигателя, где требуется стойкость к высоким температурам и воздействию смазок, топлива и охлаждающих жидкостей. В кухне полиимиды применяются для создания бытовых приборов, посуды для микроволновых печей и упаковки для пищевых продуктов, благодаря их термической стабильности, устойчивости к маслам и жирам, а также прозрачности для микроволнового излучения. Кроме того, они находят применение в электронных приборах, изоляции, защитной одежде, композиционных материалах и клеящих веществах.

Полиимиды обычно принимают одну из двух форм (рис. 1). Первая из них – это линейная структура, в которой атомы имидных групп являются звеньями линейной цепочки. Вторая из этих форм – это гетероциклическая структура, в которой атомы имидной группы входят в состав циклического элемента полимерной цепи.

Полиимиды обладают прекрасными диэлектрическими свойствами, что в комплексе с их физико-химическими свойствами предоставляет по-

тенциально широкий спектр их применения в сферах тяжелой и высокотехнологичной промышленности. Макроскопическая теория описывает диэлектрики как сплошные среды. Их отличительные особенности – это очень низкая электропроводность и способность к поляризации. Эти характеристики объясняются тем, что концентрация свободных электронов в диэлектрике очень мала (при комнатной температуре $n_e \approx 10^8 \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$), что позволяет электрическому полю влиять на диэлектрик и вызывать поляризацию [1, 2].



Рис. 1. Форма полиимида: а) линейный полиимид; б) ароматический гетероциклический полиимид

Диэлектрику соответствуют разные виды связей: вторичная, ионная, молекулярная и ковалентная. Электрическое поле, воздействующее на диэлектрик, не приводит к электропереносу свободных электронов, но вызывает электрическую поляризацию. Электропроводность диэлектриков вызывается лишь очень немногими заряженными частицами, переносящими через себя электрические заряды [3].

Одними из ключевых параметров, описывающих электропроводность полиимидов, является ток зарядки и ток разрядки. При подключении источника постоянного напряжения к электродам диэлектрика ток зарядки начинает проходить через материал. Однако со временем этот ток уменьшается, так как диэлектрик заряжается и электрическое поле внутри материала снижается. Как только поле достигает определенного уровня, сквозной ток стабилизируется на стационарном значении [4].

При низких температурах, от 27 до 115 градусов Цельсия, ток зарядки падает со временем и зависит линейно от логарифма времени. Если электроды замкнуть накоротко после отключения напряжения, то в цепи протечет ток разрядки, а его величина будет равна величине зарядного тока. Оба тока падают со временем из-за перемещения носителей заряда на большие расстояния (миграционная поляризация) или ориентации диполей в диэлектрике (дипольная поляризация).

При более высокой температуре 139 градусов Цельсия, зависимость тока зарядки от времени перестает быть линейной, а после начального спада ток зарядки становится почти постоянным. Ток разрядки в этом случае значительно меньше тока зарядки и падает также в течение всего времени измерения.

При температурах 158 и 170 градусов Цельсия ток зарядки почти сразу устанавливается на постоянное значение, а ток разрядки становится ничтожно малым. Следовательно, при повышенных температурах в слое полимера возникает сквозной ток, вызванный движением носителей заряда через диэлектрик.

В книге [5] описано изучение зависимости проводимости полиимидов от напряженности электрического поля показывает, что при низких полях, порядка 10^2 – 10^3 В/м, проводимость остается на низком уровне, что свидетельствует о низкой концентрации носителей заряда и низкой подвижности. Однако, при росте поля до значений 10^4 – 10^5 В/м, наблюдается резкий скачок в проводимости, что свидетельствует об активации большого количества носителей заряда.

При дальнейшем росте поля, до уровней 10^6 – 10^7 В/м, проводимость полиимидов резко возрастает в несколько раз, что говорит о дополнительной активации носителей заряда. Однако, при еще больших полях, порядка 10^8 – 10^9 В/м, наблюдается снижение проводимости, что может быть объяснено сатурацией носителей заряда и возникновением электрического пробоя.

Таким образом, изучение зависимости проводимости полиимидов от напряженности электрического поля позволяет получить важную информацию о концентрации и подвижности носителей заряда в полимерных материалах, что может быть использовано для улучшения их электрических свойств и разработки новых технологий.

Для исследования влияния жесткости макромолекул на электропроводность полиимидов были проведены измерения зависимости тока от времени в изотермическом режиме в широком интервале температур ниже температуры стеклования. Измерения тока проводились при постоянном напряжении $U = 10$ В ($E = 10^5$ В/м). Зависимость тока от времени имела вид плавно спадающей кривой до установления постоянного сквозного тока. По значениям постоянного сквозного тока рассчитывалась величина собственной проводимости полимера с помощью формулы 1:

$$\gamma(t) = I(t)hUS, \quad (1)$$

где h – толщина образца, S – площадь электрода, U – подаваемое на образец напряжение.

Для большей наглядности и сравнения, зависимости $\lg(\sigma)=f(5040/T)$ всех исследованных пленок показаны на рис. 2.

Из данного рисунка видно, что характер зависимостей $\lg(\sigma)=f(5040/T)$ у всех пленок описываются спадающими кривыми. Величины проводимости (σ) практически не отличаются и лежат в пределах одного порядка.

Для дальнейшего анализа свойств материалов проводилась аппроксимация криволинейной зависимости на два прямолинейных участка по наклону которых определялись значения энергии активации. Эти значения приведены в таблице 1.

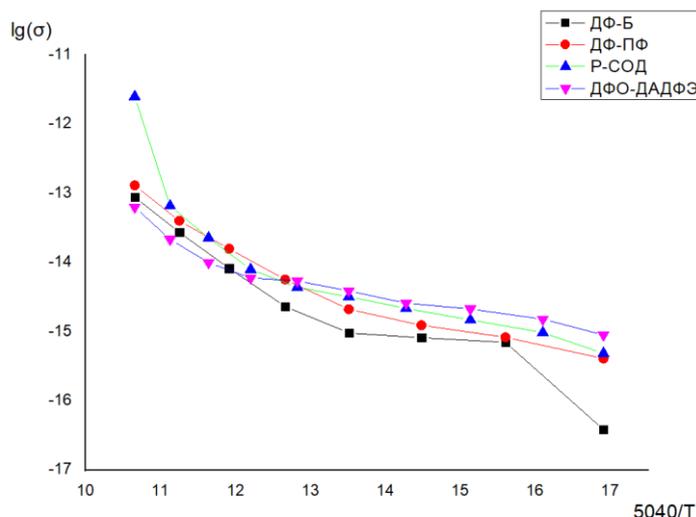


Рис. 2. Зависимости $lg(\sigma)=f(5040/T)$ пленок Р-СОД, ДФ-ПФ, ДФ-Б, ДФО-ДАДФЭ

ТАБЛИЦА 1. Энергия активации полиимидных пленок до и после 130 °С

Экспериментальные образцы полиимидных пленок	W , эВ до 130°С	W , эВ после 130°С
Р-СОД	0,23	0,70
ДФО-ДАДФЭ	0,18	0,66
ДФ-ПФ	0,30	0,86
ДФ-Б	0,38	0,86

Из таблицы видно, что значения энергии активации проводимости, соответствующие температурным участкам для различных полиимидных пленок, лежат в пределах ([от 0,18 эВ до 0,38 эВ] для температурного участка до 130° С и [от 0,66эВ до 0.86эВ] для температурного участка выше 130° С). В области относительно высоких температур энергии активации у терморезистивных и термопластичных пленок практически не отличаются.

Для примера на рис. 3 показана зависимость проводимости образца пленки ДФО-ДАДФЭ от температуры. Эта зависимость позволяет нам оценить энергию активации.

Все измерения проведены в области ниже температуры стеклования. Зависимости имеют криволинейный характер, в отличие от целого ряда полимерных материалов, у которых зависимости проводимости от температуры ниже температуры стеклования имеют прямолинейный характер.

Объектами исследования являлись пленки полиимидов Р-СОД, ДФ-ПФ, ДФО-ДАДФЭ и ДФ-Б с разной жесткостью макромолекул, синтезированные в Институте Высокмолекулярных Соединений РАН. Показано, что несмотря на разную жесткость макромолекул, зависимости собственной проводимости от температуры не имели больших различий. Однако, стоит

отметить, что зависимости для всех полиимидов в области ниже температуры стеклования имели криволинейный характер, в отличие от ряда полимерных материалов имеющих в этой области температур прямолинейный характер.

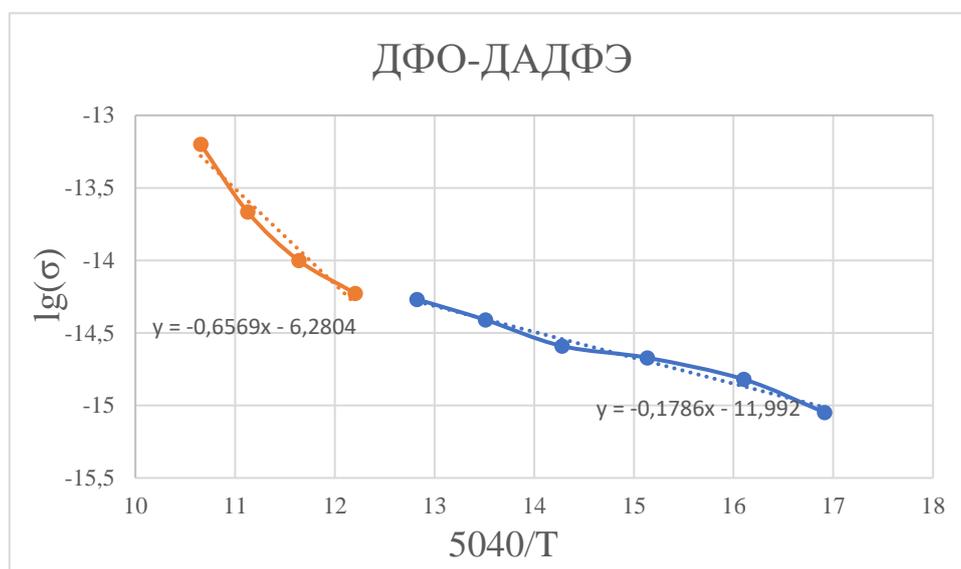


Рис. 3. Зависимость $lg(\sigma) = f(5040/T)$ полиимида ДФО-ДАДФЭ с аппроксимацией

Были определены энергии активации для двух температурных участков. Энергия активации при температуре $T < 130^\circ\text{C}$ находилась в диапазоне от 0,18 эВ до 0,38 эВ для серии полиимидных пленок. При $T > 130^\circ\text{C}$ значения энергии активации составляют от 0,66 эВ до 0,86 эВ для серии полиимидных пленок.

При этом, опираясь на полученные данные, можно рекомендовать жесткоцепные полиимиды такие как ДФ-ПФ для изделий и устройств, в которых требуются такие свойства как прочность и жесткость материала.

В то время, как полиимид Р-СОД можно рекомендовать к использованию в кабельной продукции, благодаря большей гибкости и высокому значению энергии активации проводимости при повышенных температурах.

В настоящее время, в связи с закрытием в РФ производства полиимидных термостойких материалов на Новочеркасском заводе синтетических продуктов (пленок и лаков) отечественная промышленность по изготовлению различных изделий для авиационной, приборостроительной, электронной промышленности (в том числе и специальной техники) вынуждена применять импортные материалы необходимого качества. Поэтому восстановление старой и разработка новой технологии термопластичного полиимида с рабочими температурами $230\text{--}250^\circ\text{C}$ необходима для создания нового поколения полиимидных материалов.

Задача получения независимости от импортных поставок, ведущая к наращиванию самостоятельности России в сфере производства и разработки термостойких полиимидных материалов является одной из первоочередных в полимерной отрасли. Также не решена задача на существенное сокращение затрат производства материала на всех стадиях (т. е. от синтеза исходных мономеров до изготовления готовых изделий), по сравнению и производством, в целом освоенном, термореактивных полиимидов. Выполнение ее значительно сократит энергозатраты, затраты на утилизацию отходов производства, затраты на экологическую защиту производства и окружающей среды. Результаты этих работ имеют важную стратегическую перспективу для начала разработки промышленной технологии полимерных композиционных материалов, необходимых для создания новых изделий для нефтедобывающей, электронной, авиационной и военной техники.

Для производства отечественных полиимидных термопластичных материалов необходимо создать технологии:

- синтеза отечественных мономеров (или хотя бы одного мономера (шарнирного диангирида P) для производства термопластичных полиимидных гранулятов;
- технология производства отечественного полиимидного гранулята на длительную температуру эксплуатации ($230-250^{\circ}\text{C}$) на основе отечественного мономера;
- технологии производства методом экструзии самонесущей термопластичной полиимидной пленки;
- технологию производства термосвариваемой полиимидной пленки с термопластичными полиимидными покрытиями;
- технологию изготовления кабельных оболочек из гранул отечественного полиимида-термопласта;
- технологию синтеза связующего на основе термопластичного полиимидного гранулята для термостойких экструзионных материалов;
- технология производства фольгированного диэлектрика с применением полиимидного гранулята.

Список используемых источников

1. Бекмагамбетова К. Х. Новые перспективные электроизоляционные материалы // АИЭиС. 2010. № 1(27). С. 6–14.
2. Бессонов М. И. Полиимиды – класс термостойких полимеров. Л.: Наука, 1993. 328 с.
3. Поплавко Ю. М. Физика активных диэлектриков. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2009. 480 с.
4. Борисова М. Э. Физика диэлектрических материалов. СПб.: СПбГПУ, 2004. 106 с.
5. Борисова М. Э., Койков С. Н. Физика диэлектриков. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. 240 с.

УДК 621.372.414
ГРНТИ 47.45.99

УПРАВЛЯЕМЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ ФЕРРОШПИНЕЛИ

Е. И. Бочаров, Н. И. Глухов, А. Э. Ланда, Э. Ю. Седышев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им.проф. М. А. Бонч-Бруевича

Исследуются ответвители СВЧ-диапазона на подложке из феррошпинели с изменяющимися характеристиками под действием магнитного поля. Такие элементы могут быть использованы в СВЧ-электронике при создании устройств с автоматической подстройкой частоты и регулировкой уровня сигнала.

СВЧ, ответвитель, ферритовая подложка, феррошпинель

Ферриты – диэлектрические или полупроводниковые материалы с выраженными магнитными свойствами (относительная магнитная проницаемость ферромагнетиков значительно больше единицы). Одна из особенностей ферритов – зависимость от действующего на материал магнитного поля, относительной магнитной проницаемости. Это свойство используется для создания управляемых устройств СВЧ-диапазона [1, 2, 3].

Поскольку скорость распространения волн в микрополосковой линии:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}} * \mu_{\text{эфф}}}},$$

где c – скорость света, $\varepsilon_{\text{эфф}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость, $\mu_{\text{эфф}}$ – эффективная магнитная проницаемость, v – скорость распространения волн в диэлектрике, то, меняя $\mu_{\text{эфф}}$ магнитным полем, можно менять скорость распространения волны в линии, а следовательно, электрическую длину устройства. Электрическая длина линии определяется по формуле:

$$\theta = \frac{l * \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}} * \mu_{\text{эфф}}}}{\lambda},$$

где l – длина линии, а λ – длина волны в вакууме.

При изменении магнитной проницаемости диэлектрика меняется и волновое сопротивление МПЛ:

$$Z_0 = 56 * \lg \left(10.4 * \frac{h}{W} \right) * \sqrt{\frac{\mu_{\text{эфф}}}{\varepsilon_{\text{эфф}}}},$$

где Z_0 – волновое сопротивление МПЛ, h – высота диэлектрической подложки, W – ширина токонесущего полоска. Однако изменение волнового со-

противления при изменении магнитной проницаемости под действием магнитного поля оказывается не столь ярко выраженным, как электрическая длина.

В ходе предпринятых ранее исследований [4] была показана возможность создания управляемого направленного ответвителя на подложке из феррита (рис. 1), рабочая область частот которого менялась под действием магнитного поля. Подложка, на которой выполнено устройство, была помещена в магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом. При изменении магнитного поля (при перемещении магнита) центральная частота смещалась на десятки мегагерц (примерно на 50 МГц).



Рис. 1. Макет направленного ответвителя с центральной частотой 3.9 ГГц [4]

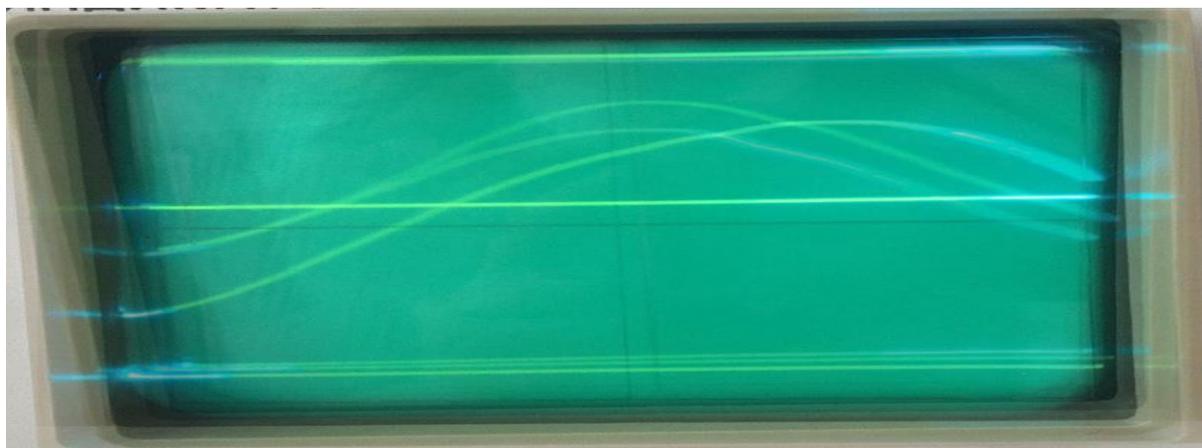


Рис. 2. Смещение АЧХ направленного ответвителя под действием магнитного поля, диапазон измерений с 3.75 до 4.14 ГГц [4]

Как видно из результатов эксперимента, приведенных на рис. 2, относительная магнитная проницаемость феррита меняется под действием внешнего магнитного поля, что влечет за собой изменение центральной ра-

бочей частоты направленного ответвителя, то есть смещается по частоте рабочий диапазон устройства. Также из осциллограммы видно, что незначительно, но меняется уровень пропускания устройства.

Для уточнения ряда характеристик ответвителя был создан ответвитель на нерегулярной микрополосковой линии [5, 6] на феррошпинелевой подложке. Данный ответвитель имеет топологию, показанную на рис. 3. Ответвитель синтезирован для работы в S-диапазоне.



Рис. 3. Внешний вид ответвителя на нерегулярных линиях

Стенд для измерения передаточной характеристики представлен на рисунке 4.

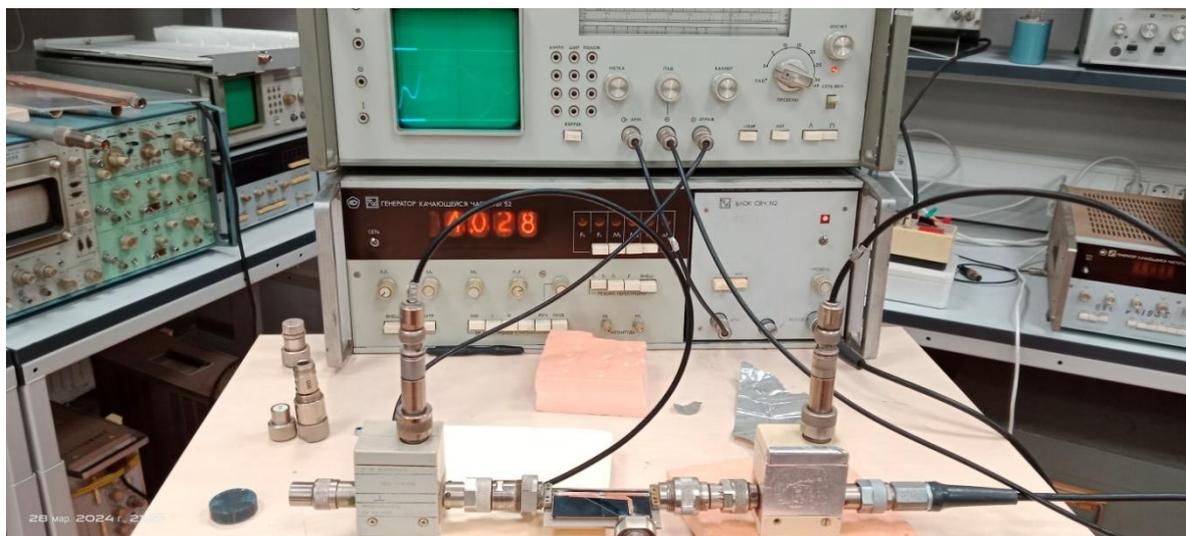


Рис. 4. Стенд для исследования ответвителя на нерегулярной линии

Исследование передаточной характеристики из основной линии во вторичную дало интересные результаты, но требует дальнейшего анализа. АЧХ второго канала представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Ослабление по каналу ответвления (уровень -2 дБ), центральная частота ответвления 3.2 ГГц. АЧХ ответвителя прорисована

Экспериментальное исследование данного устройства показало, что под действием изменяющегося магнитного поля связь между первичной и вторичной линиями ответвителя менялась более чем на 20 дБ. При этом увеличивая внешнее магнитное поле можно было добиться полного подавления ответвления сигнала.

Ожидаемое изменение частоты максимума коэффициента связи под действием изменения магнитного поля было при этом выражено сравнительно слабо.

Общая характеристика связи была исследована на векторном анализаторе L,S – диапазонов. Результаты измерения коэффициента связи приведены на рисунке 6.

К важным результатам исследования можно отнести особую критичность линии к расположению рядом с ней (на верхней поверхности платы) заземленных металлических элементов. Эксперименты показали, что целесообразно отодвигать проводящий полосок МПЛ от края подложки на расстояние, в 4–5 раз превосходящее ширину линии, тогда паразитная связь линии и заземленной рамки уменьшается.

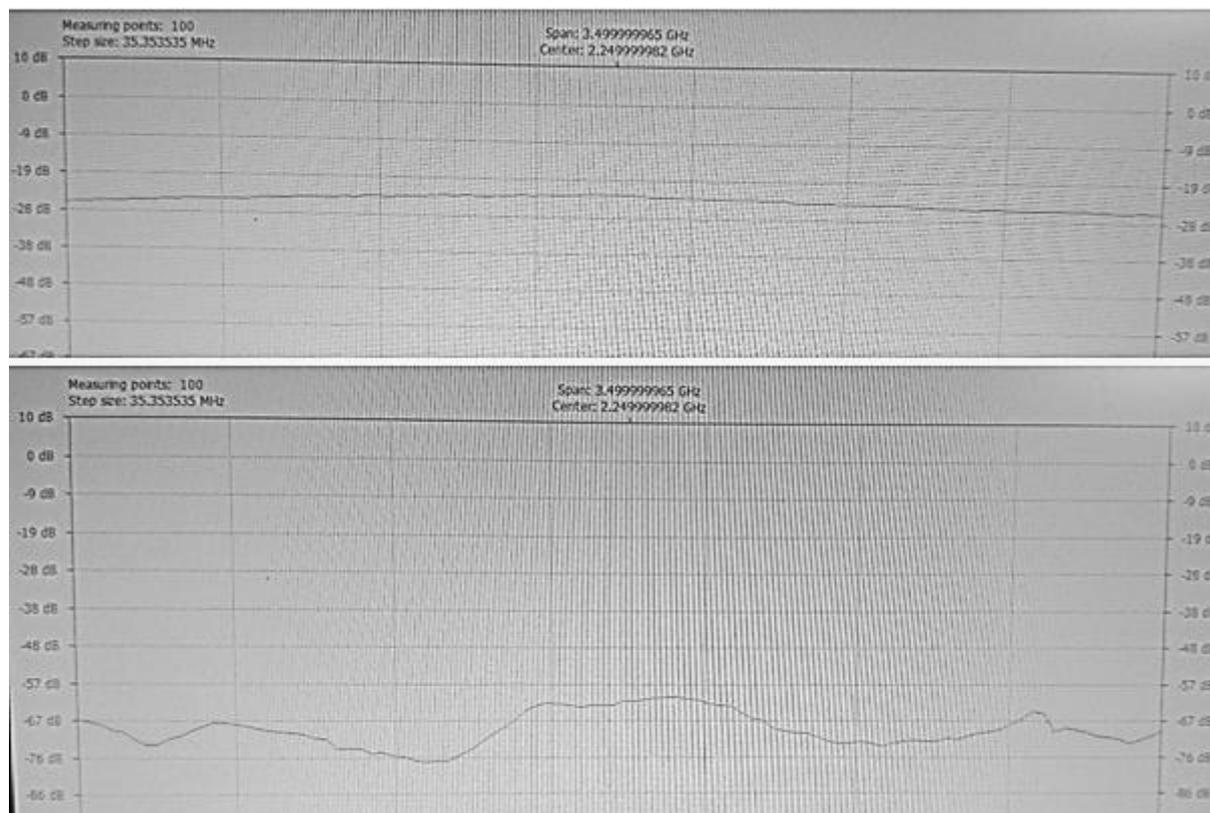


Рис. 6. Усредненное во времени (векторный анализатор LTDZ-4000) изменение коэффициента передачи из первичной линии во вторичную у ответвителя на нерегулярной линии под действием изменения внешнего магнитного поля

Результаты исследования ответвителя на нерегулярной микрополосковой линии являются предварительными. В дальнейшем авторы планируют более детальное исследование данного ответвителя и подобных структур из связанных линий на феррите. В частности, предполагается исследование возможности использовать связанные линии на феррите для трансформации сопротивлений.

Список используемых источников

1. Малков Н. А. Гиротропные среды в технике СВЧ: учеб. пособие / под ред. З. Г. Черновой. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 104 с.
2. Fuller A. J. B. Ferrites at microwave frequencies. IET, 1987. № 23.
3. Riches E. E. Ferrites; a Review of Materials and Applications. Mills & Boon, 1972.
4. Шаповалова П. В. Перестраиваемый направленный ответвитель на ферритовой подложке Выпускная квалификационная работа. Научный руководитель Ланда А. Э., 2020.
5. Иванищева Е. Ф., Седышев Э. Ю. Моделирование планарной емкости перекрытия в полосковом исполнении: материалы всерос. научно-метод. конф. ПКМ 2021, СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 77–83
6. Иванищева Е. Ф., Седышев Э. Ю. Устройство направленного ответвления мощности на связанных нерегулярных линиях: материалы всероссийской научно-методической конференции ПКМ 2022, СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 56–61.

УДК 519.85
ГРНТИ 27.37.17

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИНВЕСТИЦИЙ В ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

О. Х.-М. Бритаева, П. В. Плотников, Е. А. Подгорная

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье предложена математическая модель инвестиций в информационную структуру туризма. Проведен анализ развития туризма на Северо-Западе России как один из главных факторов финансового благополучия региона. Рассматривается важность принятия управленческих решений инвестиционного характера, оценка и сравнение объема предполагаемых инвестиций и будущих денежных поступлений. Проводится анализ с использованием прикладных информационных систем, позволяющих получить формализованные критерии; сравнивается величина требуемых инвестиций с прогнозируемыми доходами.

математическое моделирование, информационные системы, туризм, управленческие решения, региональное развитие, характеристики финансовых потоков, инвестиции, динамика развития

Проектирование математических моделей инвестиций в прикладные информационные системы направлено на изучение функциональных возможностей информационных систем в качестве средства повышения эффективности обработки информации и оптимизации бизнес-процессов.

Анализ принципов функционирования математических моделей инвестиций и освоение работы с информационными системами открывают ряд возможностей, таких как:

- применение информационных систем для быстрого освоения конкретного программного продукта;
- выбор экономически целесообразного программного обеспечения в зависимости от целей инвестиционной деятельности;
- отслеживание тенденций развития информационных технологий.

Рассмотрим моделирование инвестиций в информационные системы, применяемые в туристической отрасли [1]. Туризм считается одной из наиболее динамично развивающихся отраслей мировой экономики и занимает второе место по доходам после топливно-энергетического комплекса. В отличие от других секторов экономики, туризм относительно легко переносит последствия мировых финансовых и «пандемийных» кризисов. Однако в настоящее время туристическая отрасль сталкивается с серьезными вызовами, которые требуют постоянных изменений и мгновенной реакции на мировые экономические и политические события.

Реализация национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства», внедрение системы туристического кэшбека, активное развитие туристической инфраструктуры, льготное кредитование и налогообложение компаний – это реакция на изменение ситуации в отрасли, с целью стабилизировать и ускорить положительные тенденции развития.

Летний туристический сезон 2023 года подтвердил эффективность мер поддержки туризма, принятых правительством Российской Федерации. Данные Росстата за первые 9 месяцев 2023 года показывают рост внутреннего туристического потока в России на 16,5 % по сравнению с предыдущим годом, что соответствует динамике продаж туроператоров. Общее количество туристических поездок россиян за этот период составило 134 955 161 поездку, что на 16,48 % больше, чем за аналогичный период 2022 года (115 854 093 поездки). Из общего числа поездок 20,6 % (27 857 780) были совершены в Северо-Западном федеральном округе.

Согласно прогнозу Минэкономразвития на 2024–2026 годы, туристический поток в России до 2026 года будет увеличиваться на 5–8 % ежегодно. Регионы положительно оценивают динамику внутреннего туризма и высоко оценивают его вклад в местную экономику.

Следует отметить важную роль Северо-Западного региона России как одного из лидеров в развитии туристической отрасли. Этот регион обладает значительным туристско-рекреационным потенциалом (в первую очередь наличие крупных объектов культурного наследия), который при правильном использовании может способствовать быстрому развитию туризма. Северо-Западный федеральный округ занимает одно из лидирующих мест по количеству прибывающих туристов наряду с Центральным и Южными федеральными округами.

Из двадцати четырех российских объектов, находящихся на территории Северо-Западного федерального округа, восемь включены в список ЮНЕСКО, включая исторический центр Санкт-Петербурга, комплексы памятников, архитектурный ансамбль Кижского погоста, культурный и исторический ансамбль "Соловецкие острова" и другие.

Анализ инвестиционных проектов в туристической сфере является ключевым элементом развития как самого туризма, так и региона. Для принятия управленческих решений, связанных с инвестициями, требуется оценка и сопоставление планируемых инвестиций с будущими денежными поступлениями. Для этого необходимо провести анализ соотношения между необходимыми инвестициями и прогнозируемыми доходами.

При составлении математической модели задачи распределения инвестиций используется принцип оптимальности Беллмана, по которому оптимальная стратегия зависит только от текущего состояния и цели.

Принцип оптимальности Беллмана [2] строится на марковских процессах состояния (S, A, P, r) , где:

S – пространство состояний (state space), множество состояний, в которых в каждый момент времени может находиться среда;

A – пространство действий (action space), множество вариантов, из которых нужно производить выбор на каждом шаге своего взаимодействия со средой;

P – функция переходов (transition function), которая задает изменение среды после того, как в состоянии $s \in S$ было выбрано действие $a \in A$. В общем случае функция переходов может быть стохастична, и тогда такая функция переходов моделируется распределением $p(s'|s, a)$, описывающим с какой вероятностью в какое состояние перейдет среда после выбора действия в состоянии s ;

$r: S \times A \rightarrow R$ – функция награды (reward function), выдающая скалярную величину за выбор действия a в состоянии s .

Математическая формулировка задачи распределения инвестиций будет иметь вид:

$$\begin{cases} f_1(y_1) = \max_{x_1, \dots, x_n} \left(\sum_{j=1}^n R_j(x_j) \right) \\ \sum_{j=1}^n C_j(x_j) \leq y_j \\ x_j - \text{целые}, \quad j = 1, \dots, n \end{cases}$$

y_j – количество денег, выделенных для расширения предприятий j ;

x_j – номер проекта, выбранного на предприятии j ;

$C_j(x_j)$ – затраты на j -ом предприятии, когда выбран проект x_j ;

$R_j(x_j)$ – годовой доход (result, revenue), который будет получен от реализации проекта x_j ;

$f_1(y_1)$ – максимальный годовой доход, который будет получен от реализации проектов x_1, x_2, \dots, x_n при заданном объеме инвестиций y_1 .

При оценке инвестиционной деятельности [3] используются финансовые потоки, представленные в виде временных рядов. Эти денежные потоки можно сравнивать, используя различные критерии. При этом необходимо учитывать природу ряда и прогнозировать будущие значения ряда.

Критерии делятся на две категории в зависимости от того, учитывается ли временной фактор: оценки на основе дисконтирования, то есть те денежные средства, которые необходимо потратить сейчас, чтобы в будущем получить прибыль и оценки на основе номинальных значений.

К оценкам, основанным на дисконтировании, относятся такие критерии, как чистая текущая стоимость (Net Present Value, NPV), индекс рентабельности инвестиции (Profitability Index, PI), внутренняя норма доходности (Internal Rate of Return, IRR), модифицированная внутренняя норма доходности (Modified Internal Rate of Return, MIRR) и дисконтированный срок окупаемости инвестиции (Discounted Payback Period, DPP).

К оценкам, основанным на учете номинальных значений, относятся срок окупаемости инвестиции (Payback Period, PP) и коэффициент эффективности инвестиции (Accounting Rate of Return, ARR).

Один из важных номинальных критериев – это коэффициент эффективности инвестиций (ARR) [4]. Расчет критерия простой, надо учитывать среднегодовую прибыль и среднюю величину инвестиций.

Такой расчет показателя позволяет понять уровень прибыльности инвестиций и включает в себя следующие шаги: во-первых, при наступлении запланированной даты окончания сроков реализации проекта капитальные затраты аннулируются, и во-вторых, в расчетах учитывается остаточная стоимость.

$$ARR = \frac{2PN}{(IC + RV)}$$

Этот показатель можно сравнить с коэффициентом рентабельности авансированного капитала, то есть коэффициента, учитывающего объем денежного потока общей чистой прибыли в общей сумме средств, вложенных в деятельность организатора проекта.

Критерии и характеристики финансовых потоков используются для оценки и сравнения инвестиционных проектов, и выбор наиболее предпочтительных вариантов остается за инвестором. Поскольку эти показатели относятся к различным моментам времени, важной проблемой является их сопоставимость. Оценка результатов сравнения критериев может различаться в зависимости от различных объективных и субъективных условий, таких как инфляционные темпы, объем инвестиций и генерируемые доходы, период прогнозирования, уровень квалификации аналитика и другие факторы.

Предложенная математическая модель инвестиций в прикладные информационные системы позволяет систематизировать знания о таких системах в области инвестиций, охватывая их функциональные области применения, историю развития и иерархию в зависимости от уровня управления. Эта модель позволяет рассмотреть тенденции и перспективы развития информационных систем от простых средств автоматизации отдельных операций к цифровым платформам, цель которых заключается в системной интеграции интеллектуальных и коммуникационных технологий.

Список используемых источников

1. Боголюбов В. С. Экономическая оценка инвестиций в развитие туризма. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 272 с.
2. Лежнев А. В. Динамическое программирование в экономических задачах: учебное пособие / А. В. Лежнев. 4-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2020. 179 с.
3. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие. М.: Издательство "Март", 2004. 656 с.
4. Стрикалов А. И. Экономико-математические методы и модели: пособие к решению задач / А. И. Стрикалов, А. И. Печенежская. Ростов н/Д.: Феникс, 2008. 348, [1] с. (Высшее образование).

УДК 621.373
ГРНТИ 47.41.31

РЕАЛИЗАЦИЯ НАЧАЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЕМОДУЛЯТОРА СИГНАЛА С ПРЯМЫМ РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ

Е. А. Брусин

Институт Радионавигации и Времени, АО «Обуховский завод»,
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Работа посвящена проблеме начальной синхронизации демодулятора сигнала с прямым расширением спектра. Основное внимание в работе уделяется поиску по несущей частоте. Для реализации начальной синхронизации предложен подход, который сочетает в себе процедуру, основанную на использовании быстрого преобразования Фурье и частотной автоподстройки (ЧАП). Основной целью частотной автоподстройки является расширение полосы поиска демодулятора по несущей частоте. В работе обсуждается структура демодулятора со схемой ЧАП. Предлагается критерий вхождения в синхронизм («захвата») демодулятора, основанный на анализе фазовой диаграммы принимаемого сигнала. Приводятся результаты моделирования процедур начальной синхронизации.

прямое расширение спектра, начальная синхронизация, частотная автоподстройка, фазовая диаграмма

Постановка задачи

Вопросы начальной синхронизации играют ключевую роль в решении задачи построения демодуляторов сигналов с прямым расширением спектра. В частности, алгоритм начальной синхронизации на основе использования БПФ предложен в работах [13]. Если начальная неопределенность принимаемого сигнала по несущей частоте существенна, при реализации демодулятора, в частности, используются методы частотной автоподстройки [4]. Однако полосы петель ЧАП, как правило, не превосходят долей информационной скорости [4, 5]. В тоже время на практике начальная неопределенность по частоте несущего колебания может значительно превосходить полосу поиска систем частотной автоподстройки. В связи с этим задачей представленной работы является разработка процедуры, включающую в себя как оценивание параметров с точностью, необходимой для реализации демодулятора, так и переход к демодуляции с использованием схемы ЧАП и собственно демодуляцию сигнала.

Реализация начальной синхронизации

Рассмотрим прием сигнала двухпозиционной фазовой модуляции (ФМ-2). При формировании расширения использовалась последовательность длиной $N_I = 80000$, скорость передачи данных $f_b = 250$ Гц. Соответственно частота следования чипов $F_S = 20$ МГц. Структура схемы приема и обработки сигнала представлена на рисунке 1. Сигналы квадратур S_I и S_Q поступают на вход схемы комплексного перемножения, а с выхода последней на входы схемы передискретизатора. На входе схемы частота дискретизации F_d , на выходе удвоенная чиповая частота $2F_S$. Сигналы с выхода передискретизатора поступают на входы схемы оценивания параметров и собственно демодулятора (передискретизатор не будет обсуждаться в настоящей статье). Алгоритм оценивания описан в работах [1, 2]. Реализация алгоритма дает среднеквадратичное отклонение оценки несущей частоты на уровне 10% от f_b . Поэтому в структуру демодулятора введена схема ЧАП [4]. Демодулятор включает в себя согласованные фильтра квадратурных каналов: «early» – с опережением, «late» – с запаздыванием и «prompt» – в момент, совпадающий с корреляционным пиком (ГК на рисунке 1 – генератор кода).

Детектор ошибки типа «early-late» вычисляет следующую сумму:

$$\varepsilon_\tau = I_p(I_l - I_e) + Q_p(Q_l - Q_e).$$

Соответственно сигнал с выхода петлевого фильтра петли по задержке управляет коэффициентом передискретизации:

$$\tilde{k}_p = \tilde{k}_{p0} + \mu,$$

где $\tilde{k}_{p0} = 2F_S/F_d$ – номинальное значение коэффициента передискретизации.

Фазовый детектор петли подстройки по несущей частоте вычисляет произведение:

$$\varepsilon_\varphi = I_p Q_p.$$

Начальное смещение демодулятора по несущей частоте – $\tilde{\omega}_0$ устанавливается по результату оценивания. Сигнал ошибки частотного детектора схемы ЧАП вычисляется следующим образом:

$$\varepsilon_f = I_p(n)Q_p(n-1) - Q_p(n)I_p(n-1),$$

где $I_p(n), Q_p(n), Q_p(n-1), I_p(n-1)$ – текущие и задержанные сигналы «prompt».

Получаемые сигналы ошибок поступают на входы петлевых фильтров. Реализация модели демодулятора иллюстрируют отсчеты сигналов, представленные на рисунках 2–8. На рисунках 2 и 3 приведены отсчеты сигналов подстройки петель по несущей частоте. Рисунок 4 иллюстрирует синхронизацию по несущей частоте. В рассматриваемом случае первоначальное расхождение по несущей частоте составляет около 23 Гц. Именно это расхождение фактически «выбирается» частотным детектором.

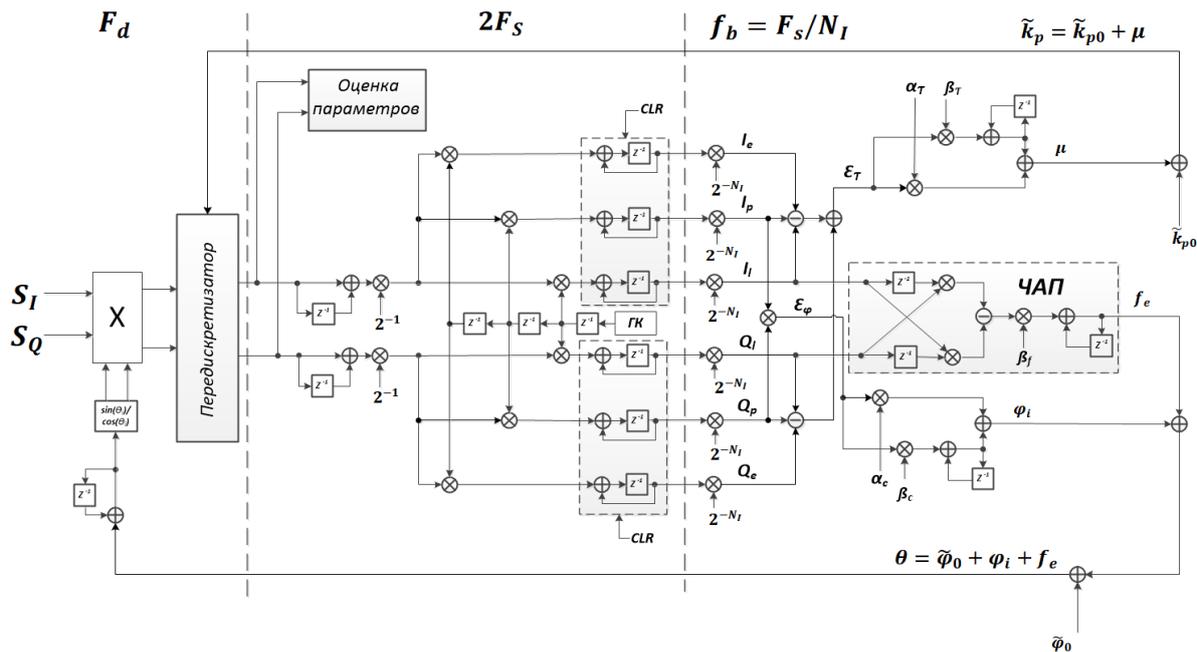


Рис. 1. Схема приема и обработки сигнала

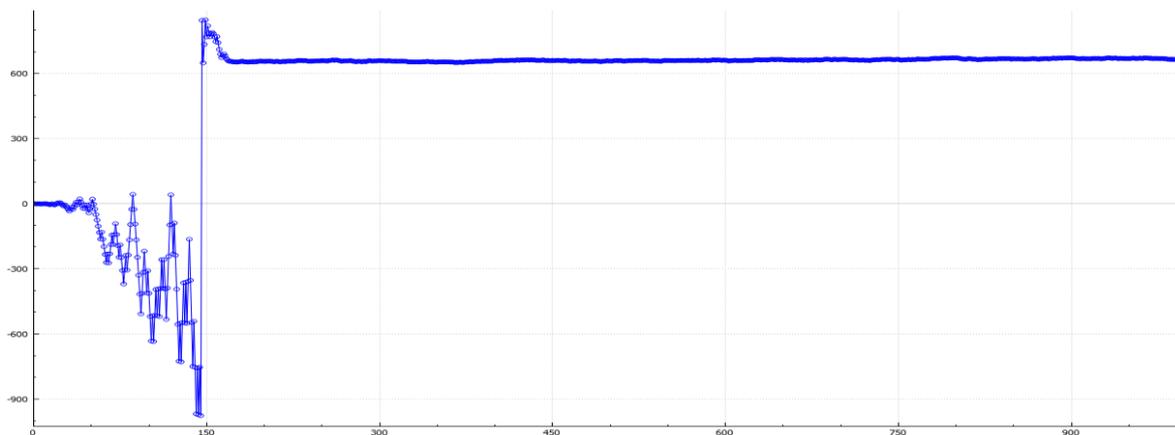


Рис. 2. Отсчеты сигнала f_e

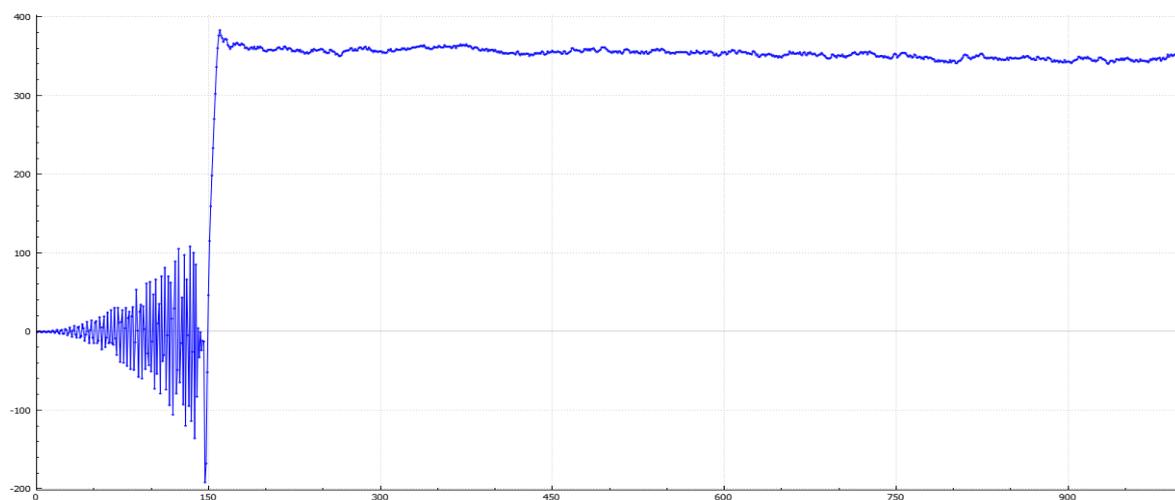


Рис. 3. Отсчеты сигнала φ_i

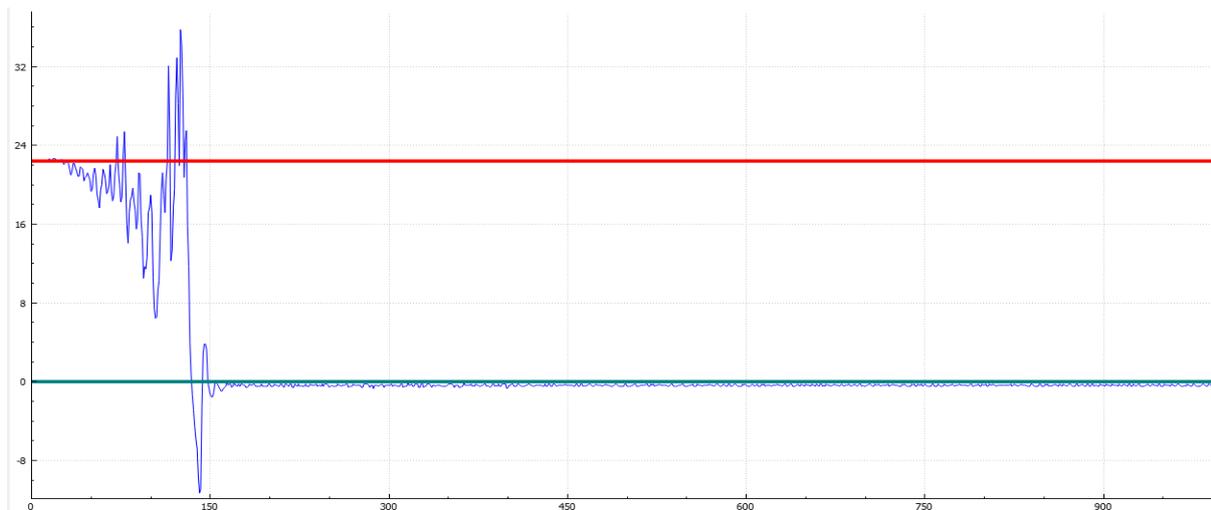
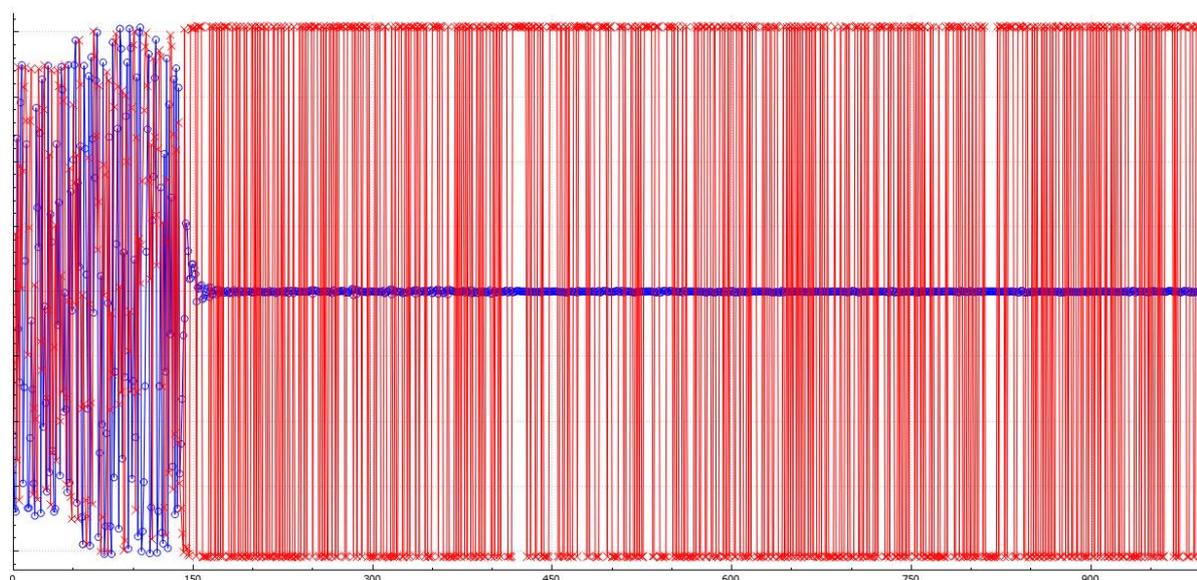


Рис. 4. «Захват» по несущей частоте

На рисунке 5 приведены отсчеты сигналов I_p и Q_p , а на рисунке 6 – фазовые диаграммы, соответствующие этим отсчетам. Слева диаграмма с учетом переходного процесса, справа диаграмма в установившемся режиме. На фазовые диаграммы принимаемого сигнала накладываются окружности. Если количество точек фазовой диаграммы на некотором интервале наблюдения внутри окружности больше, чем снаружи, то индицируется «захват» демодулятора. Диаметры окружностей и их центры настраиваются исходя из оценки уровня принимаемого сигнала и порогового отношения сигнала/шум. Диаграммы, иллюстрирующие процесс «захвата» демодулятора при $E_S/N_0 = -34$ дБ, представлены на рисунке 7. Диаграммы для $E_S/N_0 = -38$ дБ, представлены на рисунке 8. Диаграмма слева иллюстрирует срыв «захвата».

Рис. 5. Отсчеты сигналов I_p и Q_p

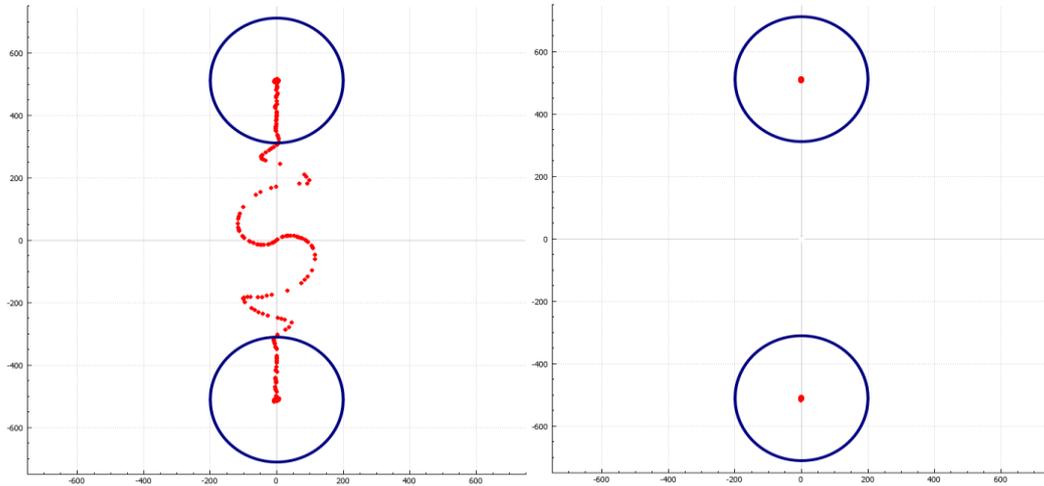


Рис. 6. Фазовые диаграммы с областями «захвата»

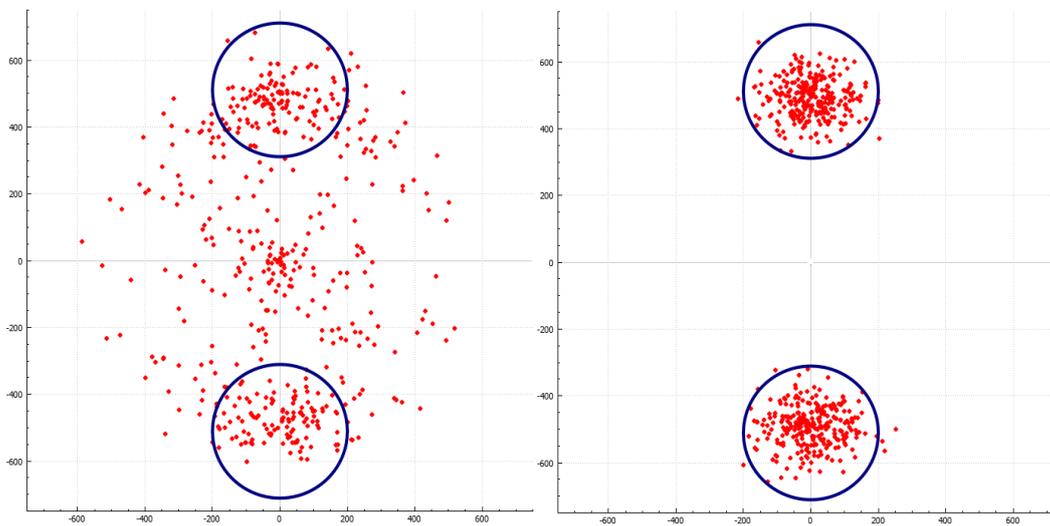


Рис. 7. Фазовые диаграммы. $E_S/N_0 = -34$ дБ

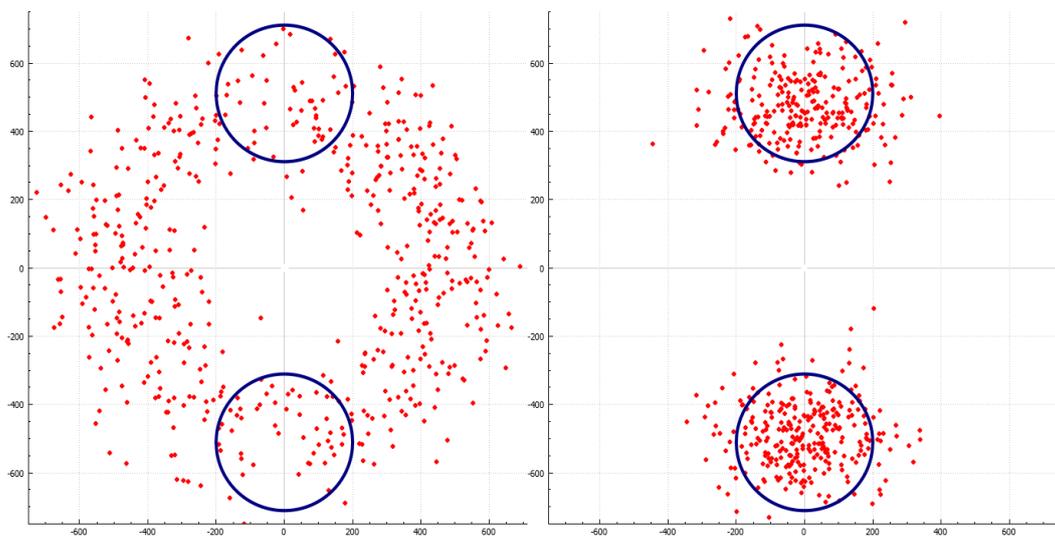


Рис. 8. Фазовые диаграммы. $E_S/N_0 = -38$ дБ

Выводы

Предложен алгоритм начальной синхронизации демодулятора сигнала с прямым расширением спектра, основанный на использовании методов оценивания на базе БПФ и системы частотной автоподстройки.

Разработанный алгоритм включает в себя первоначальное оценивание параметров с точностью, необходимой для реализации демодулятора, собственно демодуляцию с использованием схемы ЧАП и обнаружение «захвата» демодулятора.

Критерий обнаружения «захвата» демодулятора основан на анализе фазовой диаграммы принимаемого сигнала. В качестве критерия предлагается использовать сопоставление количества точек на фазовой диаграмме снаружи и внутри областей «захвата».

Список используемых источников

1. Брусин Е. А. Начальная синхронизация демодулятора сигнала с прямым расширением спектра с использованием быстрого преобразования Фурье // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 2. С. 522–527.

2. Брусин Е. А. Реализация алгоритма начальной синхронизации демодулятора сигналов с прямым расширением спектра на основе быстрого преобразования Фурье. Часть 1. Постановка задачи и подход к решению // Труды учебных заведений связи, 2022. Т. 8. № 4. С. 21–27. DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-4-21-27.

3. Брусин Е. А. Реализация алгоритма начальной синхронизации демодулятора сигналов с прямым расширением спектра на основе быстрого преобразования Фурье. Часть 2. Оценивание несущей частоты // Труды учебных заведений связи, 2023. Т. 9. № 1. С. 21–27. DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-1-21-27.

4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования // Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова, Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с. с ил.

5. DIRECT SEQUENCE SPREAD-SPECTRUM DEMODULATOR 22 Mchip/s // www.comblock.com/download/com1418.pdf, (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 53
ГРНТИ 2917

АНАЛИЗ ПОДВИЖНОСТИ ВОДОРОДА В РЕШЕТКЕ СПЛАВОВ ВАНАДИЯ ПО ДАННЫМ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Н. Буланов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Анализ подвижности водорода – это исследование, которое проводится с целью изучения движения молекул водорода в различных средах. Водород является одним из наиболее распространенных элементов в природе и имеет широкий спектр применения: от использования в водородной энергетике до фармацевтической промышленности.

Подвижность водорода в решетке сплавов ванадия зависит от многих факторов: температуры, давления, содержания водорода в сплаве, размера и формы решетки, а также от наличия дефектов в решетке. Движение водорода может происходить как за счет диффузии через решетку, так и за счет диссоциации молекул водорода на поверхности сплава.

В статье будет рассмотрен анализ подвижности водорода в решетке сплавов ванадия, проанализированный с помощью методов компьютерного моделирования.

подвижность водорода, компьютерное моделирование, сплавы ванадия

Введение

Изучение подвижности водорода в решетке сплавов ванадия имеет большое значение для разработки новых материалов с улучшенными физическими свойствами. Например, понимание механизмов диффузии водорода в решетке сплавов критически важно для развития технологий водородной энергетике.

Ванадий в стали повышает ее прочность, эластичность, ударную вязкость и твердость. Также он помогает увеличить ее ползучесть и образовать жесткие карбиды, которые используют для производства быстрорежущей стали. Сплавы с ванадием широко применяют в реактивных двигателях, летательных аппаратах и каркасах [1].

Благодаря анализу подвижности водорода и разработке новых методов и техник исследования, ученые получают ценные данные о свойствах водорода и его взаимодействии с окружающей средой.

Ванадий относится к технически важным металлам в современной промышленности, поэтому его получению и применению уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом. Для России значимость ванадия обусловлена возможностью замены им ряда легирующих элементов: вольфрама, молибдена и ниобия, запасы которых ограничены [2].

Анализ подвижности водорода в решетке сплавов ванадия является важным направлением исследований в области материаловедения и сырьевых технологий. Результаты таких исследований могут привести к созданию новых материалов с улучшенными свойствами.

Исследование взаимодействия изотопов водорода с материалами проводится уже на протяжении многих десятилетий, продолжает развиваться и в настоящее время. В ходе исследований изучается целый ряд свойств, механизмов и особенностей. Анализируется накопление, проникновение, фазовые и структурные изменения материалов. Также изучается влияние различных воздействий: плазменные, нейтронные, тепловые потоки и другие, их влияние на поведение водорода в материалах. Поведение водорода анализируется как в совершенно новых материалах, так и в обновленных, созданных на основе хорошо изученных. В ходе исследований уточняются ранее полученные данные, что способствует более глубокому пониманию процессов взаимодействия изотопов водорода с материалами. Часто накопление водорода отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики материалов: оно может вызывать высокотемпературное охрупчивание из-за гидридообразования и деструкции. Взаимодействие водорода с материалами может приводить к различным проблемам как в современной ядерной энергетике (ухудшение характеристик материалов, диссоциация и радиолиз воды со возможным образованием опасных смесей), так и в перспективных направлениях (проблемы в атомной энергетике и накопление/утечки радиоактивного трития).

Рассматриваются различные конструкционные материалы, такие как стали и их модификации, включая дисперсионное упрочнение с добавлением оксидов, нитридов и других тугоплавких материалов. Кроме того, сплавы ванадия могут быть использованы в определенных отраслях, но их особенности, такие как высокое накопление водорода, должны быть учтены. Конструкционные стали классифицируются по содержанию углерода, который может быть присутствовать в виде твердых растворов (аустенит, феррит), в составе чистого углерода или как химическое соединение (цементит – Fe_3C).

Исследования взаимодействия изотопов водорода с ванадиевыми сплавами проводятся уже много десятилетий. Сплавы ванадия имеют ряд преимуществ по сравнению со сталями, однако они хорошо абсорбируют различные газы, включая изотопы водорода. Высокие коэффициенты диффузии водорода характерны для ванадиевых сплавов, а также для некоторых других металлов (например, Nb, Ta).

Большое внимание к сплавам металлов пятой группы (Nb, V, Ta) вызвано возможностью использования их в качестве мембран для очистки изотопов водорода методом диффузии с высокой селективностью [3, 4]. Однако, из-за высокой растворимости водорода в этих металлах, опасная концентрация водорода для чистых металлов достигается при относительно низких давлениях. Например, соотношение количества атомов водорода к

количеству атомов металла $\geq 0,2$ (С(Н/М)), при котором происходит образование гидридов и переход металла из пластичного состояния в хрупкое, характерное для чистого ванадия достигается при температуре 673 К и давлении молекулярного водорода $\geq 4 \cdot 10^4$ Па. А при уменьшении температуры – до 423 К при ~ 20 Па [3, 4].

Введение в сплавы на основе ванадия и ниобия легирующих добавок (вольфрам, молибден, алюминий и другие) позволяет существенно снизить растворимость водорода и увеличить рабочее давление, что, в конечном итоге, приводит к увеличению проникающих потоков и эффективности системы очистки водорода [3].

Компьютерное моделирование играет ключевую роль в разработке новых сплавов, позволяя оптимизировать процессы и сократить расходы. С помощью компьютерных моделей и симуляций исследователи возможно предсказывать свойства новых сплавов, их поведение в различных условиях. Также, с помощью моделирования оптимизируют состав и структуру разрабатываемых материалов. Это позволяет значительно сократить время и затраты, которые обычно требуются для экспериментального создания и тестирования новых сплавов. Кроме того, компьютерное моделирование позволяет проводить исследования и анализ вариантов с учетом различных параметров.

На рис. 1 приведены данные по коэффициенту диффузии и растворимости водорода в ванадии по данным компьютерного моделирования [5]. Автор отмечает, что в данном материале высокая подвижность водорода сохраняется даже при низких температурах, а его растворимость значительно превышает значение, характерное для сталей.

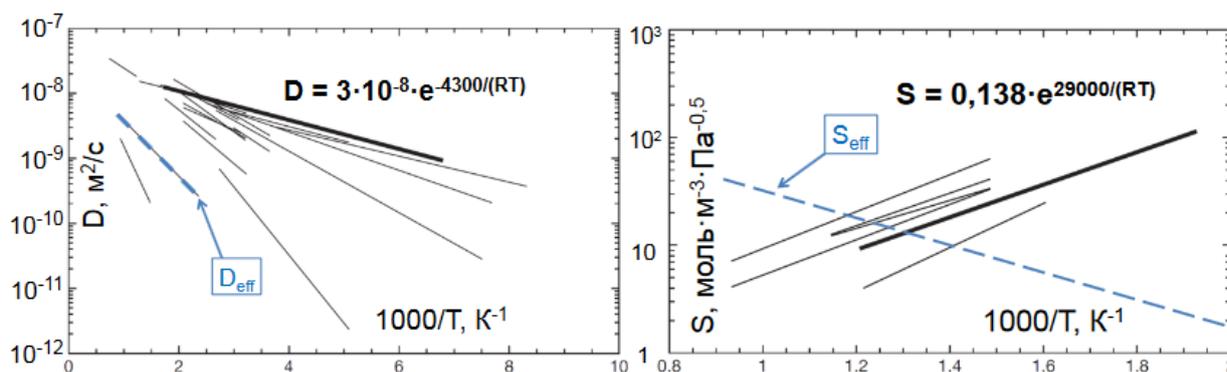


Рис. 1. Коэффициенты диффузии и растворимости водорода в ванадии и его сплавах

На рисунке 1 представлены аппроксимации коэффициента диффузии и растворимости водорода толстыми сплошными линиями соответственно. Эти графики рекомендуют использовать в качестве параметров для описания поведения водорода в чистом ванадии.

Таким образом, на основе указанных выше в компьютерной модели экспериментальных данных можно сделать вывод, что для ванадия и его

сплавов значительное расхождение по величинам транспортных параметров (D , S , P), чем для сталей.

Крайне важно отметить, что условия, в которых будут эксплуатироваться конструкционные материалы.

Таким образом, для получения достоверных данных по поведению изотопов водорода в ванадиевых сплавах и конструкционных материалах в целом, необходимо проведение исследований при схожих условиях: давлении водорода не более 0,1–10 Па, предельном вакууме системы ~10–6 Па и температуре 150–600 °С. При подобных условиях, как показано выше, на поведение водорода существенное влияние могут оказывать ловушки водорода различной природы и в особенности, нейтронно-индуцированные, а также состояние поверхностей и процессы на них происходящие [6, 7, 8]. Оксидные пленки, образующиеся ввиду высокой химической активности ванадия при его экспозиции в недостаточно высоком вакууме при повышенной температуре, способны снижать проникающие потоки водорода из газовой фазы на несколько порядков [9]. При взаимодействии плазмы с ванадиевыми сплавами, и достижения высоких концентраций изотопов водорода в материале, возможно образование гидридов охрупчивание и разрушение материалов, что может приводить к крайне негативным последствиям при их эксплуатации [10].

Заключение

Водород – это один из самых легких и распространенных элементов в нашей Вселенной. Он играет важную роль в различных технологических процессах, включая процессы каталитического окисления и гидрогенирования. Водород может быть встраиваться в решетку различных материалов, включая металлы, полупроводники и сплавы.

Как было указано в статье, подвижность водорода в решетке сплавов ванадия зависит от многих факторов. Все они, – температура, давление, содержание водорода в сплаве, размер и форма решетки, а также наличие дефектов в решетке, – могут быть учтены при компьютерном моделировании. Движение водорода происходит как за счет диффузии через решетку, так и за счет диссоциации и реассоциации молекул водорода на поверхности сплава.

Моделирование сплавов ванадия с водородом очень важно в промышленности и народном хозяйстве. Водород является важным элементом в энергетической и промышленной отраслях, однако его взаимодействие с другими материалами, включая ванадий, приводит к образованию хрупких соединений. Именно поэтому необходимо моделировать получившиеся сплавы, чтобы спрогнозировать их характеристики. Потому что неизвестные соединения могут привести к разрушению оборудования и повреждению инфраструктуры. Моделирование позволяет понять и предсказать поведение водорода в сплавах ванадия, а это значительно повышает безопасность использования образовавшихся материалов.

При разработке нового сплава моделирование позволяет оптимизировать состав сплавов ванадия с водородом для улучшения их механических и химических свойств. Это, в свою очередь, позволяет создавать новые материалы с оптимальными характеристиками. Сплавы с ванадием используются в различных отраслях: например, в авиации, строительстве и энергетике. Но самое главное заключается в том, что моделирование помогает сократить время и затраты, которые требуются для экспериментального создания и тестирования новых материалов. Прогнозирование свойств новых сплавов ванадия с водородом с помощью компьютерных моделей позволяет оптимизировать процесс разработки, снизить затраты на исследования и ускорить производство новых материалов.

Список используемых источников

1. Физические и химические свойства Ванадия, <http://ural-metall.com/vanadium>.
2. Чурилов А. Е. Ванадийсодержащие ресурсы и химические способы их переработки. <https://cyberleninka.ru/article/n/vanadiysoderzhaschie-resursy-i-himicheskie-sposoby-ih-pererabotki>.
3. Yukawa H., Nambu T., Matsumoto Y. 13 – Design of group 5 metal-based alloy membranes with high hydrogen permeability and strong resistance to hydrogen embrittlement // Advances in Hydrogen Production, Storage and Distribution, Woodhead Publishing, 2014. PP. 341–367.
4. Alimov V. N., Busnyuk A.O., Notkin M. E., Livshits A. I. Pd–V–Pd composite membranes: Hydrogen transport in a wide pressure range and mechanical stability // Journal of Membrane Science 457, 2014. PP. 103–112.
5. Causey R. A., Karnesky R. A. and San Marchi C. 4.16 – Tritium Barriers and Tritium Diffusion in Fusion Reactors // Comprehensive Nuclear Materials, Elsevier, Oxford, 2012. PP. 511–549.
6. Fujii K., Hashizume K., Hatano Y., Sugisaki M. Tracer diffusion coefficient of tritium in vanadium and trapping effect due to zirconium impurity // Journal of Alloys and Compounds, 1998. Vol. 270. Iss. 1–2. PP. 42–46.
7. Kulsartov T. V., Shestakov V. P. Tazhibaeva I. L. Kenzhin E. A. // Journal of Nuclear Materials, 2000. Vol. 283–287. PP. 872–875.
8. Гордиенко Ю. Н., Кульсартов Т. В., Заурбекова Ж. А., Понкратов Ю. В., Гныря В. С., Никитенков Н. Н. Применение метода водородопроницаемости в реакторных экспериментах по исследованию взаимодействия изотопов водорода с конструкционными материалами // Известия Томского политехнического университета, 2014 г. Т. 324. № 2.
9. Namba T., Miyaguchi H. et al. Hydrogen permeation through Vanadium and the effect of surface impurity layer on it // Journal of Nuclear Materials, 1982. Vol. 105 (3). PP. 318–325.
10. Zhang Y., Ozaki T., Komaki M., Nishimura C. Hydrogen permeation characteristics of vanadium–aluminium alloys // Scripta Materialia, 2002. Vol. 47. PP. 601–606.

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедрой Физики СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом Е. Ю. Передистовым.

УДК 621.373.52
ГРНТИ 47.45.99

ГИБРИДНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА ГЕНЕРАТОРА ШУМА МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

Н. В. Верликов, Э. Ю. Седышев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе исследуется возможность построения генератора шума микроволнового диапазона в интегральном виде. Приведены результаты макетирования и экспериментов, предложены пути дальнейшего развития интегральных генераторов микроволнового шума. Рассматриваются цепи положительной обратной связи с использованием фильтров и фазовой корректуры.

ЛПД, транзистор СВЧ, генератор, положительная обратная связь, фазовый корректор

Шумы в СВЧ диапазоне имеют различную природу образования и обычно рассматриваются как паразитные, потому что при их высоком уровне полезный сигнал можно и вовсе потерять в частотном спектре. Тем не менее, развитие радиоэлектроники не стоит на месте, и в 1993 году сотрудниками СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича С. А. Корниловым и К. Д. Овчинниковым выпущена книга «Шумы в генераторах, усилителях и умножителях частоты на лавинно-пролетных диодах», в которой фундаментально рассматриваются флуктуационные характеристики СВЧ устройств. Эта книга является «первой попыткой систематического изложения проблемы исследования и описания флуктуаций в устройствах на ЛПД [1]». Именно ЛПД главным образом подтолкнул развитие шумовой радиоэлектроники. Данный диод, в отличие от диода Ганна, отличается особо высоким уровнем шума, поэтому это навело наших коллег на мысль о возможности использовать шум для различных задач радиоэлектроники.

На сегодняшний день СВЧ шум имеет огромный потенциал для развития всех отраслей радиоэлектроники. Модулированный шум можно использовать для передачи сигнала на высоких частотах без потери мощности, поэтому возникла идея создать генератор шума микроволнового диапазона. Проблема, которую стремится решить данная работа, является эффективная генерация окрашенного СВЧ шума в широком диапазоне частот [2].

Используя генерационную схему Пирса в Лаборатории синтеза СВЧ устройств СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, была собрана микроволновая схема на транзисторе, который был охвачен положительной обратной связью (ПОС). В стандартной схеме генератора Пирса в цепи обратной связи используется кристалл из кварца, высокоизбирательный элемент с высокой добротностью, резонирующий на относительно высокой частоте (де-

сятки МГц), хотя и малой по сравнению с диапазоном СВЧ. В макетах, представленных в данной работе, цепь ПОС изменена так, чтобы уменьшить добротность и расширить диапазон рабочих частот для шумового СВЧ сигнала.

На рисунке 1 изображены макеты, над которыми проводились эксперименты и с которых снимались частотные характеристики. В основном, менялась цепь положительной обратной связи, чтобы сделать ее более широкополосной.

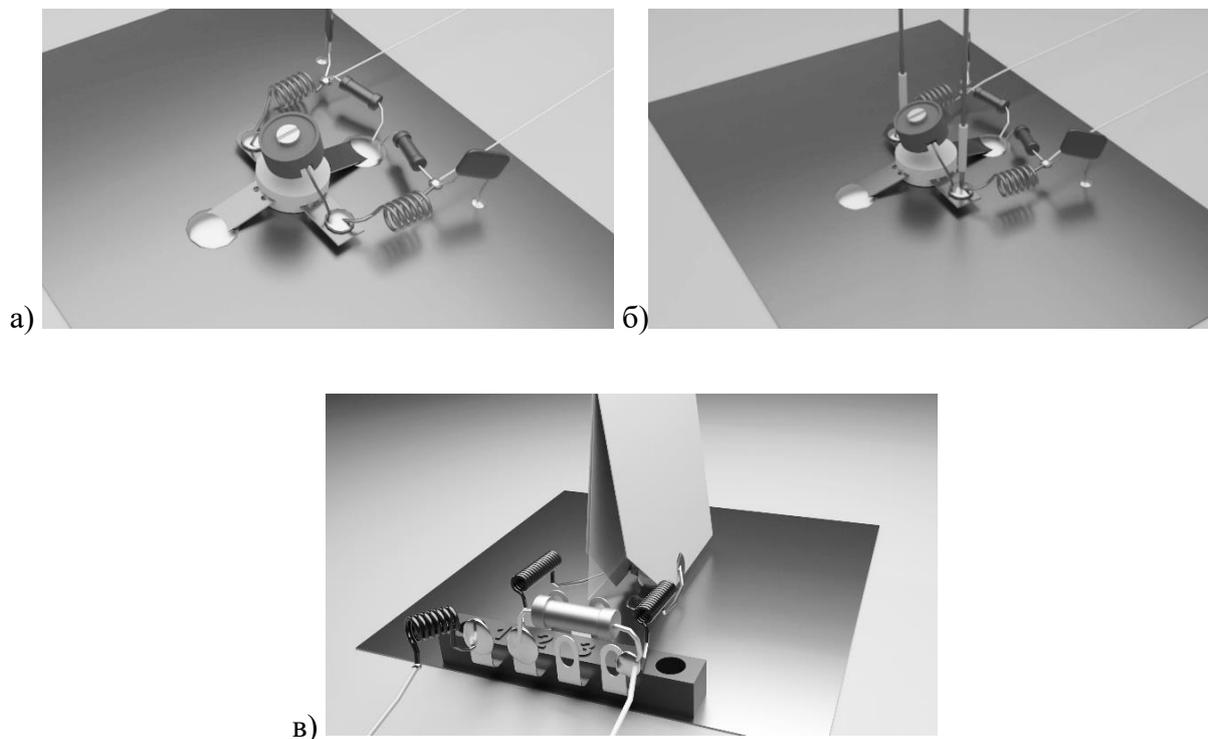


Рис. 1. Макеты генератора СВЧ шума: а) по схеме с ОБ; б) по схеме с ОБ и ОС в виде стержней; в) по схеме с ОЭ и ОС в виде шлейфа

Первые макеты генераторов шума СВЧ давали относительно узкую полосу шума (величиной в несколько десятков МГц) на частоте до 1 ГГц. В качестве элементов связи в цепи ПОС большинства макетов использовался длинный шлейф (два параллельных стержня с выходов транзистора).

Последний наиболее удачный макет со шлейфом трапецеидальной формы с диэлектрической вставкой превзошел все ожидания. В ходе работы использовались различные схемы включения транзистора (с общей базой, общим эмиттером). Так, первые экспериментальные цепи строились по схеме подключения с общей базой (рис. 1, а, б), а последний макет подключен по схеме включения транзистора с общим эмиттером, но стоит отметить, что последняя схема включения более трудоемка, чем первая.

Схема на рис. 1 (в) начинает работать при приложенном напряжении питания 2,5 В и дает шумовой сигнал шириной около 100 МГц. На рис. 2 (а) виден этот сигнал. Центральная частота на момент эксперимента стояла на 0,75 ГГц (0,15 ГГц/дел.), поэтому на спектрограмме четко видно шум на 0,75 ГГц с диапазоном примерно 100 МГц, а также второй шумовой сигнал на

частоте 1,5 ГГц, который, по-видимому, по частоте еще шире, как минимум в полтора раза. При дальнейшем повышении напряжения питания появляется неравномерный шум на всем диапазоне (рис. 2, б). При этом мощность СВЧ шума на протяжении всего эксперимента не превышала 0,1 мВт.

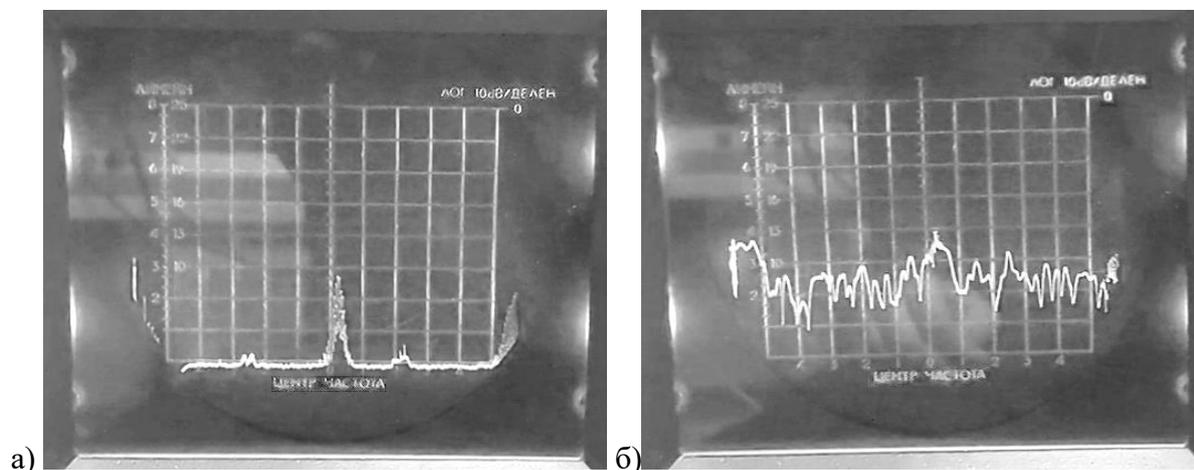


Рис. 2. Спектр шума (центр. частота – 0,75 ГГц (0,15 ГГц/дел.), ослабление – 10 дБ/дел.)

Следующим шагом развития конструкции данного генератора шума СВЧ диапазона является создание эффективной цепи ПОС, которую можно получить, используя в составе цепи обратной связи каскад из фильтра с фазовым корректором для обеспечения постоянного положительного фазового сдвига.

ПОС получается в случае, если в цепи обратной связи соблюдается фазовая задержка в 180 градусов, поэтому, правильно рассчитав фильтр и фазовый корректор, можно задать нужную ПОС. Характеристическое сопротивление фазовых корректоров, в отличие от LC-фильтров, постоянно на всех частотах, что отлично подходит для конструирования широкополосного генератора СВЧ шума [3].

Таким образом, в результате нашего исследования намечены пути создания интегральной схемы генератора шума микроволнового диапазона с цепью ПОС на фильтре и фазовом корректоре. Модулированный СВЧ шум с данного генератора можно будет использовать для высокоскоростной передачи информации с минимальным уровнем мощности.

Список используемых источников:

1. Корнилов С. А. Овчинников К. Д. Шумы в генераторах, усилителях и умножителях частоты на лавинно-пролетных диодах. СПб.: СПб ГУТ, 1993.
2. Ларионова А. К. Исследование микроволнового генератора шума, нагруженного многозаходной спиральной структурой / А. К. Ларионова, Э. Ю. Седышев, С. И. Федоров // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2023. Т. 1. С. 672-676. EDN EHYKYB.
3. Алексеев Л. В., Знаменский А. Е., Лоткова Е. Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. М., «Связь», 1976. 280 с.

УДК 531.8
ГРНТИ 30.15.19

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛЬТА-АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА

С. В. Виноградов, Е. Ю. Передистов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Современные задачи промышленности требуют постоянного развития и модернизации в области машиностроения. Для все большего числа задач изготавливаются механизированные устройства с большим набором возможностей. В зависимости от типа механического устройства, оно обладает разным количеством механических степеней свободы, точностью и быстродействием. В данной работе рассматривается устройство дельта-автоматизированного устройства и его функционал. Приведен обзор некоторых рабочих узлов и цикл сборки.

дельта-робот, Arduino Uno, теория машин и механизмов

Дельта-робот [1] – вид параллельного робота, состоящий из трех рычагов, прикрепленных посредством шарниров к основанию (рис. 1).

Ключевой особенностью является использование параллелограммов в конструкции манипулятора, что позволяет сохранять пространственную ориентацию исполнительного устройства робота.

Дельта-роботы используются в сортировке, в медицинской и фармацевтической промышленности, а также для работы в чистых помещениях с электронными компонентами. Они особенно популярны на линиях упаковки, поскольку они достаточно быстры, некоторые осуществляют до 300 захватов в минуту, благодаря своей необычной конструкции, в которой тяжелые моторы выносятся на верхнее неподвижное основание и через систему рычагов меняют положение нижнего основания, к которому крепится рабочий инструмент. Однако такая конструкция приводит к тому что дельта-роботы не очень пригодны для оперирования тяжелыми объектами так как нагрузка на моторы будет больше.

Для реализации и отработки принципов работы дельта-робота была разработана и собрана следующая конструкция:

- в качестве моторов были взяты шаговые моторы Nema17 103-546-5342, которые были размещены в специально распечатанных для них пластиковых корпусах и держатся на П-образном металлическом профиле;

- поскольку мотор обладает небольшим крутящим моментом, которого явно не хватит, для того чтобы оперировать рычагом робота, к нему

через муфту прикреплена шпилька с резьбой М8, по которой катается гайка с просверленными по бокам отверстиями диаметром 5 миллиметров, в которых нарезана резьба для болта М5 [2];

– на вкрученных и законтрогаенных винтах М5 закреплены ромбообразные пластиковые части, в которых держатся пластиковые ролики;

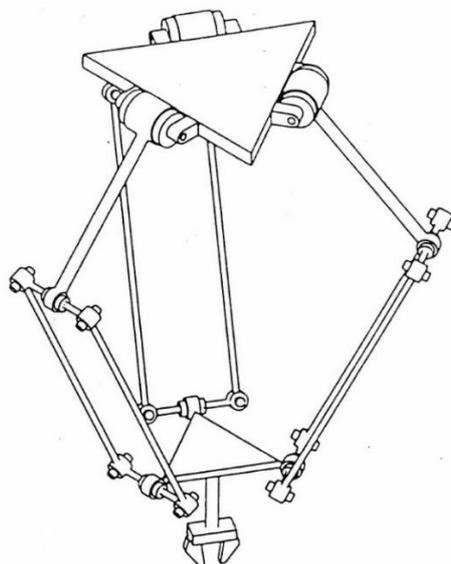


Рис.1. Типовое представление дельта-автоматизированного механизма

– 2 больших ролика держат конструкцию на весу и являются опорными, а маленький снизу является подтягивающим и заставляет конструкцию данной каретки прижиматься к профилю, в котором она перемещается;

– болт, на котором держатся маленькие ролики является еще и несущим, так как за него через переходные отрезки профиля держатся рычаги дельта-автоматизированного механизма. Таким образом эта конструкция преобразует вращательное движение вала мотора в поступательное движение каретки, которое затем преобразуется в изменение угла между верхним основанием и рычагом механизма (рис. 2). Для возможности робота определять текущие координаты кареток (дабы не повредить самого себя при работе, а также точно выставлять углы при возвращении в домашнюю позицию), возле моторов установлены концевые выключатели;

– таких конструкций, состоящих из мотора, каретки, концевых выключателей и червячно-винтовой передачи в роботе 3. Все они закреплены на пластиковой круглой детали, которая дополнительно усилена металлической, которая одновременно является еще и точкой крепления робота к несущей точке выше него. В данном случае там прикреплен болт М5 за который робот и подвешивается;

– в качестве управляющей электроники используется плата Arduino Uno с подключенными к ней драйверами А4988;

– у нижнего основания сделаны специальные металлические Г-образные переходники, за которые через винты М6 держатся рычаги механизма. Винты подобраны таким образом, чтобы пластмассовая деталь держалась за его плоскую часть, а не за резьбу, таким образом, пластик не будет стираться во время эксплуатации [3].



Рис. 2. Фото конструкции каретки

Вместо шаровых подшипников используются самодельные печатные конструкции, в которых к рычагу через винт крепится П-образная деталь, в которую через другой винт вставляется еще одна деталь, являющаяся крепежом для трубки. На другом конце трубки сделана точно такая же конструкция из крепежа трубки и П-образной детали, за которую держится нижнее основание [4].

В целях демонстрации к нижнему основанию прикреплен захват, который может благодаря сервоприводу поворачиваться на 180° .

При включении, робот выставляет себя в так называемую «домашнюю позицию», когда все 3 каретки находятся на небольшом отдалении от концевых выключателей. Затем робот переходит к ожиданию следующей команды. Команд всего 7: help, go home, go to, calc to, grab, release, rotate.

1. Команда «help» выводит краткую информацию про робота и использование команд.

2. Команда «go home» заставляет робота принудительно из любой позиции вернуться в домашнюю.

3. Команда «go to» принимает на вход координаты X, Y и Z, на которые должно отправиться нижнее основание с рабочим органом, производит вычисление углов и управляет моторами, выставляя вычисленные углы.

4. Команда «calc to» решает прямую задачу кинематики и выводит координаты, на которые сместится рабочий орган при установке данных углов.

5. Команда «grab» управляет захватом, заставляя робота схватить объект;

6. Команда «release» тоже управляет захватом, заставляя робота отпустить объект.

7. Команда «rotate» принимает на вход угол, на который повернется захват.

Условные обозначения на устройстве [5] и в коде представлены следующим образом (рис. 3):

```
const float e = 147.22432; // сторона подвижной платформы
const float f = 147.22432; // сторона неподвижного основания
const float re = 400.0;    // длина первого плеча рычага
const float rf = 400.0;    // длина второго плеча рычага
```

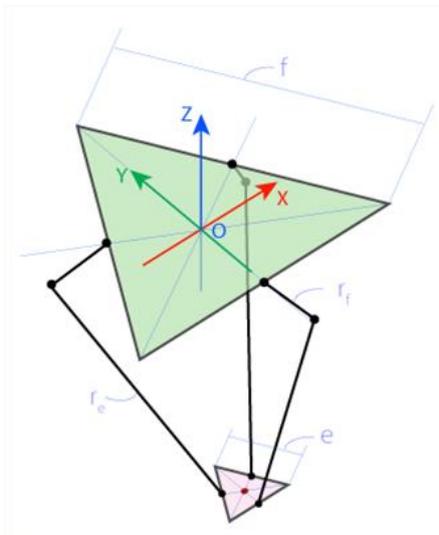


Рис.3. Условные обозначения

Фотография конечного устройства представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Полученное устройство

Из недостатков полученного робота можно выделить его медлительность. Это связано с использованием винтовой передачи, а также с сильным уменьшением реальной рабочей зоны из-за особенностей конструкции. Используемые редукторы при выбранном способе установки не позволяют поднять рычаги выше себя или хотя бы выставить их параллельно плоскости верхнего основания. Если моделировать рабочую зону без учета этого ограничения, то она будет представлять из себя цилиндр высотой 400 миллиметров и такого же диаметра. В описанном прототипе рабочая зона представляет из себя цилиндр высотой 330 миллиметров и диаметром 120 миллиметров.

Список используемых источников

1. @multiengineer. Заметки о дельта-роботе. Часть 3. Рабочая зона. Выбор длин звеньев // URL: <https://habr.com/ru/articles/583190/> (дата обращения: 29.03.2024).
2. Завацкий М., @mzavatsky. Кинематика дельта-робота // URL: <https://habr.com/ru/articles/390281/> (дата обращения: 29.03.2024).
3. Zsombor-Murray P. J. Descriptive Geometric Kinematic Analysis of Clavel's "Delta" Robot // URL: <http://www.cim.mcgill.ca/%7Epaul/clavdelt.pdf> (дата обращения: 29.03.2024).
4. Шалюхин К. А. Построение и анализ пространственных механизмов параллельной структуры с кинематической развязкой: дис. канд. техн. наук: 05.02.18 // Шалюхин Константин Андреевич, М., 2018. 108 с.
5. Закиров Р. И., Алиев М. И., Морозов А. И. Определение кинематических характеристик дельта-робота по заданным параметрам рабочей области // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kinematicheskikh-harakteristik-delta-robota-po-zadannym-parametram-rabochey-oblasti/viewer> (дата обращения: 29.03.2024).

УДК 621.396
ГРНТИ 43.33.29

ВЫБОР МАРШРУТА РАЗГРУЗКИ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

А. Г. Владыко, П. В. Плотников, Р. В. Суравцев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В последние годы стремительно растет важность концепции современных интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Исследования в этой области активно разрабатывают подходы к улучшению производительности и оценке эффективности в ИТС. В процессе интеграции новых подходов в ИТС уделяется особое внимание оптимизации передачи данных между граничными устройствами транспортной системы. Однако, загруженность транспортного потока, высокая подвижность транспортных средств и недоступность придорожных вычислительных устройств может привести к различным трудностям. В данной статье рассматривается подход к оптимизации разгрузки с целью улучшения эффективности функционирования ИТС. Особое внимание уделено подходам для минимизации повторных подключений в связи с высокой подвижностью транспортных средств, успешной разгрузки данных, сокращению времени простоя, а также эффективному выбору граничных устройств для разгрузки задач с целью уменьшения задержки. Проводится оценка подходов по следующим ключевым параметрам: скорость работы и эффективность системы.

V2X системы, RSU, туманный узел, store-carry-and-forward, TCD-V, k-hop, VANET, разгрузка данных

В последние годы наблюдается значительный рост числа транспортных средств (ТС), что приводит к увеличению мобильного трафика, включающего в себя передачу видео, сообщений и других информационных пакетов. В этой связи внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) может стать перспективным решением, способным не только снизить нагрузку на сеть, но и минимизировать количество аварий на дорогах, оптимизировать транспортный поток и повысить общую безопасность движения. Однако, в ИТС достаточно часто возникают проблемы, связанные с высокой мобильностью ТС, ограниченной зоны покрытия связи и неэффективным использованием ресурсов [1]. Одним из решений этих проблем, в контексте ИТС, может стать технология vehicle-to-everything (V2X). V2X [2] представляет собой комплекс технологий, обеспечивающий коммуникацию между транспортными средствами и остальными элементами инфраструктуры, в том числе включает в себя такие взаимодействия как:

- «ТС-ТС» (*Vehicle-to-Vehicle, V2V*);
- «ТС-инфраструктура» (*Vehicle-to-Infrastructure, V2I*).

Основными базовыми узлами V2X, обеспечивающими разгрузку данных, являются OBU (*on-board unit*, OBU), установленные на ТС, RSU (*road-side unit*, RSU), размещенные вдоль дорог, и каналы связи.

Основные коммуникации в системе V2X происходят по следующим каналам связи:

- радиосвязь ближнего действия (*Dedicated Short Range Communications*, DSRC) или Wi-Fi, которые обеспечивают надежное соединение между элементами инфраструктуры на коротких расстояниях;

- сотовая связь;

- мобильный граничный вычислитель (*Mobile Edge Computing*, MEC). Технология, которая позволяет выполнять вычисления и обрабатывать данные на границе сети.

В V2X ставятся задачи выбора оптимального пути для разгрузки данных, минимизации задержек и равномерного распределения нагрузки на граничные устройства. В данной статье проводится сравнительный анализ различных методов разгрузки данных в системах V2X.

1. Подходы к разгрузке данных

Разгрузка данных – это перенаправление трафика с сотовой сети на другие сети с целью увеличения пропускной способности передачи данных. Неэффективность решения при выборе маршрута может отрицательно сказаться на процедуре совместного управления по ряду причин: высокая мобильность транспортного потока, большой объем передаваемых данных, потеря пакетов сообщений вне зоны покрытия связи.

Одним из решений данных проблем может быть использование алгоритмов оптимизации систем V2X [3, 4], которые позволяют минимизировать задержки при вычислениях и сократить количество элементов инфраструктуры. Однако эти алгоритмы не учитывают загруженность сети и доступность каналов связи при выборе маршрута разгрузки данных.

Дополнительно стоит отметить проблему совместного использования технологий V2V и V2I. Она связана с ограниченной зоной покрытия, высокими затратами и сетевыми ограничениями.

В рамках данной статьи будут изучены и сопоставлены различные подходы к выбору маршрутов для разгрузки: *store-carry-and-forward*, TCD-V, *k-hop*. Эффективность оценивалась по соотношению достоинств и недостатков в отношении следующих ключевых критериев: эффективность функционирования, быстрдействие и область применения.

1.1. Технология *store-carry-and-forward*

Store-carry-and-forward (SCF) – это технология передачи данных в сетях, при которой ТС, выполняющее роль узла, временно хранит полученные данные, затем передает их на следующий узел для дальнейшей передачи в

зону покрытия связи. В контексте V2X, SCF [5] позволяет хранить данные, полученные от дорожной инфраструктуры (V2I) или других транспортных средств (V2V), и передавать их на большие расстояния, уменьшая тем самым объем данных, передаваемых по сети. Этот процесс может способствовать снижению перегрузок и улучшению общей производительности сети.

Технология store-carry-and-forward подходит для оптимизации выбора граничных устройств для задач передачи данных.

1. Благодаря возможности временного хранения данных в узлах сети, SCF позволяет гибко управлять выбором граничных устройств для передачи информации. Устройства могут сохранять данные с целью последующей передачи элементам сети.

2. SCF способствует оптимизации процесса выбора граничных устройств путем использования доступных беспроводных каналов связи.

Несмотря на достоинства, данная технология имеет ряд недостатков:

1. Увеличение количества узлов может кратно увеличить нагрузку на сеть, что повлечет снижение эффективности работы системы;

2. Снижение эффективности в условиях высокой загруженности сети или ограниченных ресурсов, что может отразиться на скорости работы.

1.2. Технология TCV-D

TCV-D направлена на минимизацию времени задержки выполнений задач, оптимизирует использование ресурсов путем эффективного выбора оптимального маршрута для разгрузки данных. Метод направлен на быструю и надежную передачу информации.

Структура состоит из двух основных компонент: RSU и транспортные средства. Отдельно выделяют ТС-ретрансляторы («туманные» узлы). Установка RSU выполняется на равных расстояниях друг от друга. Разгрузка задач происходит в два этапа: ТС отправляет задачи на RSU или ретранслятор и получает результат от них.

ТС регулярно передает информацию о своем состоянии: координаты, среднее значение скорости, последнее значение скорости, направление и список соседних транспортных средств в пределах зоны покрытия связи.

TCV-D использует различные режимы для выбора маршрута разгрузки задач:

– прямой режим. Если доступен RSU, задача передается непосредственно на это устройство для быстрой обработки;

– режим RSU. В случае отсутствия RSU в списке, выбирается доступный RSU в радиусе действия для оптимальной разгрузки данных;

– режим туманного узла. Если RSU недоступен, ищется туманный узел, в виде транспортного средства, для передачи задачи;

– режим поиска. Когда ни RSU, ни ретранслятор не доступны, использование режима поиска позволяет передать задачу другому транспортному средству, обеспечивающему быструю обработку.

Таким образом, используется децентрализованный подход. Можно отметить гибкость метода в различных сценариях на дороге даже когда нет свободного RSU или «туманного» узла, что положительно может сказаться на сохранении информации.

Недостатком рассматриваемого подхода является необходимость увеличения затрат на инфраструктуру, так как требуется установка дополнительного оборудования для сбора и обработки данных о транспортном потоке.

1.3. Технология k-hop

k-hop [6] – это метод разгрузки данных в V2X-сетях, основанный на концепции сетевого расстояния. Расстояние в k-hop от одного узла, т.е. ТС, к другому узлу представляет собой минимальное количество скачков (соединений), пройденных для достижения этого узла.

Существует множество подходов для k-hop. В рамках данного исследования будут разобраны два основных метода разгрузки данных:

1. Фиксированный переход. В данном сценарии заранее определяется фиксированное значение k (например, $k = 3$). Затем данные выгружаются из начального узла и всех его соседних узлов в пределах расстояния k.

2. Динамический переход. Этот подход позволяет k меняться на основе заранее определенных критериев. Можно отметить, что выгрузка происходит до тех пор, пока не будут переданы необходимые данные.

В данной статье акцент будет предложен комплексному подходу PUPS (*Predicted Utility-centric Path Switching*, PUPS).

Можно выделить следующие этапы разгрузки данных:

1. Транспортные средства периодически передают пакеты, содержащие информацию о скорости, местоположении и направлении движения;

2. Транспортные средства предоставляют отчеты ближайшему серверу MEC с контроллером SDN (Software Defined Networks);

3. SDN обеспечивает PUPS, как системе прогнозирования полезности пути, данными о V2V-соединениях, на основе которых PUPS прокладывает маршрут, минимизирующий время передачи данных;

4. Сервер MEC выбирает наилучший PUPS на основе критериев. MEC уведомляет транспортные средства, участвующие в выбранном маршруте;

5. Назначенные транспортные средства по маршруту k-скачков передают пакеты данных по одному переходу за раз, пока не достигнут места назначения.

PUPS представляет собой сложный подход, но потенциально более эффективный подход к разгрузке данных. Он использует ресурсы MEC для оптимального выбора маршрута и полагается на связь V2V.

2. Оценка эффективности подходов к разгрузке данных

Разгрузка данных в ИТС является одной из важнейших задач при организации работы ИТС. Был проведен анализ и сопоставление технологии store-carry-and-forward, метода TCV-D и подхода k-hop по следующим ключевым параметрам: эффективность, скорость работы и доступность. В таблице 1 приведен сравнительный анализ методов. Было выявлено, что подход k-hop является более эффективными, чем подходы store-carry-and-forward и TCV-D в целом. Также k-hop обеспечивает максимальную скорость разгрузки, точный выбор маршрута и высокую точность в динамических условиях ИТС. Однако k-hop может потребовать более сложной реализации и ресурсов по сравнению с другими методами. Подход TCV-D обеспечивает более быструю и эффективную разгрузку данных, используя меньшее количество задействованных ресурсов по сравнению с store-carry-and-forward. Store-carry-and-forward является самым доступным методом, но он обладает низкой скоростью работы и эффективностью.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов по ключевым параметрам

Подходы к разгрузке данных	Скорость работы	Эффективность системы	Доступность
Store-carry-and-forward	-	±	+
k-hop	+	+	-
TCV-D	±	+	-

Оптимизация разгрузки данных является важной задачей в ИТС, позволяющая снизить задержки данных, повысить пропускную способность инфраструктуры и, следовательно, сократить затраты и улучшить общую эффективность системы.

Выбор подхода к разгрузке данных должен учитывать не только эффективность и скорость решения, также и доступность инфраструктуры, бюджет и динамику транспортной сети.

Список используемых источников

1. Плотников П. В., Владыко А. Г. Численный анализ математической модели кластерной V2X-системы // Труды учебных заведений связи, 2023. Т. 9. № 1. С. 14–23.
2. Суравцев Р. В. Аналитический обзор подходов к построению моделей V2X-систем // Вестник СПбГУТ, 2023. Т. 1. № 1. С. 3.
3. Vladyko A.; Tambovtsev G.; Podgornaya E.; Chelloug S.A.; Alkanhel R.; Plotnikov P. Cluster-Based Vehicle-to-Everything Model with a Shared Cache // Mathematics, 2023. Vol. 11. P. 3017.
4. Feng M., Yao H., Ungurean I. A Roadside Unit Deployment Optimization Algorithm for Vehicles Serving as Obstacles // Mathematics, 2022. Vol. 10. P. 3282.
5. Ni Y., He J., Cai L., Bo Y. Data Uploading in Hybrid V2V/V2I Vehicular Networks: Modeling and Cooperative Strategy // IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018. Vol. 67. Iss. 5. PP. 4602–4614.
6. Huang C. M., Lin J. J. The k-hop V2V data offloading using the predicted utility-centric path switching (PUPS) method based on the SDN-controller inside the multi-access edge computing (MEC) architecture // Vehicular Communications, 2022. Vol. 36. PP. 2214–2096.

УДК 621.396
ГРНТИ 49.33.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРУЗКИ В СЕТИ V2X

А. Г. Владыко, П. В. Плотников, Г. И. Тамбовцев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Использование мобильных вычислительных устройств в беспроводных самоорганизующихся сетях автомобилей VANETs предоставляет возможность решения проблем, связанных с избыточной установкой и простоем стационарных придорожных вычислительных устройств. Эти проблемы обусловлены неравномерной плотностью распределения трафика на различных участках дороги. В данной статье рассматривается обновление программного модуля для построения модели VANET, предназначенного для численного моделирования и анализа эффективности взаимодействия элементов, включая mRSU и RSU, как в отдельности, так и совместно. Результаты моделирования подвергаются анализу с целью оптимизации работы транспортной сети по заданным критериям.

сети VANET, V2X-системы, численное моделирование, mobile RSU

Системы транспортного обмена данными (Vehicle-to-Everything, V2X) занимают центральное место в обеспечении безопасности и эффективности дорожного движения. Важным аспектом функционирования таких систем является обеспечение надежного взаимодействия между устройствами On Board Unit (OBU), установленными на транспортных средствах, и устройствами Road Side Unit (RSU), размещенными вдоль дорог. В предыдущих исследованиях авторов [1] подробно рассматривалось использование кластеров для повышения эффективности работы системы. Эффективность системы определяется уменьшением количества потерь, которые включают в себя необработанные запросы от OBU к RSU. Применение кластеризации в сочетании с использованием современного стандарта IEEE 802.11bd, который позволяет осуществлять два параллельных соединения, способствует сокращению уровня потерь, однако приводит к повышенному энергопотреблению [2].

В данном исследовании предлагается рассмотреть возможности обработки запросов от OBU к RSU и проанализировать влияние мобильных RSU (mRSU) на эффективность системы. Применение mRSU было обусловлено необходимостью сокращения количества стационарных RSU в связи с их высокой стоимостью размещения. Кроме того, mRSU могут быть вызваны по требованию в определенную локацию, тем самым балансируя возросшую

нагрузку, в отличие от стационарных RSU, которые, в случае установки на непопулярных путях, могут простаивать.

Для моделирования процесса взаимодействия между OBU и RSU мы предполагаем использование Манхэттенской модели мобильности, как показано на рисунке 1.

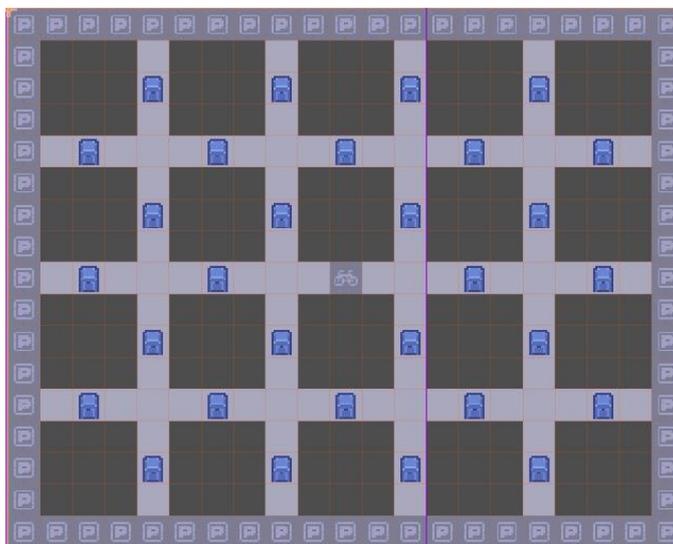


Рис. 1. Карта моделирования городской среды

Система состоит из RSU, размещенных на середине отрезков между перекрестками, OBU и mRSU, динамически меняющих свое положение в системе.

В разработанном авторами программном обеспечении [3] используется игровой движок Godot [4] для моделирования и язык программирования Python для обработки полученных данных. Из соображений удобства в построении моделировании с нуля и последующей визуализации в реальном времени, было решено вести разработку с использованием игровых движков. В свою очередь, среди игровых движков, был выбран Godot за его легковесность при конечном компилировании программы, и, что немаловажно, за открытость исходного кода. Открытый исходный код позволяет разработчикам иметь полный контроль над программным обеспечением и вносить необходимые изменения в движок согласно своим потребностям. Это дает возможность настраивать функциональность и оптимизировать производительность под конкретные задачи моделирования.

Рассматривая программу для моделирования, отмечается возможность самостоятельно строить карту моделирования, расставляя объекты. В качестве примера, карта моделирования продемонстрирована на рисунке 1. Объекты системы (рис. 2): RSU, проезжая часть – дорога, точка появления автомобилей, пункт назначения – финальная точка автомобиля.



Рис. 2. Объекты системы

Перед моделированием можно задать различные конфигурационные параметры: количество машин (OBU) в системе, средняя скорость, среднее отклонение по скорости, радиус покрытия RSU и другие. Интерфейс программы приведен на рисунке 3. В левой части программы – таблица управления параметрами, в правой части программы – моделирование карты.

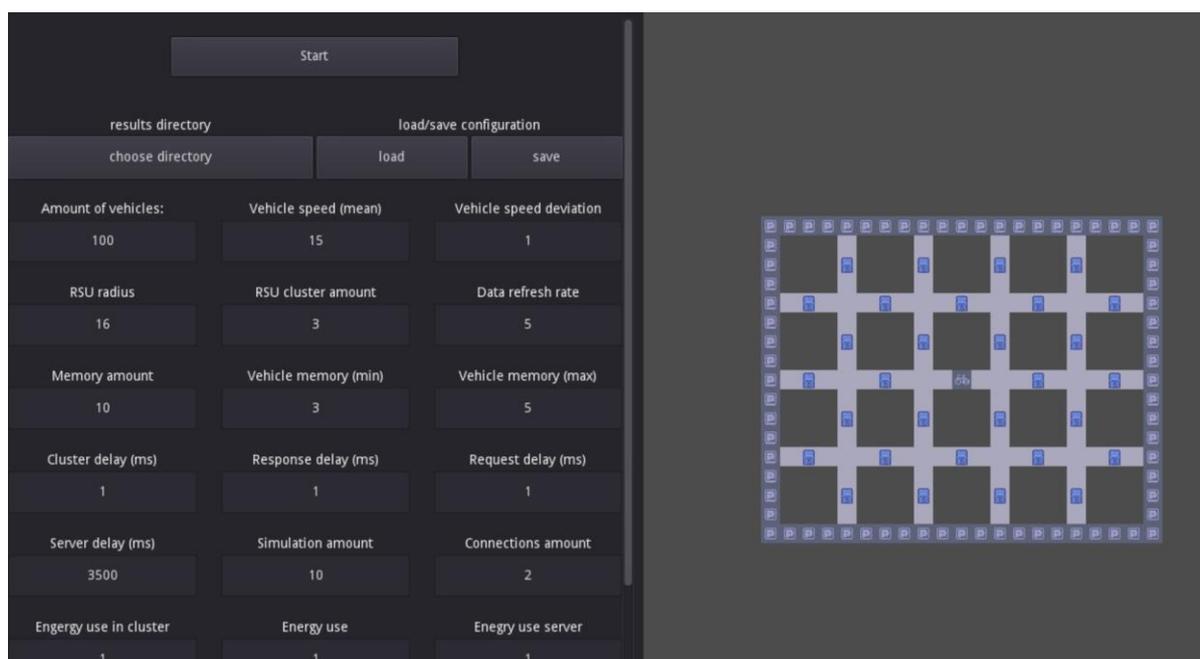


Рис. 3. Интерфейс программы моделирования

Выбирая значение большее нуля, параметра «Vehicle RSU», в систему будут добавлены mRSU, которые также, как и OBU, создаются в случайной точке смоделированной карты, после чего движутся к случайной «финальной точке». В отличие от OBU, доезжая до «финальной точки», mRSU выбирает следующую финальную точку случайным образом и движется к ней. При выборе случайных значений используется нормальное распределение (распределение Гаусса). При моделировании можно указать количество соединений между OBU и RSU/mRSU. Указав одно соединение, будет выполнено соединение в соответствии со стандартом IEEE 802.11p, указав два соединения – со стандартом IEEE 802.11bd [5].

В результате моделирования с использованием авторского программного обеспечения были получены результаты, представленные на рисунке 4.

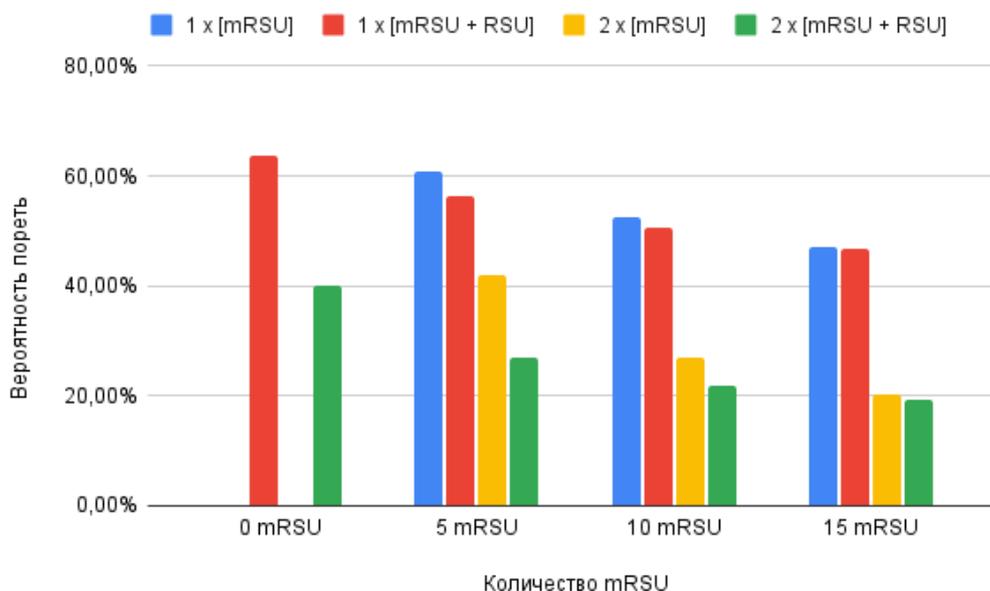


Рис. 4. Результаты моделирования

Исходя из результатов моделирования, можно сделать вывод о том, что использование исключительно мобильных RSU не только позволяет уменьшить количество стационарных RSU в системе, при этом имеет допустимую вероятность потерь в сравнении с использованием только стационарных, не объединенных в кластер, RSU: выигрыш от использования комбинированного подхода (mRSU и RSU) минимален. Использование современного стандарта (IEEE 802.11bd) в значительной степени снижает потери в заданной системе.

В будущих исследованиях, будут проведены методы оптимизации расстановки RSU, совместно с использованием mRSU, применяя метод нагрева (heatmap) [6].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00304, <https://rscf.ru/project/24-29-00304/>.

Список используемых источников

1. Плотников П. В., Владыко А. Г. Минимизация задержек при взаимодействии граничных устройств с использованием кластеризации в сетях VANETs // Труды учебных заведений связи, 2022. Т. 8, № 2. С. 6–13. DOI: 10.31854/1813-324x-2022-8-2-6-13.

2. Vladyko A.; Tambovtsev G.; Podgornaya E.; Chelloug S.иА.; Alkanhel R.; Plotnikov P. Cluster-Based Vehicle-to-Everything Model with a Shared Cache. Mathematics, 2023. Vol. 11. P. 3017.

3. Плотников П. В., Тамбовцев Г. И., Владыко А. Г. Программный модуль моделирования взаимодействия граничных устройств в сети VANET с одно- и двухканальным подключением. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023681939 Российская Федерация / П. В. Плотников, Г. И. Тамбовцев, А. Г. Владыко;

заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» – № 2023680684; заявл. 06.10.2023; опубл. 19.10.2023. – 1 с.

4. Godot Engine: офиц. сайт. URL: <https://godotengine.org/> (дата обращения 26.03.2024).

5. IEEE, Std 802.11bd-2022. «IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Next Generation V2X». IEEE, 2022.

6. Gu Z. Complex heatmap visualization // Imeta. 2022. Vol. 1. №. 3. P. e43.

УДК 621.396
ГРНТИ 43.33.29

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ СЕРВЕРОВ

В. Войтенко, П. В. Плотников

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье приведено описание работы и применение математических моделей с целью повышения функциональности HTTP-серверов. К такому функционалу можно отнести: оптимизацию обработки запросов и передачи данных, обеспечение безопасности и повышение производительности. Исследование направлено на описание и реализацию основных математических концепции применяются в различных аспектах веб-серверов. Примеры включают в себя использование криптографии для шифрования данных, алгоритмы маршрутизации для эффективного управления запросами и оптимизацию производительности с использованием математических моделей.

HTTP-сервер, алгоритмы маршрутизации, TCP-соединения, сокет

HTTP (HyperText Transfer Protocol) протокол [1] – это протокол передачи гипертекста – сетевой стандарт, который с 90-х годов и по сегодняшний день обеспечивает загрузку веб-страниц в любом браузере.

Данный широко используемый протокол передачи данных, первоначально разрабатывался для передачи гипертекстовых документов, то есть документов, содержащих ссылки для перехода к другим документам. В модели OSI, HTTP является протоколом прикладного уровня.

HTTP основан на модели клиент-серверной передачи данных для всех операционных систем. Клиентское приложение отправляет запрос на сервер, который затем обрабатывает запрос и отправляет ответ обратно клиенту. После этого клиент может продолжить отправлять другие запросы, которые также будут обработаны сервером.

Основное назначение HTTP – обмен данными между веб-браузером (или другим пользовательским приложением) и веб-сервером. Именно благодаря HTTP функционирует современный интернет.

Приведем примерный алгоритм работы HTTP-протокола:

1. Пользователь/Клиент вводит в адресной строке веб-браузера URL требуемого сайта;
2. С помощью службы DNS веб-браузер ищет IP-адрес по этому URL;
3. Устанавливается TCP-соединение [2] между сервером и браузером, используя IP-адрес и порт (по умолчанию – это 80 порт), полученные из DNS. Это соединение является каналом связи между сервером и веб-браузером;

4. После успешного подключения отправляется HTTP-запрос от клиента к веб-серверу. Запрос содержит URL, заголовки, метод запроса и тело запроса;

5. Полученный запрос сервер обрабатывает, находит требуемый ресурс и отправляет HTTP-ответ;

6. Клиент получает ответ в виде информации на странице браузера.

Решение математических задач играет важную роль в работе HTTP-протокола. Среди них ключевую роль играют алгоритмы маршрутизации. Одними из самых важных подходов в рассматриваемой области знаний являются алгоритмы на графах.

Алгоритм Дейкстры предложен нидерландским ученым Эдсгером Дейкстрой в 1959 году. Он используется для определения кратчайшего пути от сервера до клиента.

При моделировании сеть, через которую проходят запросы к HTTP-серверу, представляется в виде взвешенного графа, где узлы – это маршрутизаторы или другие устройства сети, а ребра – соединения между ними с определенными задержками или стоимостями. HTTP-сервер является исходным узлом для алгоритма Дейкстры, являясь отправной точкой для поиска кратчайших путей к клиентам [3].

Реализация алгоритма Дейкстры выполняется для каждого запроса, поступающего на HTTP-сервер. Он использует информацию о текущей сетевой топологии и стоимости связей между узлами для определения кратчайшего пути от сервера до клиента.

После выполнения алгоритма Дейкстры для каждого запроса, HTTP-сервер определяет кратчайший путь к клиенту. Этот маршрут может быть использован для маршрутизации ответа на запрос обратно к клиенту через сеть. В некоторых случаях сетевая топология может изменяться из-за обрывов соединений или изменений стоимости путей. В таких случаях алгоритм Дейкстры может быть выполнен снова для обновления кратчайших путей и коррекции маршрутов.

Другим важным алгоритмом является алгоритм Беллмана-Форда [4], который позволяет HTTP-серверу эффективно определять оптимальные маршруты для передачи данных между сервером и клиентами через сеть, учитывая возможные отрицательные стоимости соединений или задержки.

Сеть, через которую проходят запросы к HTTP-серверу, моделируется как взвешенный ориентированный граф, где узлы представляют собой маршрутизаторы или другие устройства сети, а ребра представляют собой соединения между ними с заданными стоимостями или задержками.

HTTP-сервер является исходным узлом для алгоритма Беллмана-Форда. Он позиционирует себя как отправную точку для поиска кратчайших путей к клиентам.

Алгоритм Беллмана-Форда выполняется для каждого запроса, поступающего на HTTP-сервер. Он использует информацию о текущей сетевой топологии и стоимостях связей между узлами для определения кратчайших путей от сервера до клиента.

После выполнения алгоритма Беллмана-Форда для каждого запроса HTTP-сервер определяет кратчайший путь к клиенту. Этот маршрут может быть использован для маршрутизации ответа на запрос обратно к клиенту через сеть.

В случае изменений в сетевой топологии или стоимостях связей между узлами алгоритм Беллмана-Форда может быть выполнен снова для обновления кратчайших путей и коррекции маршрутов.

Немаловажным аспектом для организации работы HTTP-протокола является анализ производительности и последующей ее оптимизации с использованием математических моделей для кэширования, таких как LRU (Least Recently Used) [5], которая включает в себя следующие шаги:

1. Мониторинг использования ресурсов: HTTP-сервер отслеживает, какие данные чаще всего запрашиваются клиентами и какие ресурсы занимают больше всего времени на обработку.

2. Определение данных для кэширования: на основе данных о частоте запросов и времени доступа сервер определяет, какие данные целесообразно кэшировать для улучшения производительности. Это могут быть часто запрашиваемые файлы, изображения, CSS-стили и т. д.

3. Выбор модели кэширования: HTTP-сервер выбирает математическую модель кэширования, которая наилучшим образом соответствует его потребностям. LRU является одной из популярных моделей, которая основана на принципе вытеснения данных, которые дольше всего не запрашивались.

4. Реализация кэширования: HTTP-сервер использует выбранную модель для реализации кэширования данных. Для LRU это может включать в себя создание специальной структуры данных, которая отслеживает порядок использования данных и вытесняет наименее актуальные при необходимости.

5. Адаптация и оптимизация: в процессе работы сервер адаптируется к изменениям в запросах и трафике данных, оптимизируя стратегии кэширования и обновляя модели на основе новой информации.

Эффективное использование математических моделей для кэширования позволяет HTTP-серверам снизить нагрузку на ресурсы и ускорить обработку запросов клиентов, повышая производительность веб-приложений и сайтов.

Важно отметить, что защита личных данных должна быть предусмотрена при планировании и моделировании HTTP-сервера. SSL (Secure Sockets Layer) и его последующая итерация TLS (Transport Layer Security) [6] представляют собой протоколы шифрования, используемые для обеспечения безопасной передачи данных через интернет. Когда клиент (например, веб-браузер) и сервер вступают в контакт через HTTPS (HTTP с использованием SSL/TLS), происходит следующий процесс (Handshake-рукопожатие):

1. Клиент отправляет запрос на подключение к серверу. Сервер отвечает цифровым сертификатом, содержащим публичный ключ и некоторую информацию о сервере. Клиент проверяет сертификат. Это включает в себя проверку подлинности, целостности и валидности сертификата.

2. Если сертификат действителен, клиент генерирует сессионный ключ и использует открытый ключ сервера, чтобы зашифровать его, а затем отправляет его серверу. Сервер использует свой закрытый ключ для расшифровки сессионного ключа.

3. Установление защищенного канала. Теперь, когда у клиента и сервера есть общий секретный ключ, известный только им, они могут использовать его для шифрования и расшифрования данных, передаваемых между ними. Этот ключ используется для симметричного шифрования данных на этапе передачи.

4. Шифрование данных. После успешного рукопожатия и установления защищенного канала, все данные, передаваемые между клиентом и сервером, шифруются с использованием этого сессионного ключа. Это обеспечивает конфиденциальность и целостность данных, так, как только сервер и клиент могут расшифровать их с использованием общего секретного ключа.

5. Завершение соединения. По завершении обмена данными, либо по завершении сеанса, соединение закрывается.

Таким образом, SSL/TLS обеспечивает шифрование и аутентификацию для защиты конфиденциальности и целостности данных, передаваемых между клиентом и сервером по протоколу HTTPS на 443 порту.

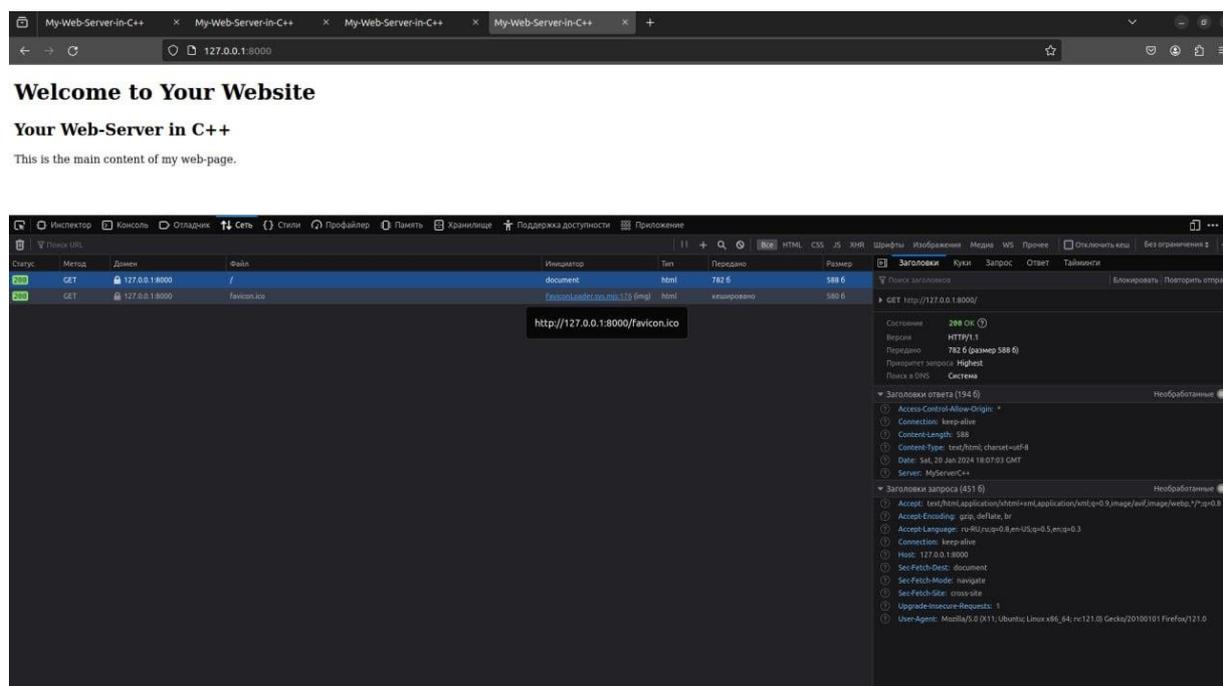


Рис. 1. Программная реализация

На основе вышеописанных подходов авторами была разработаны алгоритмы и реализован программный продукт (рис. 1). Программная реализация [7], размещенная на GitHub, была написана под операционную систему Linux, с на языках программирования C/C++. Для установки TCP-

соединения использовались сокеты Беркли, а также применялось их мультиплексирование ввода/вывода с помощью в Linux системного вызова `epoll`, временная сложность которой $O(1)$ при условии обработки большого количества сокетов.

Разработанный авторами программные средства отвечают всем требованиям к шифрованию, маршрутизации, оптимизации и позволяют решать основные задачи, стоящие перед программистами при разработке и реализации HTTP-серверов.

Список используемых источников

1. Gourley D., Totty B. HTTP: the definitive guide // O'Reilly Media, Inc., 2002.
2. Berners-Lee T., Fielding R., Masinter L. Uniform resource identifier (URI): Generic syntax. 2005. №. rfc3986.
3. Изотова Т. Ю. Обзор алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе // Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 2016. №. 19. С. 341–44.
4. Барыбин Д. А., Кофман Е. Ю., Шульгин М. С. Сравнение алгоритмов Дейкстры и Беллмана-Форда при решении задачи о поиске кратчайшего пути в протоколах маршрутизации // Символ науки, 2021. №. 6. С. 27–31.
5. Xiong W., Katzenbeisser S., Szefer J. Leaking information through cache LRU states in commercial processors and secure caches // IEEE Transactions on Computers, 2021. Т. 70. №. 4. С. 511–523.
6. Oppliger R. SSL and TLS: Theory and Practice. Artech House, 2023.
7. GitHub: URL: <https://github.com/Vladroon22/http-server>.

УДК 537.86.029
ГРНТИ 47.45.31

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЙ АТТЕНЮАТОР КУ-ДИАПАЗОНА

Р. С. Гуляев, Э. Ю. Седышев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Сегодня Ку-диапазон активно применяется для обеспечения работы спутникового телевидения и навигации, радиолокации и радиосвязи. Множество стран ведут вещание в данном частотном диапазоне. Из-за короткой длины волны прием сигналов Ку-диапазона возможен параболической антенной небольших размеров, диаметр которой может быть менее 1 метра. В данной работе рассматривается управляемое устройство аттенюации в виде интегральной вставки в волновод.

Ку-диапазон, волновод, электрически управляемый аттенюатор, объемная интегральная схема

В настоящее время широко применяются системы, работающие в Ку – диапазоне. Ку-диапазоном называется диапазон сантиметровых волн с длиной волны от 1,67 см до 3 см. На данный момент практически все частоты в диапазоне 10 – 18 ГГц заняты малыми спутниковыми станциями и телевещанием. Спутниковое вещание в Ку-диапазоне осуществляется главными российскими спутниковыми операторами, такими как ФГУП «Космическая связь» и АО «Газпром космические системы».

К способам управления усилением, получившим широкое распространение, относится введение в состав усилительных трактов сложных пассивных цепей, коэффициент передачи которых изменяется в заданных пределах в зависимости от условий приема информационного сигнала и особенностей его прохождения через усилительный тракт [1]. Такие цепи, называемые управляемыми аттенюаторами, выполняют в виде комбинации линейных резисторов и нелинейных элементов, сопротивление которых меняется под действием управляемого электрического, ручного или электромеханического воздействия. Аттенюатор, будучи включенным в приемно-усилительный тракт, дает возможность обеспечить требуемый характер управления коэффициентом усиления и уровнем выходного сигнала. Управляемый аттенюатор может быть отнесен к классу систем управления усилением. В зависимости от назначения аппаратуры, в состав которой входит приемно-усилительный тракт, и от условий ее работы управление параметрами элементов аттенюатора может быть механическим либо электрическим.

В работе рассматривается устройство управления мощностью Ку-диапазона. На входе и выходе схемы используются волноводы, так как система рассчитана на частоты более 10 ГГц. В качестве элемента управления предлагается рin-диод, управляемый электрическим сигналом.

В первой серии экспериментов было исследовано влияние штыревой конструкции на ослабление поля в прямоугольном волноводе [2]. Перекрытие волновода (установка управляющего элемента) может быть либо поперечным, либо продольным. Исследовалось поперечное перекрытие волновода.

Полосок с smd резистором (эквивалент рin диода (габариты совпадают)) устанавливался в волновод для исследования эффекта ослабления. Были взяты резисторы номиналами 10 Ом, 1,8 кОм и 3,2 кОм. В первых экспериментах волновод перекрывался резисторами как показано на рис.1.



Рис. 1. Сечение волновода

Начальный уровень сигнала приведен на рис. 2.



Рис. 2. Начальный уровень сигнала

Измерения проводились в диапазоне 12 – 18 ГГц. Результаты выходного сигнала приведены на рис. 3.

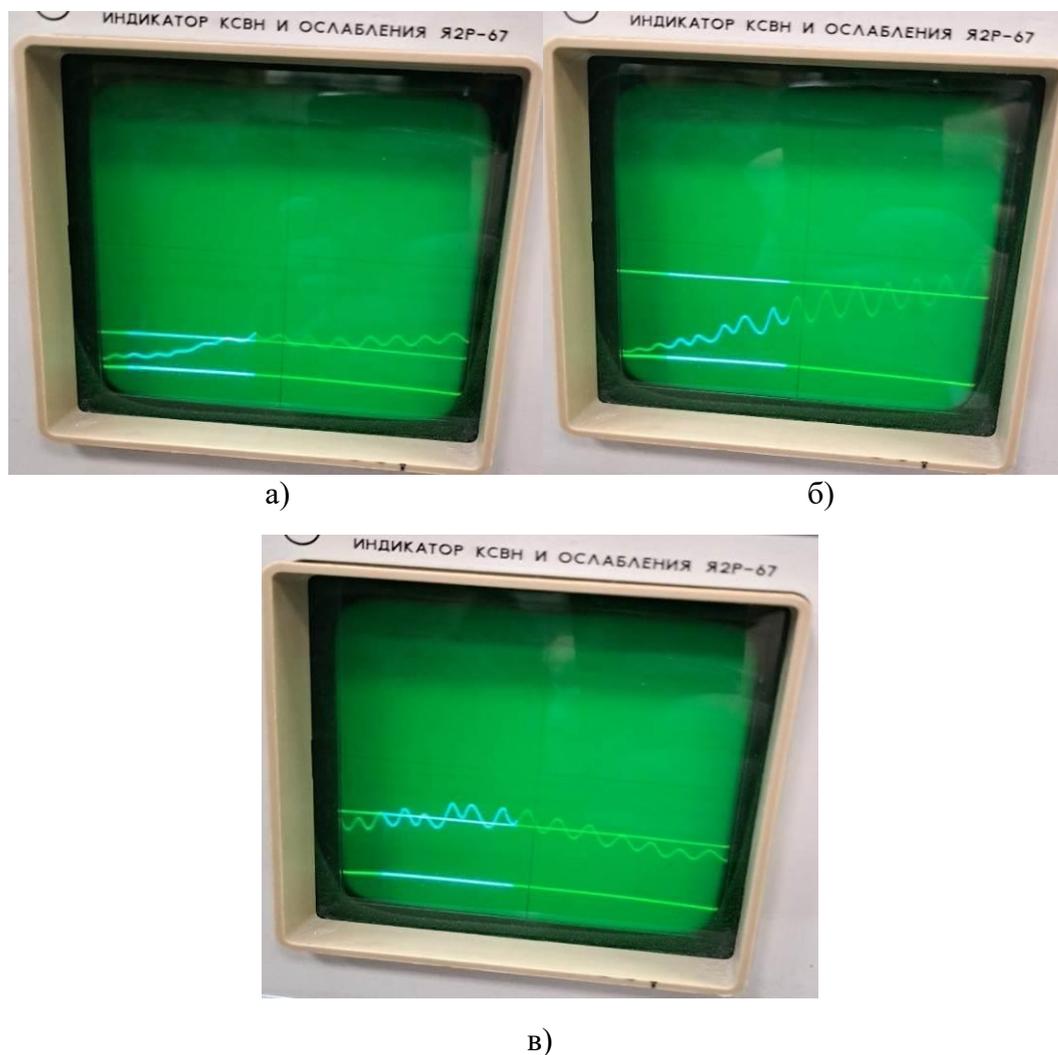


Рис. 3. Осциллограммы выходного сигнала для разного номинала сопротивления:
а) 3,2 кОм б) 1,8 кОм в) 10 Ом

Для сопротивления 3.2 кОм ослабление -6 дБ, для 1.8 кОм -2.3 дБ, для 10 Ом -3.8 дБ.

Штыревая структура не дала удовлетворительных результатов, поэтому было предложено следующее техническое решение (аналог продольной пластины поглотителя фиксированного аттенюатора) – погрузить продольно пластину в волновод. На данной пластине будет создана интегральная схема для электрического управления сигналом. На пластину будут установлены диоды, на которые подадим сигнал управления (будет регулироваться эквивалентная степень погружения поглотителя в волновод).

Вторая серия экспериментов позволила определить характеристики подложки погружаемой пластины (геометрия, толщина), чтобы при погружении в волновод наблюдалось наибольшее ослабление. От генератора подается бегущая волна H_{10} частотой около 12 ГГц на вход прямоугольного волновода, в котором была сделана продольная щель, не влияющая на структуру поля и ослабление, как показано на рис. 4. В данном эксперименте проводились измерения для трех различных толщин пластин: 1 мм, 2 мм, 4 мм. Ожидаемое ослабление для схемы планируется 15 дБ и ниже. Важным условием (стало очевидно при проведении эксперимента) является касание пластины краев щели в волноводе.

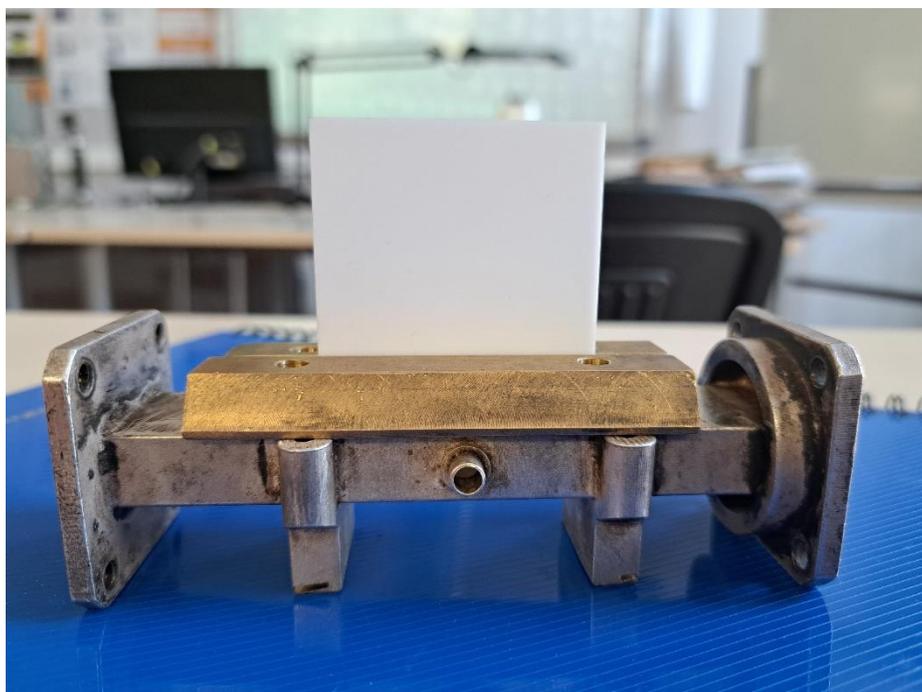


Рис. 4. Установка для исследования поля

Анализ таблицы 1 подтверждает, что самое большое ослабления уровня выходного сигнала (рис. 5) наблюдается у керамической пластинки толщиной 1 мм. Пластика 2 мм обладает недостаточным ослаблением сигнала (рис. 6). Наименьшим ослаблением обладает пластинка толщиной 4 мм (рис. 7).

ТАБЛИЦА 1. Значения ослабления сигнала для пластин различной толщины

Толщина, мм	Глубина погружения, мм	Ослабление сигнала, дБ
1	5	-15,81
2	5	-9,09
4	5	-7,91



Рис. 5. Ослабление сигнала для пластины толщиной 1 мм



Рис. 6. Ослабление сигнала для пластины толщиной 2 мм



Рис. 7. Ослабление сигнала для пластины толщиной 4 мм

Исследование погружаемой пластины в волновод на наш взгляд намного перспективнее, чем интегрированная диафрагма. Погружаемая пластина дает ослабление порядка 15 дБ, создав интегральную схему, которая будет находиться на этой пластине и взаимодействовать с волной, падающей на нее прямо в волноводе, можно управлять ослаблением. На данном этапе работы произведен выбор геометрии пластины и ее крепления в волноводе.

Список используемых источников:

1. Крылов Г. М., Хоняк Е. И., Тыныныка А. Н. и др. М.: Радио и связь Управляемые аттенуаторы, 1985, 120 с.
2. Вабищевич Д. А. Влияние параметров рin-диода на излучение щели в волноводе // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2020); сб. лучших докладов. СПбГУТ, 5 – 7 декабря 2020 г., с. 46.

УДК 621.38
ГРНТИ 55.30.31.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МАНИПУЛЯТОРА

А. С. Дворников, А. Д. Степичев

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Работа посвящена аналитическому представлению математической модели механической части манипулятора. Математическая модель манипулятора, выполняющего как линейные, так и угловые перемещения и работающего в цилиндрической системе, включает в себя решение задачи компенсации центробежной силы и силы Кориолиса. Рассматриваются инерционные нагрузки роторов электродвигателей, а также преобразования через обобщенные координаты и кинематическую энергию звеньев, выполняющих угловые и вертикальные перемещения.

манипулятор, математическая модель, цилиндрическая система координат, сила Кориолиса, центробежная сила, управление электроприводом

Манипуляторы – сложные электромеханические преобразователи, которые обладают рядом отличительных характеристик. К этим характеристикам можно отнести сложную структуру. Сложность структуры обусловлена наличием большого количества звеньев. Звенья бывают как независимые, так и взаимосвязанные [1]. При движении взаимосвязанных звеньев изменяются физические силы, которые действуют на промышленный манипулятор. Так же есть еще одна сложность, заключающаяся в необходимости параллельного управления несколькими электроприводами. В связи с наличием указанных особенностей, четко обозначены направления совершенствования в науке – система управления, которая отвечает за преобразование электрической энергии в механическую. Система управления является составляющей одной общей системы, которая включает в себя две взаимосвязанные части, а именно – силовую часть и информационный канал [2]. Научная актуальность работы определяется разработкой алгоритма управления электроприводом взаимосвязанных звеньев манипулятора с использованием компьютерного моделирования.

Составим уравнения движения механической части манипулятора, работающего в цилиндрической системе координат.

Кинетическая энергия всей механической части манипулятора:

$$W_K = \frac{m_1 \cdot (\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2 + \dot{q}_3^2)}{2} + \frac{m_2 \cdot (\dot{q}_2^2 + \dot{q}_3^2)}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{q}_3^2}{2} + \frac{m_1 \cdot (\dot{q}_1)^2}{2} + \frac{m_2 \cdot (\dot{q}_2)^2}{2} + \frac{m_3 \cdot (\dot{q}_3)^2}{2} \quad (1)$$

Потенциальная энергия манипулятора имеет вид:

$$W_{\Pi} = \frac{c_1 \cdot (q_1 - q_1)^2}{2} + \frac{c_2 \cdot (q_2 - q_2)^2}{2} + \frac{c_3 \cdot (q_3 - q_3)^2}{2} + m_1 g q_1, \quad (2)$$

где, m_1 – масса механизма подъема с грузом, m_2 – масса механизма поперечного перемещения, m_3 – масса механизма продольного перемещения, $\dot{q}_1 - \dot{q}_3$ – обобщенные координаты выходных валов электродвигателей, $q_1 - q_3$ – обобщенные координаты исполнительной системы, g – ускорение свободного падения, $m_1 - m_3$ – моменты инерции электродвигателей, $c_1 - c_3$ – упругость передач координат подъема, поперечного и продольного перемещения.

Выполнив необходимые преобразования в соответствии с оператором Лагранжа, получим уравнения движения для механической части манипулятора:

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}_1 \cdot \ddot{q}_1 = Q_1 - c_1 \cdot (\dot{q}_1 - q_1) \\ \dot{m}_2 \cdot \ddot{q}_2 = Q_2 - c_2 \cdot (\dot{q}_2 - q_2) \\ m_1 g (m_1 + m_2) \cdot \dot{q}_2 = c_2 \cdot (q_2 - q_2) \\ m_3 \cdot \ddot{q}_3 = Q_3 - c_3 \cdot (\dot{q}_3 - q_3) \\ (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \dot{q}_3 = c_3 \cdot (q_3 - q_3) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Структурные схемы, составленные по данным уравнениям представленные на рис. 1, показывают, что между ними отсутствует динамическое взаимодействие, поэтому движение по каждой координате может рассматриваться отдельно. Однако следует учитывать, что каждая последующая степень подвижности увеличивает инерционные нагрузки предыдущих [3]. Входным воздействием являются моменты $Q_1 - Q_3$, а выходными координатами – обобщенные координаты исполнительной системы q_1 .

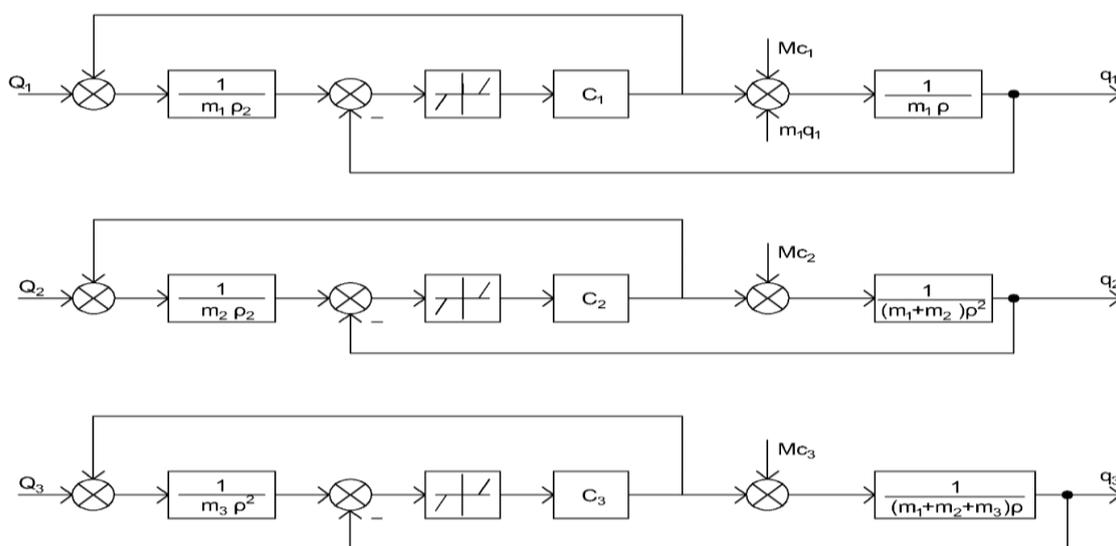


Рис. 1. Структурные схемы звеньев манипулятора

Аналитическое представление математической модели механической части манипулятора, выполняющего как линейные, так и угловые перемещения (3).

Преобразования через обобщенные координаты и кинематическую энергию первого звена, выполняющего угловые перемещения (вращение) будут выглядеть, как:

$$W_{K1} = J_1 \frac{\dot{q}_1^2}{2} \quad (4)$$

Кинетическая энергия второго звена, выполняющего вертикальные перемещения (подъем и опускание):

$$W_{K2} = \frac{m_2 \cdot \dot{q}_2^2}{2} + J_2 \frac{\dot{q}_1^2}{2}. \quad (5)$$

Для того чтобы найти кинетическую энергию третьего звена, которое выполняет выдвигание руки манипулятора, требуются данные угловой скорости, а также скорости перемещения центра масс v_3 . Координаты центра масс S-звена записываются в матричной форме:

$$r_3^3 = \|0 \ 0 \ 0 \ 1\|. \quad (6)$$

Определим координаты и скорость центра масс S-звена:

$$\begin{aligned} r_3 = & \| \cos \cos q_1 \quad -\sin \sin q_1 \quad 0 \ 0 \quad \sin \sin q_1 \\ & \cos \cos q_1 \quad 0 \ 0 \quad 0 \ 0 \ 1 \quad \|x\| \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 0 \ 1 \ 0 \quad 0 \ 0 \ r_z \ 1 \\ & \|x\| \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad 0 \ 0 \ 1 \ 0 \quad r_x \ 0 \ 0 \ 1 \quad \|x\| \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \| \\ & = \|r_x \quad -r_x \quad \cos \cos q_1 \quad \sin \sin q_1 \quad r_z \ 1 \quad \| \end{aligned} \quad (7)$$

Введем переменные $v_x = \dot{r}_x$, $v_z = \dot{r}_z$.

Тогда:

$$v_3 = \|v_x \cos \cos q_1 \quad -v_x \sin \sin q_1 \quad v_z \ 0 \quad -r_x \sin \sin q_1 \dot{q}_1 \quad -r_x \cos \cos q_1 \dot{q}_1 \quad \| \quad (8)$$

Квадрат скорости перемещения центра масс:

$$v_3^2 = v_x^2 + r_x^2 \dot{q}_1^2 + v_z^2 \quad (9)$$

Так как в нашей системе присутствует лишь одно звено, выполняющее угловые перемещения, то абсолютная угловая скорость будет равна относительной скорости первого звена.

Тогда кинетическая энергия S-звена:

$$W_{K3} = \frac{m_3 \cdot (v_x^2 + r_x^2 \dot{q}_1^2 + v_z^2)}{2} + J_3 \frac{\dot{q}_1^2}{2} \quad (10)$$

Представив третье звено в виде прямолинейного звена длиной l , можно определить момент инерции относительно ее центра:

$$J_3 = \frac{m_3 \cdot l^2}{2} \quad (11)$$

Пренебрегая упругостями передач, потенциальная энергия всей системы будет равна:

$$W_{\Pi} = (m_2 + m_3) g r_z \quad (12)$$

Подставив выражения кинетической и потенциальной энергии в уравнения Лагранжа, получим уравнения динамики механической части манипулятора:

$$(J_{q_1} + J_1 + J_2 + J_3 + m_3 r_x^2) \ddot{q}_1 = Q_1 - 2m_3 r_x \dot{q}_1 v_x (m_{q_2} + m_2 + m_3) \ddot{r}_z = Q_2 - (m_2 + m_3)g (m_{q_3} + m_3) \ddot{r}_x - \dot{q}_1^2 m_3 r_x = Q_3 \quad (13)$$

Где J_{q_1} , m_{q_2} и m_{q_3} позволяют учитывать инерционные нагрузки роторов электродвигателей. По полученной системе уравнений составим структурную схему механической части манипулятора, работающей в цилиндрической системе координат представлено на рис. 2.

Анализ данной системы позволяет сделать вывод, что рассматривать звено подъема манипулятора и RS-звенья в совокупности не нужно, т. к. механизм подъема не оказывает влияния на другие звенья. При появлении силы Кориолиса изменяется эффективный момент поворота манипулятора [4]. А при выдвигении руки и совместном повороте, манипулятора уменьшается момент третьей координаты. И наоборот момент увеличивается при уменьшении r_x . Это происходит при появлении центробежной силы [5].

Для компенсации центробежной и силы Кориолиса требуется введение корректирующих устройств, дающих дополнительное задание момента [6].

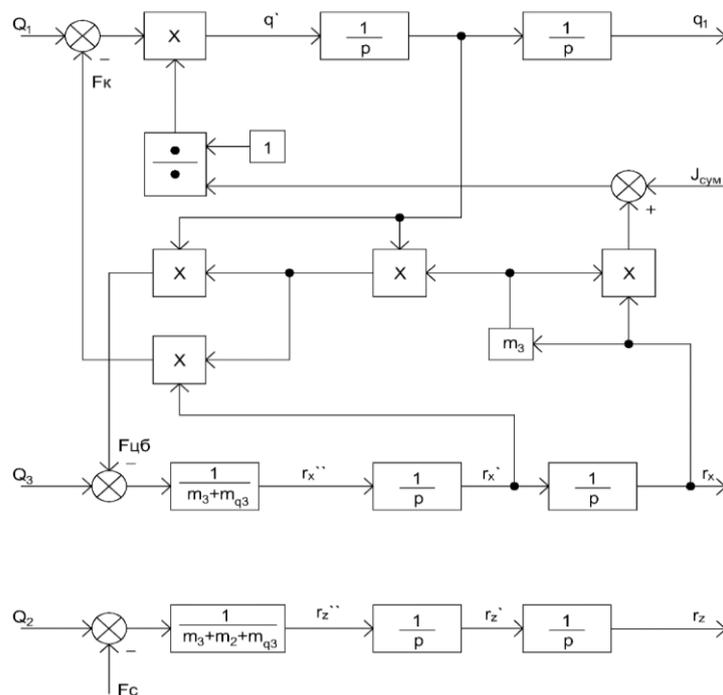


Рис. 2. Структурная схема манипулятора

Такое сильное взаимодействие звеньев обуславливает необходимость совместного рассмотрения уравнений динамики звеньев выдвигения и по-

ворота манипулятора [7]. Звено подъема можно не рассматривать в совокупности с RS-звеньями, так как оно не оказывает никакого воздействия при одновременной работе всех звеньев.

В ходе выполненной работы была построена математическая модель двухзвенного RS-манипулятора. Рассмотрение звена подъема манипулятора и RS-звеньев вместе не требуется, поскольку механизм подъема не влияет на другие звенья. Появление силы Кориолиса приводит к изменению эффективного момента поворота манипулятора, а центробежная сила оказывает влияние на момент, увеличивая его, при уменьшении длины руки манипулятора, что продемонстрировано на рис. 2.

Список используемых источников

1. Сафронов Ю. М. Электроприводы промышленных роботов/ Ю.М. Сафронов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 304 с. ISBN 5-283-00539-9.
2. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 624 с
3. SCARA [электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SCARA>
4. Сафронов Ю. М. Электроприводы промышленных роботов/ Ю.М. Сафронов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 304 с. ISBN 5-283-00539-9.
5. Электропривод в современных технологиях: метод. Указания к выполнению лабораторных работ № 1 – 8 для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 140400 – «Электроэнергетика и электротехника», квалификация «бакалавр».
6. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учеб. для вузов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. М.: Энергия, 1980. 358 с.
7. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учеб. Для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. М.: Изд. Центр «Академия», 2004. 578 с.

УДК 621.371.334
ГРНТИ 47.14.03

ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ ЩЕЛЕВОЙ ЛИНИИ СО СМЕЩЕНИЕМ ЦЕНТРА ЩЕЛИ

В. В. Демшевский, С. Б. Ключев, В. В. Лободин

АО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино, Россия)

В работе рассматривается щелевая линия со смещением центра щели к краю диэлектрической подложки и исследуются ее характеристики. На ее основе создан базовый элемент – полосно-пропускающий фильтр, который образован неоднородностью – «скачком» щели – расширением щели. Представлены результаты численного расчета полосно-пропускающего фильтра с помощью метода конечных элементов. Проанализированы зависимости характеристик полосно-пропускающего фильтра от геометрических размеров неоднородности.

щелевая линия со смещением центра щели, полосно-пропускающий фильтр, метод конечных элементов, матрица рассеяния, волновое сопротивление

Одним их элементов частотно-селективных устройств СВЧ являются, в частности, полосно-пропускающие фильтры (ППФ), которые представляют собой, чаще всего, пассивные цепи с заданными частотными характеристиками и применяются в системах связи, радиолокации, радионавигации. Полосовой фильтр (*bandpass filter*) – фильтр с единственной полосой пропускания (или полосой пропускания с малым относительным затуханием), которая простирается от нижней граничной частоты, большей нуля, до конечной верхней граничной частоты [1].

ППФ должны соответствовать предъявляемым к ним требованиям – обладать узкой полосой пропускания, минимальными вносимыми потерями в полосе пропускания, высокими значениями коэффициента затухания вне полосы, и обеспечивать стабильную работу в широком диапазоне рабочих температур.

Среди ППФ, соответствующих таким требованиям, являются фильтры на диэлектрической подложке, выполненной из керамики, что позволяет решить многие задачи при конструировании устройств, блоков и схем.

Однако в диапазоне СВЧ изготовить элементы фильтра с нужными величинами крайне сложно. Широко применяются фильтры, изготовленные по другой технологии – из отрезков линий передачи [2]. В диапазоне СВЧ, как правило, фильтры строят из элементов с распределенными параметрами. На практике, как правило, при разработке конструкции фильтров СВЧ используют декомпозицию и параметрический синтез с учетом характеристик элементов с распределенными параметрами, на которых реализуется

фильтр [3]. В диапазоне СВЧ фильтр будет представлять собой линию передачи (ЛП), включающую неоднородность, согласованную в определенной полосе частот и несогласованную вне этой полосы.

ППФ также проектируются в многослойном варианте исполнения, что позволяет реализовывать связанные линии передачи не с боковой, а с более сильной лицевой связью, предоставляя тем самым дополнительную степень свободы, необходимую для создания различных устройств (направленных ответвителей, фильтров). Преимуществом элементов с распределенными параметрами – отрезков линий передачи, шлейфов, резонаторов и т. д. – является сравнительно высокая добротность [4].

Основой для создания ППФ с требуемыми характеристиками в СВЧ диапазоне была выбрана щелевая линия со смещением центра щели к краю диэлектрической подложки (ЩЛСЩ), изображенная на рис. 1, которая относится к волноведущим структурам открытого класса и может широко применяться в конструкции закрытых СВЧ-модулей, выполненных на дискретных печатных платах. Для численного расчета методом конечных элементов (МКЭ), который применялся ранее для исследования геометрически сложных структур, например, [5] и который имеет ряд преимуществ при расчете ЩЛСЩ – исследуемый объект может быть любой геометрической формы, иметь любую электромагнитную среду, можно моделировать любые граничные условия, вычислительный алгоритм удобен для реализации с помощью средств ВТ [6].

Первый шаг при проектировании ППФ – выбор типа ЛП. Для реализации ППФ с распределенными параметрами наиболее подходящим вариантом ЛП стала щелевая линия со смещением центра щели к краю диэлектрической подложки (ЩЛСЩ) ввиду относительной простоты реализации, широкополосной и широких возможностей снизить потери при прохождении полезного сигнала. Модель такой щелевой ЛП представлена на рис. 1. Основой диэлектрической подложки был выбран керамический материал на основе алюмооксидной керамики с содержанием Al_2O_3 99,7% (поликор), с $\epsilon_r = 9,8$ и $\text{tg}\delta = 1 \times 10^{-4}$ толщиной $d = 0,5$ мм, на котором располагались металлические экраны толщиной $t = 8$ мкм, образующие щель шириной $w = 0,5$ мм.

Следующим шагом при проектировании ППФ было определение положения щели относительно центра структуры в рассматриваемом диапазоне частот $\Delta f = 6,5\text{--}9,0$ ГГц. К характеристикам ЩЛСЩ предъявлялись следующие требования: вносимые потери должны быть минимальными, а волновое сопротивление находится в пределах $Z_B = 50\text{--}60$ Ом. Методом МКЭ в модели ЩЛСЩ рассчитывалось положение центра щели относительно центра симметрии структуры, которое было определено в пределах $(0,64\text{--}0,66) \times a$ ширины ЛП, а также получены значения коэффициентов матрицы рассеяния: коэффициента отражения $S_{11} > -30$ дБ и $S_{21} < -0,2$ дБ и волнового сопротивления $Z_B = 54\text{--}66$ Ом.

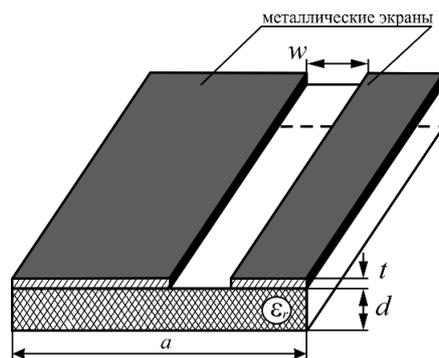


Рис. 1. Физическая модель щелевой линии со смещением щели центра к краю диэлектрической подложки, где d – толщина подложки с диэлектрической проницаемостью ϵ_r , t – толщина металлических экранов, w – ширина щели

Далее рассматривался ППФ на основе ЩЛСЩ, модель которого представлена на рис. 2, в структуру которой была введена неоднородность в виде «скачка» расширяющейся щели длиной l и шириной h .

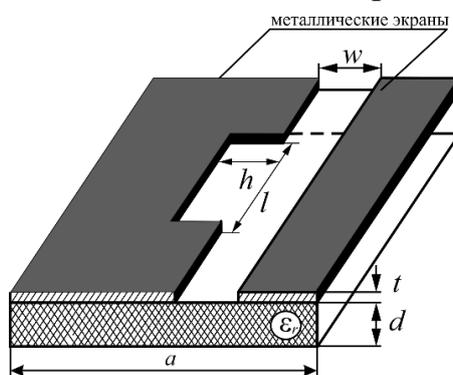


Рис. 2. Модель ППФ с неоднородностью в виде «скачка», где d – толщина подложки с диэлектрической проницаемостью ϵ_r , t – толщина металлических экранов, w – ширина щели, l – длина неоднородности, h – ширина неоднородности

Далее были рассчитаны характеристики моделей ППФ, у которых длина неоднородности составила $l = 2\lambda_v/3$, а ее ширина принимала значения $h/w = 2$, $h/w = 4$ и $h/w = 6$. На рис. 3 представлены результаты расчета матрицы рассеяния (рис.3, а) и волнового сопротивления (рис. 3, б) моделей ППФ.

Анализ полученных результатов показывает, что наилучшие характеристики ППФ получены при ширине неоднородности $h/w = 2$. Полоса пропускания на уровне -3 дБ при этом составляет 95,1% ($\Delta f = 3,53\text{--}9,93$ ГГц) (рис. 3, а), что говорит об отсутствии ярко выраженного резонанса, $S_{11} = -44,2$ дБ на частоте $f = 7,44$ ГГц (рис. 3, б) и $Z_B = 65,7\text{--}87,7$ Ом.

Для ППФ с геометрическим размером неоднородности $h/w = 4$. Полоса пропускания на уровне -3 дБ при этом составляет 26,6% ($\Delta f = 6,80\text{--}8,89$ ГГц) (рис. 3, а), $S_{11} = -47,4$ дБ на частоте $f = 7,85$ ГГц (рис. 3, б) и $Z_B = 56,5\text{--}62,8$ Ом.

Для ППФ с геометрическим размером неоднородности $h/w = 6$ были получены следующие характеристики: полоса пропускания на уровне -3 дБ

составила 13% ($\Delta f = 7,58\text{--}8,71$ ГГц) (рис. 3, *а*), $S_{11} = -36,2$ дБ на частоте $f = 8,14$ ГГц (рис. 3, *б*) и $Z_B = 55,9\text{--}62,5$ Ом.

Возможность дополнительного расширения полосы рабочих частот ППФ в этом исполнении в будущем предполагается расширить при помощи усложнения профиля неоднородности.

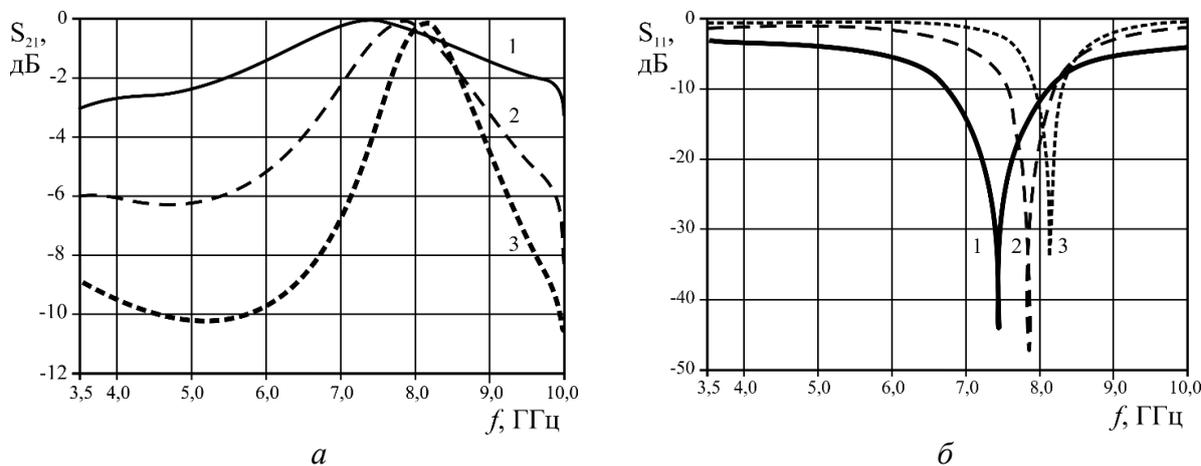


Рис. 3. Зависимости матрицы рассеяния (*а*) и волнового сопротивления (*б*) ППФ от частоты для $l = 2\lambda_B/3$, где кривая 1 – соответствует ширине неоднородности $h/w = 2$, кривая 2 – соответствует ширине неоднородности $h/w = 4$, и кривая 3 – соответствует ширине неоднородности $h/w = 6$

Исходя из полученных результатов (рис. 3) следует отметить, что при увеличении ширины неоднородности h уменьшается полоса пропускания ППФ, а его характеристики смещаются в сторону высоких частот.

Полосно-пропускные фильтры с такими характеристиками могут использоваться в различных технических приложениях, отдельных составных элементах приемо-передающих модулей, включающих в себя многослойные переходы и быть альтернативой других фильтров.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 8.714-2010 Фильтры полосовые октавные и на доли октавы.
2. Мительман Ю. Е., Абдуллин Р. Р., Сычугов С. Г., Шабунин С. Н. Расчет и измерение характеристик устройств СВЧ и антенн: учеб. пособие. / под общ. ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Е. Мительмана. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 140 с.
3. Пименов В. Ю., Вольман В. И., Муравцов А. Д. Техническая электродинамика. М.: Радио и связь, 2002. 536 с.
4. Вендик И. Б., Холодняк Д. В., Замешаева Е. Ю. Многослойные интегральные СВЧ-устройства на основе ЛТСС. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. 206 с.
5. Ключев С. Б., Демшевский В. В. Электродинамическое моделирование многослойного перехода для интегральных схем СВЧ // Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника. Вып. 3 (559). 2023. С. 96–101.
6. Ключев С. Б., Иовдальский В. А., Марин В. П. Модифицированная симметричная щелевая линия для интегральных схем СВЧ- и КВЧ-диапазонов // Научные технологии, 2022. Т. 23. № 6. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998465-202206-01>.

УДК 378.147.88
ГРНТИ 14.35.09

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ "КОНТАКТНАЯ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ" В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

**В. М. Деткова, О. А. Долматова, Е. Ю. Передистов, Л. М. Черных,
Ю. В. Шарихина**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В рамках проекта развития "Создание учебной лаборатории "Волновая оптика и квантовая механика" на Факультете Фундаментальной подготовки" был приобретен комплект учебно-лабораторного оборудования "Квантовая оптика". Статья посвящена апробации в учебном процессе методических указаний для выполнения лабораторной работы "Контактная разность потенциалов", входящей в состав данного комплекса. Лабораторная установка позволяет определить контактную разность потенциалов между анодом и катодом вакуумного диода и изучить ее зависимость от температуры катода. Анализ вольт-амперных характеристик дает информацию о рабочих режимах, параметрах, физических принципах работы вакуумного диода. Лабораторная работа будет введена в учебный процесс в рамках дисциплин "Физика (спецглавы)" и "Физика конденсированного состояния" в СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

физическое образование, квантовая оптика, учебно-лабораторное оборудование, контактная разность потенциалов

Реформа образования предусматривает необходимость связи учебного процесса с научной и инновационной деятельностью, предъявляет все более высокие требования к лабораторной базе ВУЗов. Для успешного освоения основных образовательных программ высшего образования, установленных ФГОС, необходимо современное оборудование: цифровые измерительные приборы и разнообразные научно-исследовательские комплексы.

Использование лабораторного оборудования дает возможность студентам стать высококвалифицированными специалистами. Проведение наглядных экспериментов повышает интерес у студентов к обучению, что положительно сказывается на их успеваемости и имидже учебного заведения.

В рамках проекта развития "Создание учебной лаборатории "Волновая оптика и квантовая механика" на Факультете Фундаментальной подготовки" были приобретены комплекты учебно-лабораторного оборудования "Квантовая оптика", позволяющие решить проблемы модернизации и суще-

ственно улучшить материально-техническую базу факультета. Установленное оборудование – это комплектные стенды производственного объединения "Зарница", лидера отечественного рынка разработки и производства учебного оборудования, интерактивных тренажеров, лабораторного оборудования, робототехники [1]. В их состав входят готовые комплекты оборудования с документацией, методическими рекомендациями к выполнению лабораторных работ, которые могут быть использованы при изучении различных дисциплин кафедры физики: Физика (спецглавы), Волновая и квантовая оптика, Физика конденсированного состояния.

Комплект учебно-лабораторного оборудования «Квантовая оптика» (далее стенд) предназначен для исследования внешнего фотоэффекта, характеристик фотодиода и фоторезистора, изучения распределения электронов по скоростям при термоэлектронной эмиссии, определения контактной разности потенциалов.

Данная статья посвящена апробации методических указаний для выполнения лабораторной работы "Контактная разность потенциалов" в учебном процессе.

Целью работы является освоение методики измерения внешней контактной разности потенциалов (КРП) между двумя проводящими материалами путем регистрации тока термоэмиссии. КРП между электродами значительно влияет на работу электронных приборов. Выполнение данной работы позволит закрепить теоретические сведения о внешней КРП.

Лабораторное оборудование состоит из стенда (рис. 1) и двух мультиметров. Блок-секции стенда, необходимые для проведения данной работы:

- блок питания;
- измерительные приборы;
- блок с объектами исследования: лампа 6Х2П.

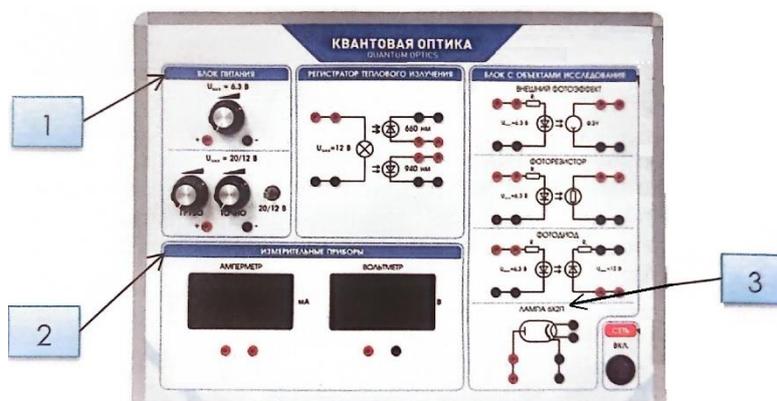


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

На рис. 2 приведена схема установки данной лабораторной работы. Она позволяет изучить зависимость анодного тока I_A вакуумного диода от напряжения U_V , подаваемого на диод, при разных величинах напряжения накала катода, а значит при разных температурах. Катод нагревается блоком питания 6,3 В, позволяющим регулировать напряжение накала U_H и ток накала катода I_H лампы. С помощью вольтметра V и амперметра A можно контролировать значения этих величин. Мультиметр M_1 , включенный в режиме вольтметра, измеряет напряжение U_V , подаваемое на диод с блока питания 20 В. Мультиметр M_2 , включенный в режиме амперметра, измеряет анодный ток I_A , текущий в цепи диода. Блок питания 20 В позволяет изменять величины U_V и I_A . Схема позволяет получить зависимость $I_A = f(U_V)$ для значений I_A , равных нескольким мкА, вплоть до участка насыщения, где рост I_A практически прекращается.

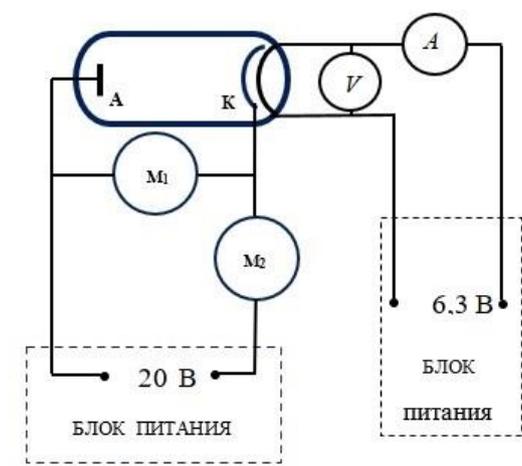


Рис. 2. Схема установки

Для нахождения контактной разности потенциалов U_K требуется снять вольтамперную характеристику (ВАХ) вакуумного диода $I_A = f(U_V)$, где U_V – значение напряжения, подаваемого на диод и измеряемого вольтметром. Оно связано с истинным напряжением U_A между анодом и катодом, формулой [2]:

$$U_A = U_V + U_K. \quad (1)$$

Из (1) следует, что

$$U_K = -U_V \text{ при } U_A = 0. \quad (2)$$

В области задерживающего анодного напряжения $U_A < 0$ зависимость анодного тока от этого напряжения имеет вид:

$$I_A = I_0 \exp(eU_A/kT), \quad (3)$$

где I_0 – сила тока при $U_A = 0$, T – температура накала катода, U_A – отрицательное анодное напряжение. Логарифмируя (3), получаем:

$$\ln I_A = \ln I_0 + eU_A/(kT). \quad (4)$$

Классическая методика определения контактной разности потенциалов U_K описана в [3]. Необходимо построить график зависимости $\ln I_A = f(U_V)$. Вид графика показан на рис. 3. Излом прямой $\ln I_A = f(U_V)$ наступает при выполнении условия (2), то есть в точке перехода от тормозящего поля к полю ускоряющему. По наклону прямой $a-b$ (участок тормозящего поля) определить температуру электронного газа, а по точке излома прямых $a-b$ и $c-d$, пользуясь формулой (2), найти контактную разность потенциалов.

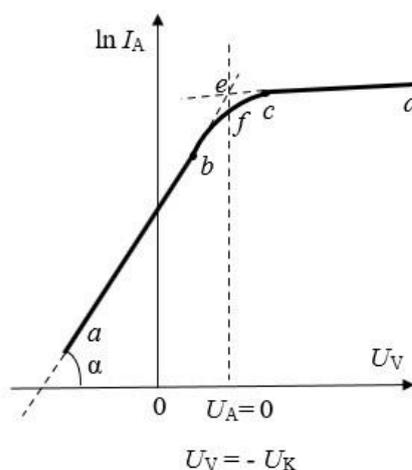


Рис. 3. График зависимости $\ln I_A = f(U_V)$

Изменение наклона линейной зависимости при переходе от тормозящего к ускоряющему полю происходит не скачком, а постепенно (участок $b-f-c$). Поэтому для определения точки, которая соответствует нулевому значению истинного напряжения $U_A = 0$, необходимо экстраполировать прямолинейные участки графика $a-b$ и $c-d$ до их пересечения в точке e .

Описанный выше метод определения U_K неудобен для применения на практике. Дело в том, что область $a-b$ соответствует сравнительно малым значениям U_V (от 0,2 до 1 В), а область $c-d$ – большим значениям U_V (10 – 20 В) (рис. 4). Если их чертить на одном листе, то нужен большой лист миллиметровки.

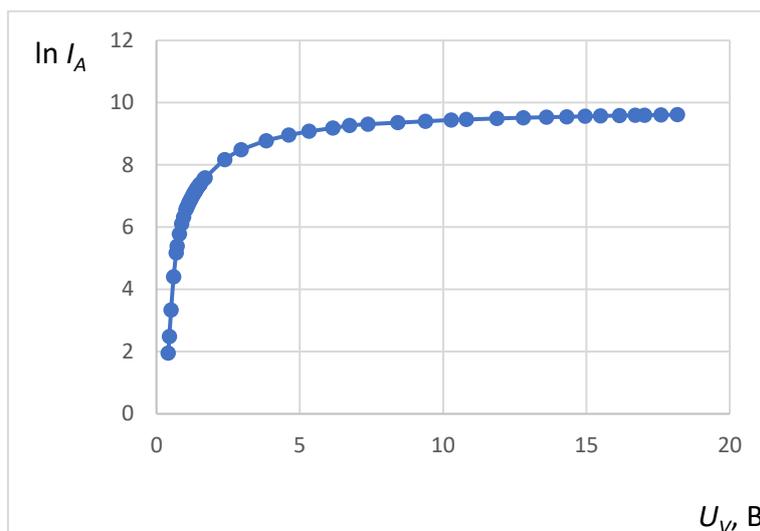


Рис. 4. Экспериментальный график зависимости $\ln I_A = f(U_V)$

Поэтому ниже изложен другой метод определения U_K , основанный на применении аналитической геометрии и на построении прямых $a-b$ и $c-d$ на разных листах миллиметровки (рис. 5а и рис. 5б).

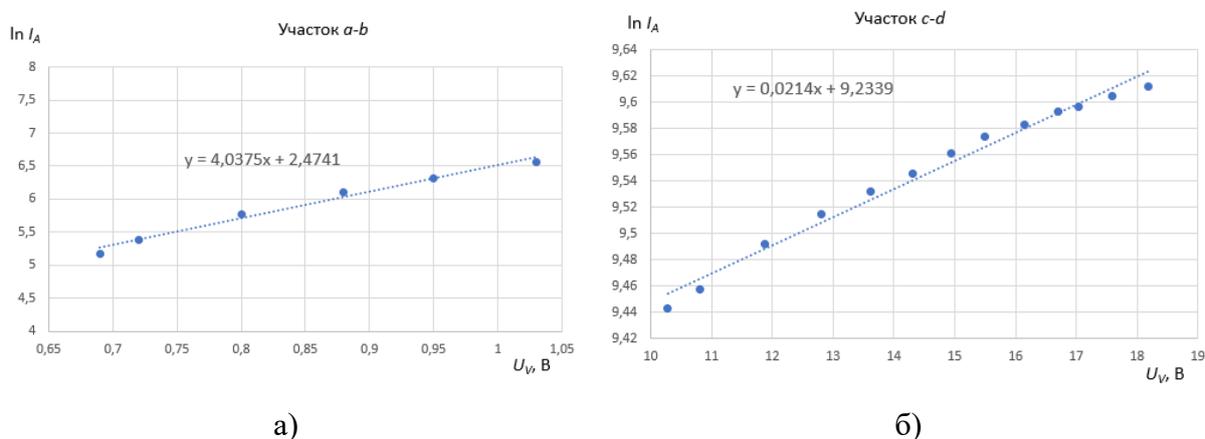


Рис. 5. Экспериментальные графики зависимости $\ln I_A = f(U_V)$ в области
а) $U_V=0.65 \div 1$ В и б) $U_V=10 \div 20$ В

Так как линии $a-b$ и $c-d$ аппроксимируются прямыми, то запишем их уравнения в виде $y_1 = a_1x + b_1$ для $a-b$ и $y_2 = a_2x + b_2$ для $c-d$, где $y = \ln I_A$, $x = U_V$. Так как в точке пересечения этих прямых $y_1 = y_2$, то получаем уравнение для определения значения x в этой точке:

$$a_1x + b_1 = a_2x + b_2 . \quad (5)$$

Из (5) находим:

$$x = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} . \quad (6)$$

Величины a_1 и a_2 равны тангенсам углов наклона соответствующих прямых, а величины b_1 и b_2 находим путем экстраполяции прямых к значению $U_V = 0$. Найденное по формуле (6) значение x соответствует точке пересечения прямых $a-b$ и $c-d$ и численно равно значению контактной разности потенциалов $U_K = -U_V$.

Предложенный метод позволяет повысить точность определения температуры катода и величины КРП по сравнению с классическим методом на 20-25%.

Список используемых источников

1. <https://zarnitza.ru/>
2. Епифанов Г. И. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 1977. 288 с.
3. Фридрихов С. А., Мовкин С. М. Физические основы электронной техники. М.: Высшая школа, 1982, 608 с.

УДК.681.51
ГРНТИ 47.05.05

ВОЗМОЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОБУЧАЮЩЕЙ СРЕДЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

З. В. Зайцева, Н. К. Логвинова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются методы и возможности человеко-машинного взаимодействия в компьютерной обучающей среде на примере изучения электротехники на кафедре Теоретических основ телекоммуникаций. Показано, как с использованием компьютерных технологий на лабораторных и практических занятиях, а также при выполнении курсовой работы можно более эффективно и наглядно исследовать различные режимы и процессы, происходящие в электрических цепях, что способствует лучшему усвоению теоретического материала.

человеко-машинное взаимодействие, компьютерная обучающая среда, моделирование процессов, исследования характеристик, электрические цепи

При изучении общетехнических дисциплин: Теоретические основы электротехники (ТОЭ), Теория электрических цепей (ТЭЦ), Электротехника (ЭТ), Электротехника и электроника (ЭТиЭ) на кафедре Теоретических основ телекоммуникаций (ТОТ) возникает много сложностей, особенно с учетом тенденции уменьшения числа аудиторных занятий.

Качественное усвоение перечисленных дисциплин способствует лучшему пониманию и вызывает больший интерес к изучению на старших курсах специальных устройств средств связи.

Важно отметить, что проработка всех разделов дисциплин предполагает, что студенты умеют применять специальные математические и физические знания, полученные ранее.

Необходимость достижения высоких результатов обучения требует от преподавателей поиска методов и средств интенсивного изучения этих дисциплин, которые позволяют уменьшить рутинные процедуры расчета, но обеспечат наглядность и понятность различных режимов и процессов в электрических цепях.

Известно, что решать эти проблемы помогают компьютерные технологии обучения, позволяющие использовать наиболее оптимальные возможности человеко-машинного взаимодействия в формате студент-персональный компьютер (ПК) [1–4].

Организация взаимодействия студента с компьютерной средой позволяет выделить несколько направлений повышения интенсивности обучения, основными из которых можно считать:

- использование программ для вычислений и инженерных расчетов;
- использование программ для моделирования процессов в электрических цепях.

Программы для расчетов: Mathcad, Mathematica, Matlab и др. выбираются студентом произвольно с учетом своих умений и навыков, полученных в процессе обучения. На кафедре ТОТ рекомендованной к использованию является программа Mathcad, но использование других программ также возможно. Применение специализированных программ позволяет уменьшить время на предварительные расчеты и обработку экспериментальных данных при оформлении отчетов по лабораторным работам, облегчить расчеты в курсовой работе [5, 6]. Применение этих программ для построения различных графиков по расчетным формулам позволяет усложнить практические задачи анализа цепей.

Для моделирования процессов в электрической цепи на кафедре в учебном процессе широко применяется программа Fastmean. Данная программа позволяет наглядно изучать процессы, происходящие в электрических цепях при различных воздействиях, оценивать влияние параметров цепи на режимы работы и характеристики цепи. Программа позволяет одновременно наблюдать на экране компьютера несколько графиков, которые не только иллюстрируют особенности процессов в цепях, но и позволяют выполнить необходимые измерения для расчета параметров, провести требуемый анализ результатов и сделать выводы.

Использование взаимодействия студент – ПК расширяет возможности исследования ЭЦ в рамках одного аудиторного занятия. Использование в программе Fastmean опции «Символьный анализ» позволяет получить аналитическую зависимость для операторной передаточной функции сложной ЭЦ высокого порядка, вывод которой занимает много времени и требует углубленных математических знаний. Кроме этого, программа Fastmean позволяет получить на экране компьютера графики временных и частотных характеристик ЭЦ. Анализ полученных выражений и графиков расширяет область знаний студентов по этой теме. Важно отметить, что во время одного аудиторного занятия на ПК студент может исследовать две сложные цепи, например, пассивную RLC и активную RC цепи. За это же время при традиционном методе обучения студент может сделать вывод аналитической формулы и построить лишь качественные графики только одной простейшей цепи.

Интересным решением является применение студентом двух видов компьютерных программ при выполнении курсовой работы. Методически правильная постановка задачи в курсовой работе позволяет студенту не только

выполнить сложные расчеты, но и самостоятельно проверять их правильность при сравнении с результатами моделирования исследуемых процессов на ПК. Такой подход позволяет усложнить поставленные задачи, внести в них элементы исследования и повысить интерес студентов к дисциплине.

Рассмотрим несколько примеров постановки компьютерных лабораторных работ, позволяющих наблюдать, исследовать и проводить анализ влияния параметров цепи на характеристики и режимы работы цепей. Например, на компьютере можно одновременно наблюдать несколько резонансных характеристик, вид которых зависит от величины резистивного сопротивления последовательного резонансного контура (рис. 1).

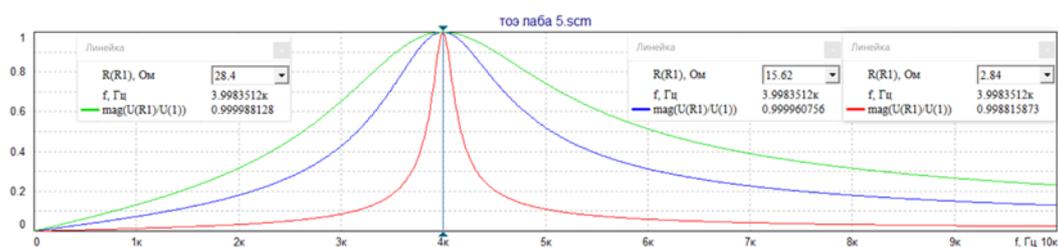


Рис. 1. Влияние резистивного сопротивления на вид резонансных характеристик

Студенты должны по этим графикам рассчитать вторичные параметры контура: резонансную частоту, полосу пропускания и добротность. В экспериментальной лабораторной работе на макете по этой теме студенты могут снять только одну резонансную кривую.

При анализе переходных колебаний в последовательном резонансном контуре программа Fastmean позволяет наблюдать на экране ПК одновременно изменение трех переменных U_L , U_C , U_R в каждом режиме при заданном входном воздействии (рис. 2).

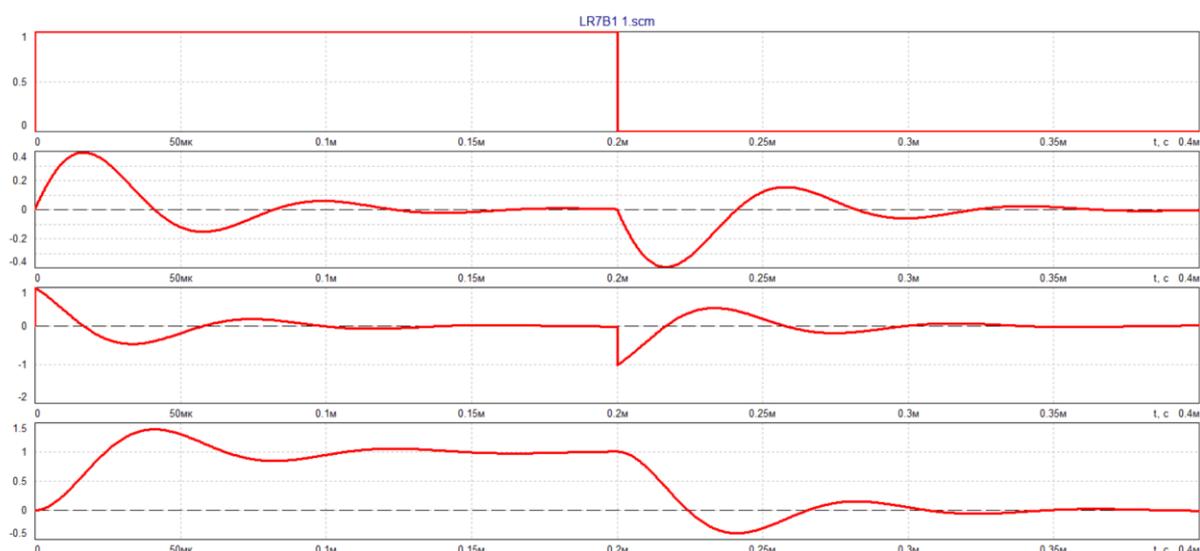


Рис. 2. Графики входного напряжения и реакций U_R , U_L , U_C в колебательном режиме

Эти графики наглядно иллюстрируют теоретический материал.

Во время экспериментальной лабораторной работы студенты успевают получить осциллограммы только одной переменной U_C для каждого режима.

Важно отметить, что использование компьютерных программ позволяет обеспечить высокую иллюстративность теории. Так, на экране ПК можно показать студенту представленную по-разному реакцию цепи: в виде мгновенного значения и ее спектральное представление. При традиционной форме постановки лабораторной работы по этой теме такая иллюстрация теоретического материала возможна только при наличии дорогостоящего оборудования. Например, при анализе реакции нелинейного резистивного элемента на гармоническое воздействие с помощью программы Fastmean студент может увидеть мгновенное значение реакции цепи (рис. 3) и ее спектральное представление (рис. 4).

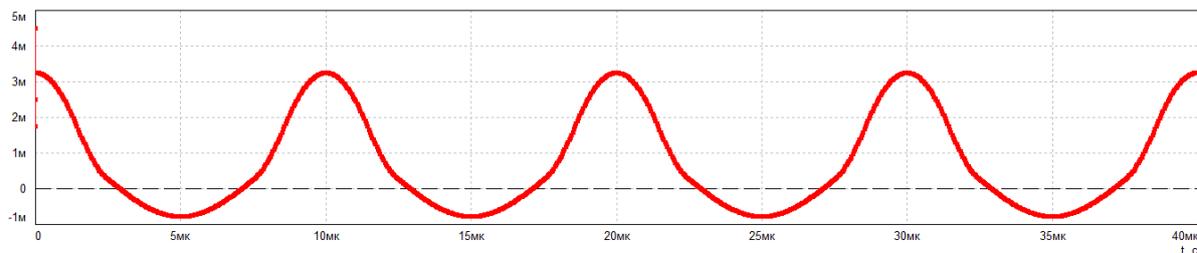


Рис. 3. График тока в режиме большого сигнала

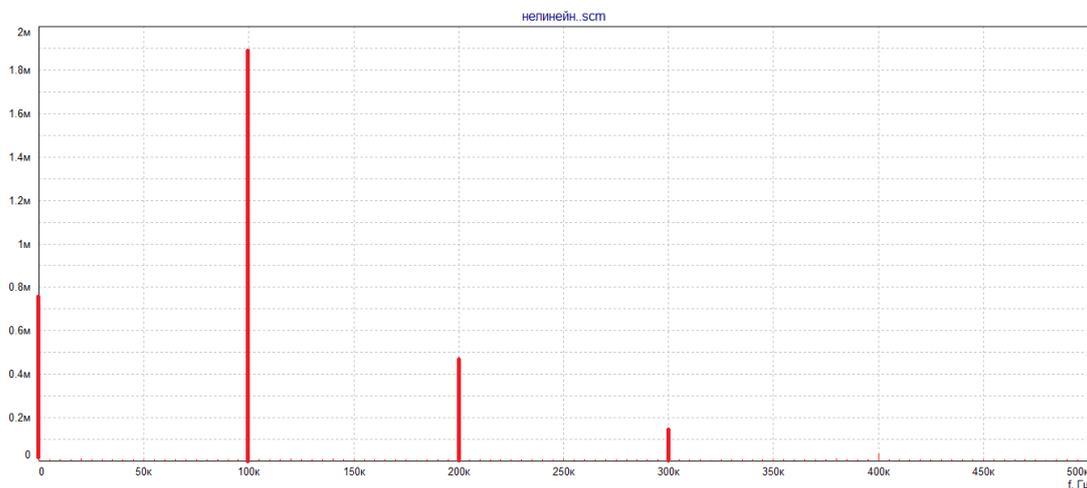


Рис. 4. График спектра амплитуд тока в режиме большого сигнала

Приведенные примеры показывают, что от преподавателя требуется глубокое изучение возможностей человеко-машинного взаимодействия студента с компьютером, чтобы максимально использовать компьютерную среду для расширения и углубления возможностей традиционных методов

обучения. Только тщательное изучение и грамотное применение таких методических решений может дать оптимальный результат в учебном процессе, т.к. поможет студенту изучить и разобраться в сложных процессах в цепях, наглядно исследовать различные реакции и характеристики в них. Такая подача учебного материала позволяет студенту лучше понять его, развивает интерес к предмету, что повышает качество его изучения.

Рассмотрим, как расширяются возможности постановки курсовых работ с элементами научных исследований при использовании компьютерных программ. Так, например, в курсовой работе «Расчет ARC- и LC-фильтров» по ТЭЦ рекомендуется использовать две компьютерные программы Mathcad и Fastmean. При синтезе электрического фильтра по заданным требованиям к нему студент должен рассчитать операторную передаточную функцию и схему этого фильтра. Программа Mathcad позволяет построить график ослабления рассчитанного фильтра по выражению для операторной передаточной функции, полученной при решении задачи синтеза.

В программе Fastmean студент рисует схему рассчитанного им фильтра и получает характеристику ослабления, которая должна совпадать с рассчитанной ранее в программе Mathcad. Таким образом оценивается не только правильность расчета коэффициентов операторной передаточной функции, но и выбор схемы и расчет параметров элементов синтезированного фильтра. Проведя такие исследования в курсовой работе, студент самостоятельно проверяет правильность своих расчетов, учится искать ошибки при решении технической задачи, получая тем самым навыки проведения научных исследований. Решать такие задачи стало возможно только с появлением компьютерной обучающей среды, в которой студент управляет компьютером как мощной вычислительной машиной.

Достоинством человеко-машинного взаимодействия в учебном процессе является не только упрощение расчетов и сокращение времени на них, но и обеспечение возможности получения неограниченного количества графиков, иллюстрирующих различные процессы в цепях, которые помогают студенту лучше понять работу изучаемых устройств, что развивает интерес к предмету и повышает качество его усвоения.

Список используемых источников:

1. Раинкина Л. Н. Педагогика виртуальной обучающей среды // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании и науке» (ИТОН-2006). М.: МФЮА, 2006. С. 393–398.
2. Раинкина Л. Н. Опыт проектирования и реализации виртуальной обучающей среды // Дистанционное и виртуальное обучение, 2008. № 9. С. 48–53.
3. Лубков Р. А. Моделирование виртуальной образовательной среды. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки, 2006. Том 3, № 1. С. 64-67.

4. Сергеев С. Ф.; Сергеева А. С. Обучающая коммуникация и интерфейс в компьютерных образовательных системах и средах // Открытое образование, 2014, № 5. С 41–48.

5. Зайцева З. В., Логвинова Н. К. Компьютерный расчет линейных и нелинейных цепей при постановке виртуальных лабораторных работ. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2019. С. 401–406.

6. Зайцева З. В., Логвинова Н. К. Виртуальный лабораторный практикум для технических дисциплин при дистанционном обучении. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 218–223.

УДК: 621.375.121: 821.394.422.2
ГРНТИ 47.03.05

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ С ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКОЙ

Б. Б. Канаев, А. К. Кармышаков

Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова

Рассмотрена система импульсно-фазового управления, предназначенная для формирования управляющих импульсов для однооперационных тиристоров в управляемых выпрямителях. Для этого авторами разработан и изготовлен опытный макет, который представляет цифровую систему с фазовой автоподстройкой. В устройстве обеспечиваются надежное отпирание тиристоров в момент, определяемый углом регулирования α ; плавное изменение угла регулирования в заданном диапазоне и гальваническая развязка от силовой схемы.

трансформатор, детектор, генератор линейно изменяющегося напряжения, сравнивающее устройство, формирователь длительности управляющего импульса, выходной каскад

Основной целью работы были разработка экспериментального макета и исследование характеристик цифровой системы импульсно-фазового управления тиристорами (СИФУ) с фазовой автоподстройкой.

Известно, что надежное отпирание тиристоров обеспечивается формированием прямоугольных управляющих импульсов с крутым передним фронтом. Крутой передний фронт необходим для четкой фиксации момента включения тиристора. Это исключает влияние разброса порога включения тиристоров, а также уменьшает время их включения, что, в свою очередь, уменьшает потери мощности при отпирании. Длительность управляющих импульсов должна быть достаточной для обеспечения нарастания тока тиристоров до величины, превышающей ток удержания во всех режимах работы управляемого выпрямителя [1, 2].

СИФУ должна обеспечивать плавное управление моментом включения тиристоров (угла регулирования) в необходимом диапазоне, который определяется схемой управляемого выпрямителя, а также требуемым диапазоном изменения среднего значения напряжения на нагрузке. Гальваническая развязка между низковольтной СИФУ и высоковольтной силовой схемой управляемого выпрямителя необходима для обеспечения безопасной работы СИФУ и для исключения электрической связи между тиристорами.

В настоящее время широкое применение находят синхронные СИФУ вертикального типа, которые подразделяются на одноканальные и много-

канальные. Сущность вертикального метода построения и назначение основных блоков можно увидеть на примере одноканальной СИФУ (рис. 1) и временных диаграммах напряжений (рис. 2). В СИФУ входят устройство синхронизации УС, генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), сравнивающее устройство (СУ), формирователь длительности управляющего импульса (ФДИ) и выходной каскад (ВК).

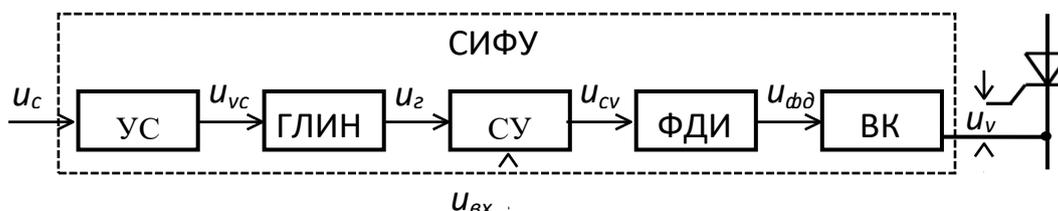


Рис. 1. Структурная схема одноканальной СИФУ

Из рис. 2 видно, что при изменении входного напряжения СИФУ в диапазоне $0 < u_{вх} < U_{mг}$, где $U_{mг}$ – амплитудное значение напряжения $u_г$, угол регулирования α изменяется в диапазоне $0 < \alpha < \pi$.

В многоканальных СИФУ регулирование угла α осуществляется одновременно в нескольких однотипных каналах, выполненных, например, по структуре рис. 1. Количество каналов определяется количеством тиристоров в схеме управляемого выпрямителя.

На рис. 3 приведена структурная схема трехканальной СИФУ, предназначенной для управления тиристорами в трехфазной нулевой схеме управляемого выпрямителя. На входы синхронизации каждого канала (СИФУ 1, СИФУ 2 и СИФУ 3) подаются синхронизирующие напряжения u_{c1} , u_{c2} и u_{c3} , сдвинутые по фазе на угол $2\pi/3$ (120 эл. градусов). На входы управления всех каналов подается одно и то же напряжение $u_{вх}$. Это позволяет формировать управляющие импульсы u_{y1} , u_{y2} и u_{y3} , сдвинутые по фазе на величину угла регулирования относительно своего синхронизирующего напряжения.

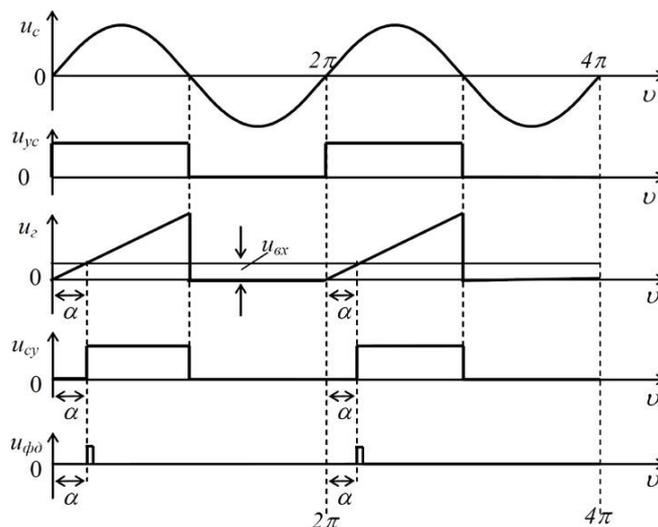


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений в одноканальной СИФУ

Многоканальные СИФУ применимы для различных схем управляемых выпрямителей. Вместе с тем они предъявляют жесткие требования к одинаковости параметров однотипных элементов (резисторов, конденсаторов, операционных усилителей и пр.) схем во всех каналах. Этот недостаток устраняется в одноканальных СИФУ, в которых для всех тиристоров угол регулирования формируется в одном канале.

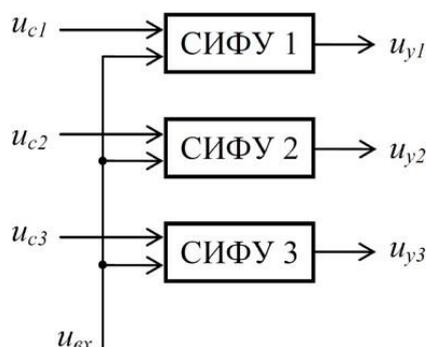


Рис. 3. Структурная схема трехканальной СИФУ

На рисунке 4 приведена лицевая панель разработанного лабораторного макета СИФУ. Рассмотрим более подробно о назначении некоторых блоков.

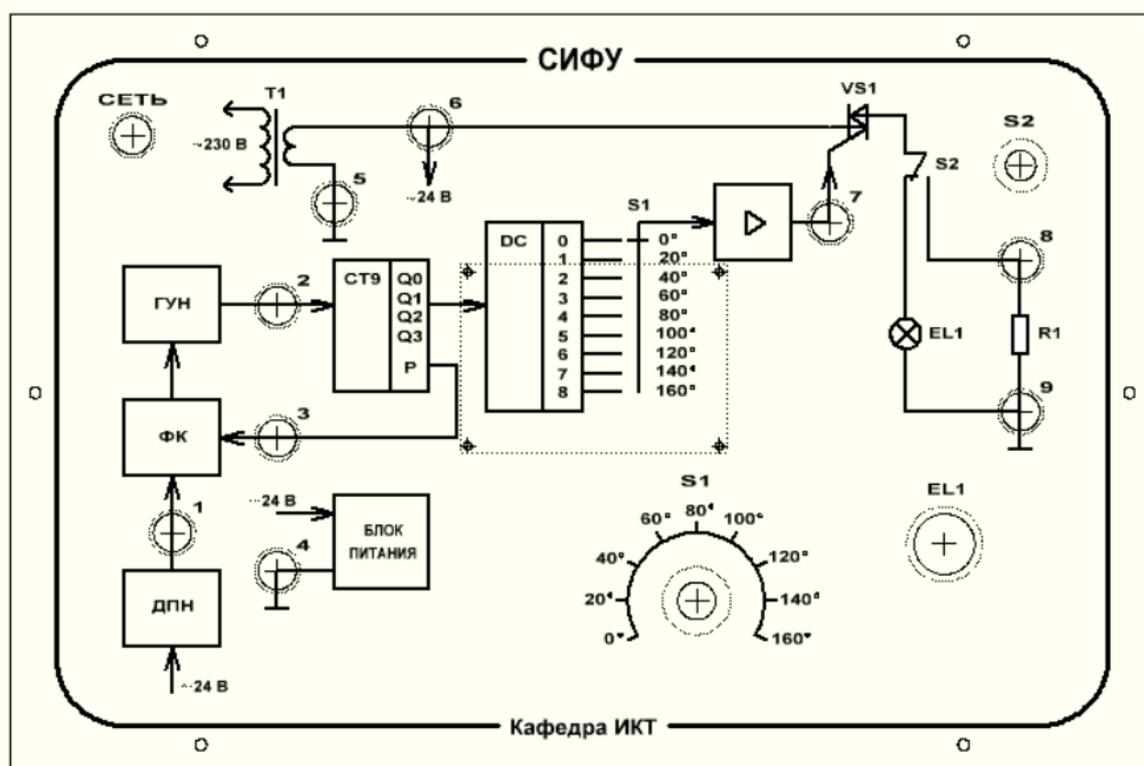


Рис. 4. Лицевая панель макета

Детектор пересечения переменного напряжения нулевого потенциала (ДПН) необходим устройству управления симистором для привязки сдвинутого по фазе управляющего сигнала к началу полупериода.

Принцип работы ДПН основан на наличии порогового напряжения светодиода, при снижении питающего напряжения ниже порога светодиод перестает излучать свет. В свою очередь транзистор оптрона переходит в закрытое состояние и на его коллекторе устанавливается высокий потенциал. Типовое значение порогового напряжения $U_{np} = 1,2$ В. На временной диаграмме (рис. 6) штриховыми линиями указаны пороги для положительной и отрицательной полуволны.

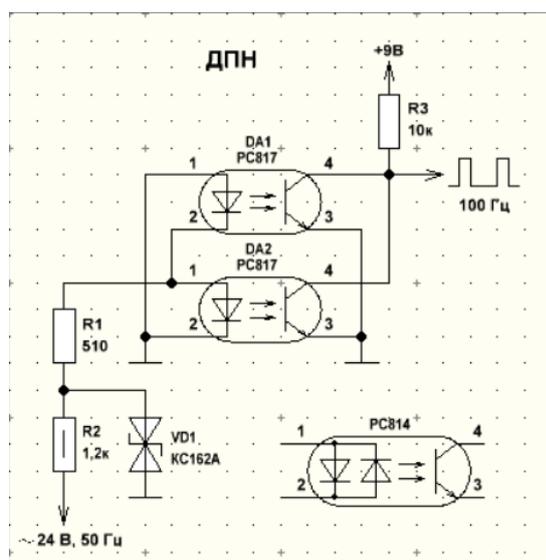


Рис. 5. Схема детектора пересечения

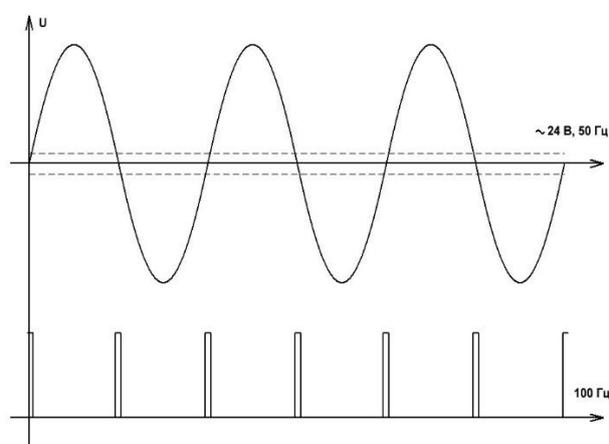


Рис. 6. Временные диаграммы ДПН переменного напряжения

ДПН (рис. 5) представляет собой два оптрона, транзисторы которых соединены параллельно, а светодиоды встречно параллельно. Оптрон DA2 обрабатывает положительную полуволну, DA1 отрицательную. Схему можно упростить, применив оптрон PC814. Цепь R2, VD1 ограничивает максимальный ток через светодиоды.

Для синхронизации управляющих импульсов с частотой сети применена микросхема фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) КР1561ГГ1 (564ГГ1), подробно описанная в книгах [3, 4]. Микросхема КР1561ГГ1 представляет собой генератор с фазовой автоподстройкой частоты. Имеет 16 выводов. Используется для работы в узлах и блоках электроники. ФК - фазовый корректор; ДПН – детектор перехода через ноль; ГУН – генератор, управляемый напряжением.

В нашем случае функции ДПН, ФК, ГУН и СТ9 выполняет микросхема КР1561ГГ1(рис. 7).

Для учебных целей вполне достаточен шаг управляющих импульсов 20 угловых градусов. Отсюда счетчик в цепи обратной связи ФАПЧ должен иметь коэффициент деления $K_d = 180/20 = 9$. Соответственно генератор, управляемый напряжением (ГУН) должен иметь центральную частоту $F_{гун} = 100 \text{ Гц} * K_d = 900 \text{ Гц}$. Элементы C_2, R_5, R_6 определяют диапазон частот ГУН $F_{гун} = 0,4...1,8 \text{ кГц}$.

В состав фазового компаратора (ФК) входит фильтр нижних частот (ФНЧ) обеспечивающий устойчивость петли ФАПЧ. ФНЧ реализован на элементах C_1, R_4, R_7 .

Счетчик с $K_d = 9$ выполнен на микросхеме К561ИЕ8, представляющий собой десятичный счетчик с дешифратором. На счетный вход сигнал поступает с выхода ГУН. Для снижения K_d до 9 на вход сброса счетчика R подается сигнал с выхода дешифратора «9». На остальных выходах дешифратора «0...8» присутствуют импульсы управления симистором сдвинутые друг от друга на 20 угловых градуса. Необходимый угол управления выбирается обычным галетным переключателем. С выхода переноса счетчика P сигнал с частотой 100 Гц поступает на вход ФК на другой вход, которого поступает сигнал с выхода ДПН. На рисунках 8, 9, 10 и 11 приведены осциллограммы выходных сигналов при различных положениях переключателя S1 (Рис. 12 – общий вид макета).

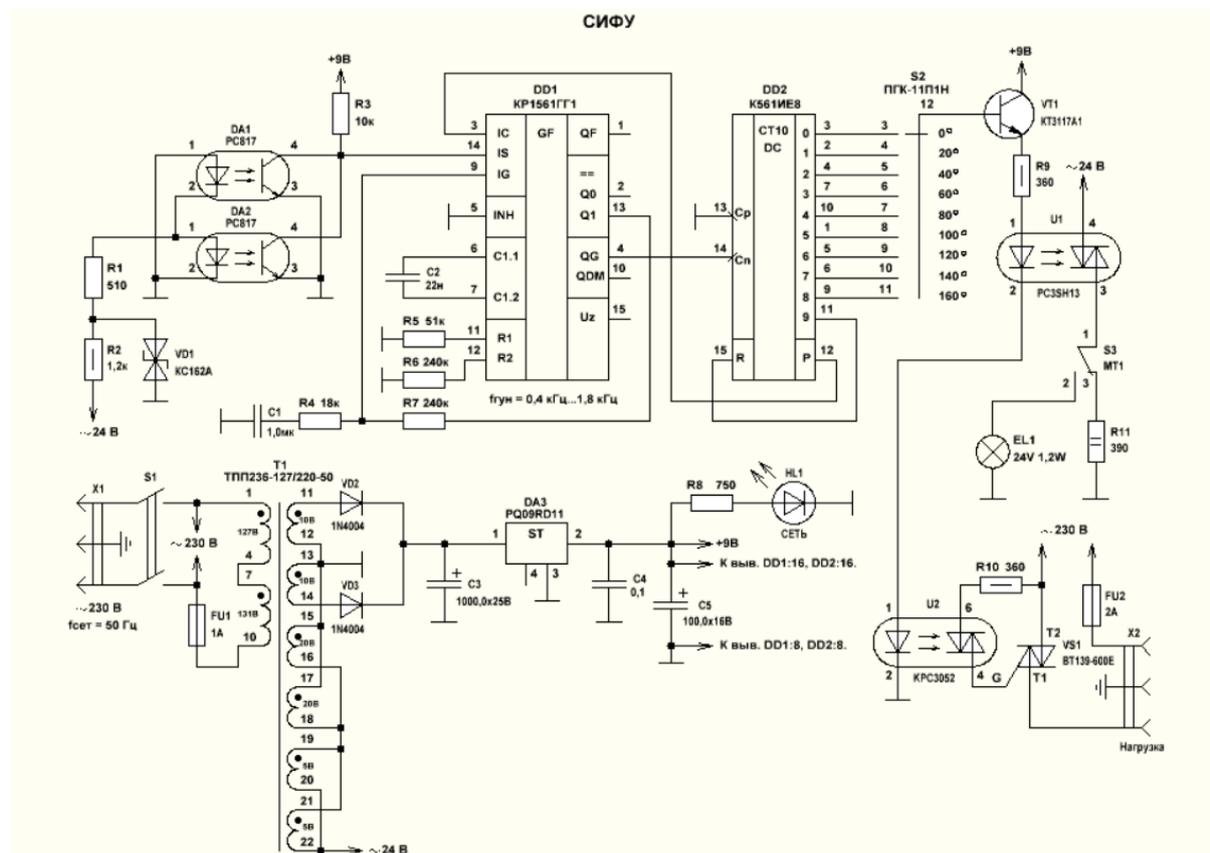


Рис.7. Принципиальная схема макета СИФУ

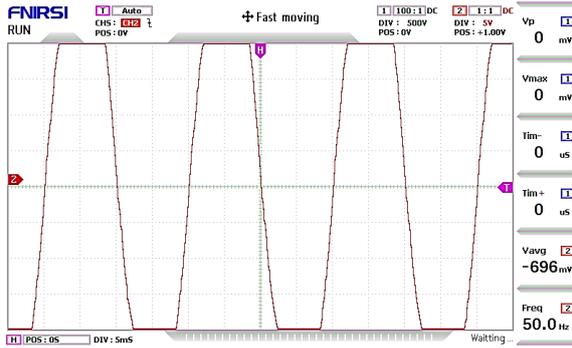


Рис.8. Сигнал с генератора

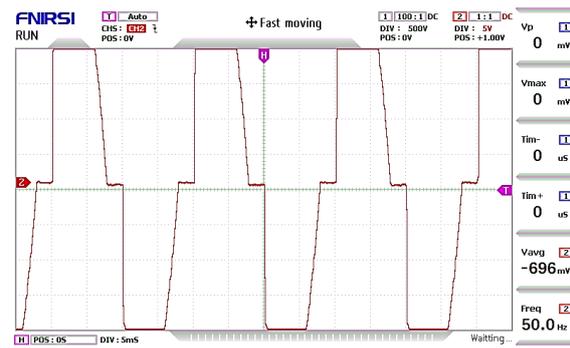


Рис. 9. Сигнал на выходе при 40°

K561IE8 представляет собой десятичный счетчик-делитель. Он имеет 10 дешифрованных выводов Q0 – Q9, но в данной схеме используются только 4 выхода. Внутренняя схема содержит в себе пятикаскадный счетчик Джонсона и дешифратор.

Пятикаскадный счетчик Джонсона (Johnson counter) – это вид счетчика, который используется в цифровой электронике для последовательного перебора всех своих состояний, обеспечивая при этом равномерное распределение сигналов по выходам. Он называется "пятикаскадным", потому что обычно имеет 5 битовых выходов (или 5 состояний).



Рис. 10. Сигнал при положении 140°

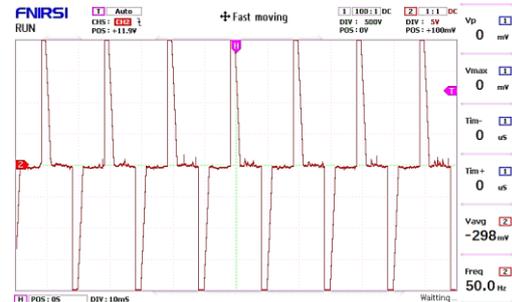


Рис. 11. Сигнал при положении 120°

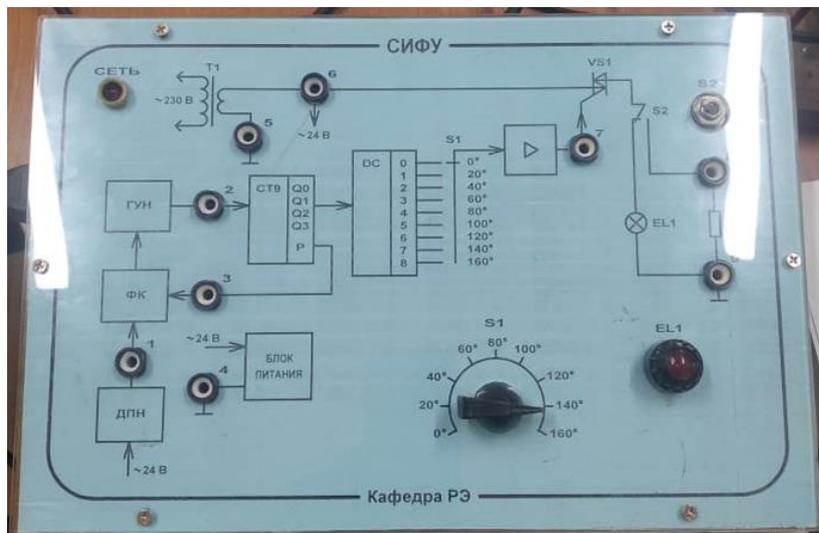


Рис. 12. Общий вид макета

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что при увеличении угла фазового сдвига изменяется ширина полосы пропускания сигнала. Также данная разработка имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичными устройствами. А именно, частотная независимость, что улучшает стабильность и точность работы СИФУ; возможность подключение вычислительных устройств, внося в схему небольшую корректировку.

Список используемых источников

1. Забродин Ю. С. Промышленная электроника. М: Высшая школа, 1982. 496с.
2. Беркович Е. И. Полупроводниковые выпрямители. М.: Энергия, 2008.
3. Шило В. Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. М.: Ягуар, 1993. 64 с.
4. Справочник по преобразовательной технике. Киев: Техника, 2000.

УДК 548.74
ГРНТИ 239.19.11

ДИФРАКЦИЯ НА ДВУМЕРНЫХ СТРУКТУРАХ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ УПОРЯДОЧЕННОСТИ, СОДЕРЖАЩИХ ЧУЖЕРОДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

С. А. Князев, Н. Л. Урванцева, Ю. В. Шарихина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В рамках кинематической теории рассеяния рассматриваются особенности дифракции на поверхностных структурах, состоящих из отдельных двумерных блоков основного материала и чужеродных включений. Показано, что кинематическое приближение вполне адекватно связывает реальную блочную структуру с интенсивностью, формой и угловым положением дифракционных максимумов.

кинематическая теория рассеяния, блочная структура, чужеродные включения

Разработка технологий создания электронных устройств в нано и суб-нанометровом масштабе требует доскональных знаний о структуре, рельефе и химическом составе поверхности твердого тела на уровне одного атомного слоя. Наиболее подходящими для этой цели являются методы дифракции медленных электронов (ДМЭ) оже электронная и атомно-силовая спектроскопии. Целью данной работы является выяснение способности кинематического приближения в методе ДМЭ адекватным образом описать реальную структуру и ее трансформацию одного атомного слоя. Интенсивность дифракционных максимумов представлена в условных единицах (у. е.), где амплитуда рассеянной волны $A_0 = 1$.

Трансформация структуры поверхности монокристалла, предварительно обработанной на воздухе шлифовкой и полировкой

Начальная стадия обработки образца в вакуумной камере дифрактометра. Поверхность монокристалла состоит из блоков, разориентированных друг относительно друга. Для описания такого состояния верхнего атомного слоя образца рассмотрим дифракционную картину от системы из 3-х блоков, лежащих в одной плоскости и имеющих элементарную ячейку, соответствующую структуре объема (рис. 1).

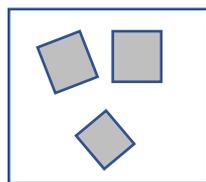


Рис. 1. 3-х блочная структура

$$I = \left| \frac{1 - \exp(I \cdot 10 \cdot (x \cdot 0.8 + y \cdot 0.6))}{1 - \exp(I \cdot (x \cdot 0.8 + y \cdot 0.6))} \cdot \frac{1 - \exp(I \cdot 10 \cdot (y \cdot 0.8 - x \cdot 0.6))}{1 - \exp(I \cdot (y \cdot 0.8 - x \cdot 0.6))} + \frac{\exp(I \cdot 22 \cdot x) - \exp(I \cdot 12 \cdot x)}{1 - \exp(I \cdot x)} \cdot \frac{1 - \exp(I \cdot 10 \cdot y)}{1 - \exp(I \cdot y)} + \exp(I \cdot (13 \cdot x + 14 \cdot y)) \cdot \frac{1 - \exp(I \cdot 10 \cdot (x \cdot 0.5 + y \cdot 0.866))}{1 - \exp(I \cdot (x \cdot 0.5 + y \cdot 0.866))} \right|^2 \cdot \frac{1 - \exp(I \cdot 10 \cdot (y \cdot 0.5 - x \cdot 0.866))}{1 - \exp(I \cdot (y \cdot 0.5 - x \cdot 0.866))} \quad (1)$$

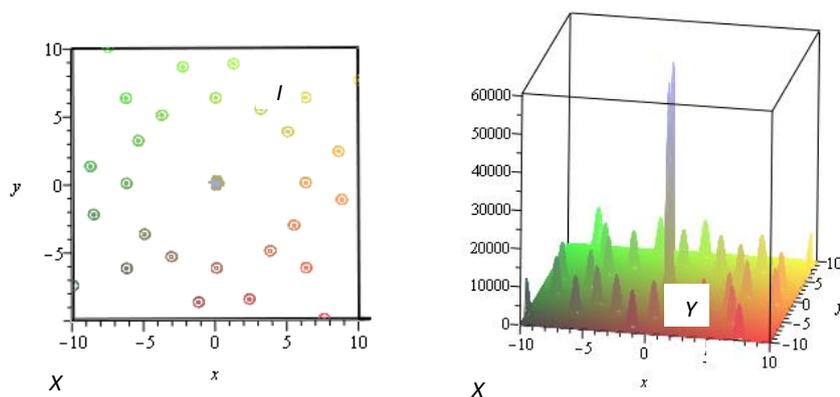


Рис. 2. Интенсивность и угловое положение рефлексов

Дифракционная картина представляет собой простое наложение картин от каждого из блоков по отдельности (рис. 2). Исключение составляет (00) рефлекс, который, в силу интерференционных эффектов, имеет раздвоенную форму и большую интенсивность. Вывод формулы (1) и детальные обсуждения см. в [1].

Следующая стадия рекристаллизации относится к ситуации, когда проявляется ориентирующее действие монокристалла подложки и все блоки ориентируются одинаковым образом. В качестве примера рассмотрим систему из 6-ти блоков (рис. 3).

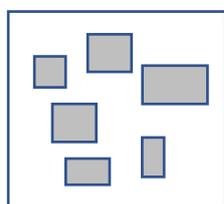


Рис. 3. 6-ти блочная структура

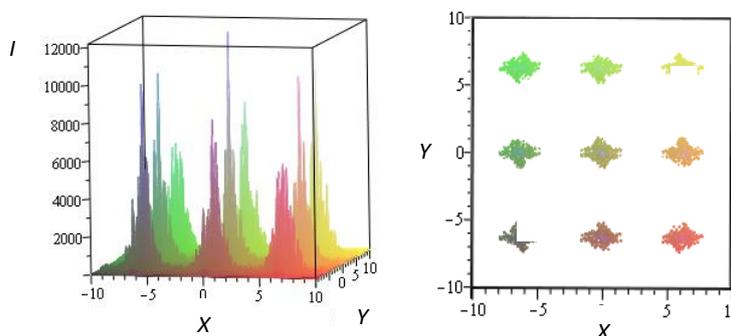


Рис. 4. Интенсивность и угловое положение рефлексов

Угловые положения дифракционных максимумов уже соответствуют дифракции от одного блока (рис. 4). Образование множества мелких максимумов вокруг брегговских рефлексов объясняется межблочной интерференцией.

Завершающим этапом рекристаллизации поверхности образца является получение структуры, которая соответствует расположению атомов в объеме монокристалла. В качестве примера рассмотрим дифракцию на «идеальной» структуре 10×10 с квадратной единичной ячейкой, представленной на рис. 5. Все рефлексы имеют одинаковую интенсивность во всем диапазоне длин волн, равную N^2 т. е. $(10 \times 10)^2 = 10\,000$ у. е. (рис. 6) Детальные обсуждения см. в [2].

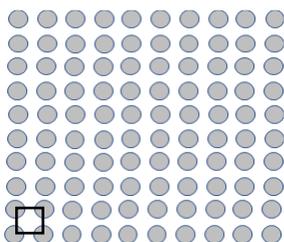


Рис. 5. Структура 10x10 с квадратной единичной ячейкой

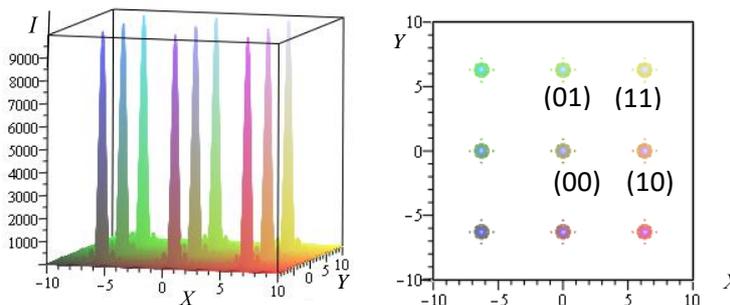


Рис.6. Интенсивность и угловое положение рефлексов

Дифракция на блочных структурах с инородными включениями

Будем считать, что расположение этих примесей связано со структурой основного материала, а амплитуда рассеяния основных и чужеродных атомов одинакова и равна 1 в у. е.

Дифракция на блоке 2x10 основного и цепочки 1x10 инородного материала (И.М.)



Рис. 7. Блок 10x2 с цепочкой инородного материала

$$I = \left| \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 2 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot y)} + \exp(i \cdot (0.5 \cdot x - 0.5 \cdot y)) \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \right|^2 \quad (2)$$

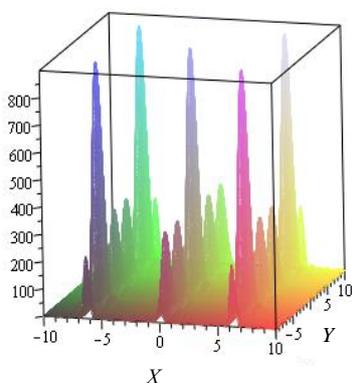


Рис.8. Интенсивность и угловое положение рефлексов

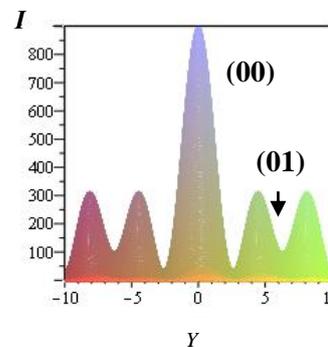
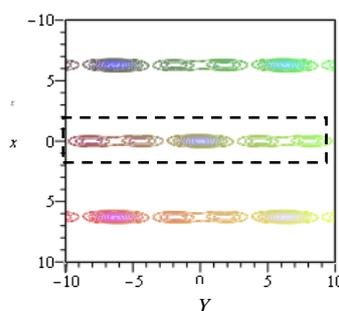
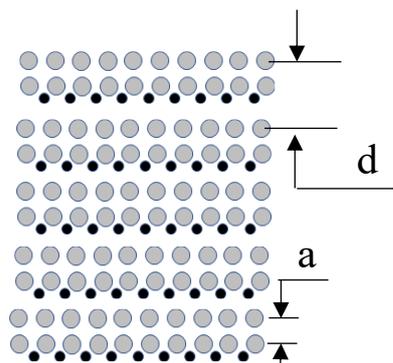


Рис. 9. Сечение вдоль оси Y

Предварительные расчеты дифракционной картины от «чистой» структуры 2x10 показали, что все рефлексы имеют одинаковую интенсивность, наблюдается асимметрия формы рефлексов из-за различия числа рассеивающих центров по осям. Из рис. 8 и 9 видно, что появление цепочки инородного материала приводит к различию в интенсивности разнотипных рефлексов. Возникает раздвоение рефлексов с малой интенсивностью.

Дифракция на системе из 5-ти блоков 2×10 с линейными цепочками ино-родного материала



$$I = \left| \left(\frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 2 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot y)} + \exp(i \cdot (0.5 \cdot x - 0.5 \cdot y)) \right) \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 20 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot 4 \cdot y)} \right|^2 \quad (3)$$

Рис. 10. Пятиблочная структура

Рассмотрим изменения дифракционной картины при увеличении числа блоков 2×10 с цепочкой И. М. (рис.10, d-расстояние между блоками, a- меж-атомное расстояние). Интенсивность и угловое положение дифракционных максимумов (рис. 11, 12) определяются соотношением (3).

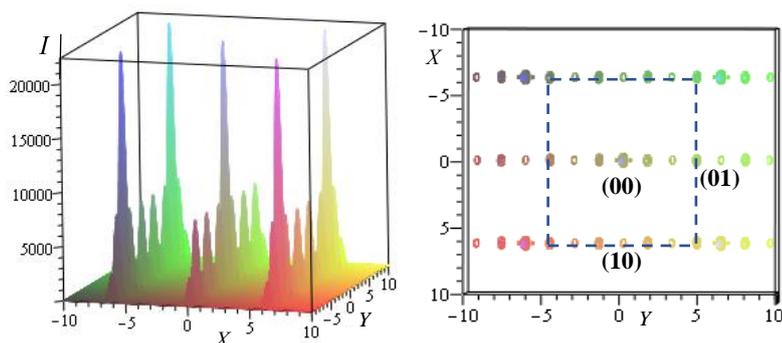


Рис.11. Интенсивность и угловое положение рефлексов

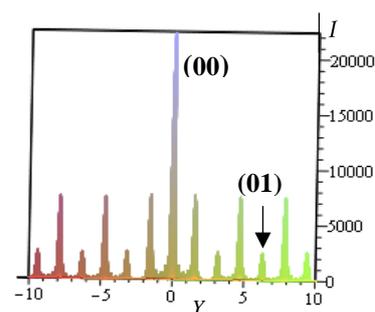


Рис. 12. Сечение вдоль оси Y

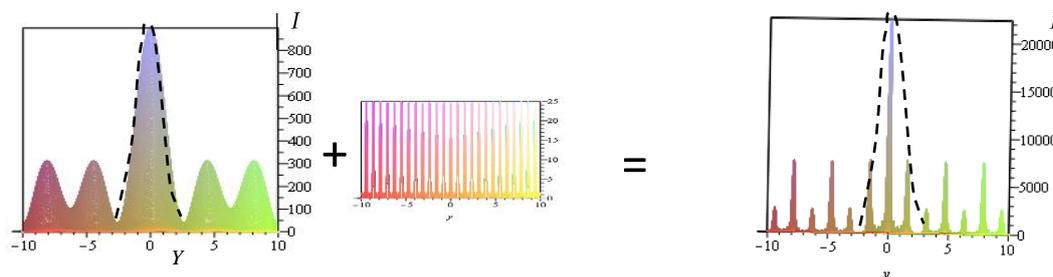


Рис. 13. Дифракция на одном блоке + многолучевая интерференция

Переход от широких максимумов предыдущего случая к отдельным узким рефлексам является результатом наложения дифракции на одном блоке на межблочную интерференцию (рис.13). Частота следования узких максимумов растет с увеличением расстояния между блоками d. Детальные об-суждения см. в [3].

Дифракция на системе из основного блока 10×10 и блока 5×5 инородного материала

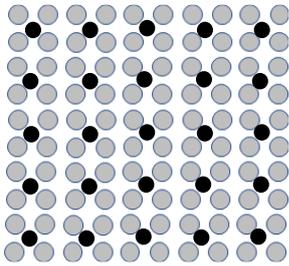


Рис. 14. Блок 10×10 и блок 5×5 инородного материала

$$I = \left| \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot x) - 1}{\exp(I \cdot x) - 1} \cdot \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot y) - 1}{\exp(I \cdot y) - 1} + \exp(I \cdot (0.5 \cdot y + 0.5 \cdot x)) \right. \\ \left. \cdot \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot x) - 1}{\exp(I \cdot 2 \cdot x) - 1} \cdot \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot y) - 1}{\exp(I \cdot 2 \cdot y) - 1} \right|^2 \quad (4)$$

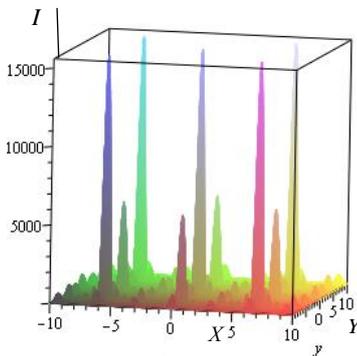


Рис. 15. Интенсивность и угловое положение рефлексов

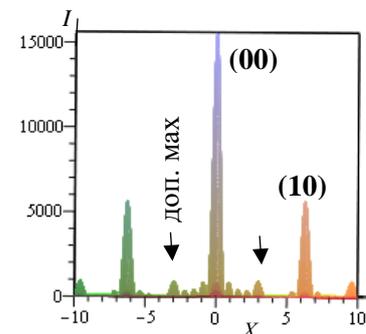
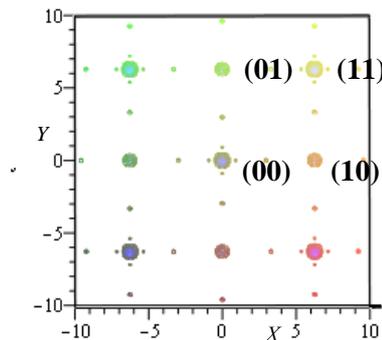


Рис.16. Сечение вдоль оси X

Интенсивность и угловое положение дифракционных максимумов определяются соотношением (4). Сравним полученные результаты с результатами дифракции на «чистой» структуре 10×10 (рис. 5). В данном случае интенсивность рефлексов типа (00), (11), (20) определяется как $(N_{10 \times 10} + N_{5 \times 5})^2 = 15\,625$ у.е., рефлексов типа (10) как $(N_{10 \times 10} - N_{5 \times 5})^2 = 5\,625$ у.е., а дополнительных дифракционных максимумов $p(2 \times 2)$ как $N_{5 \times 5}^2 = 625$ у.е. Таким образом, интенсивность этих сверхструктурных рефлексов в кинематике не превышает интенсивности фона.

Дифракция на системе из основного блока 10×10 и 4-х блоков 3×3 инородного материала

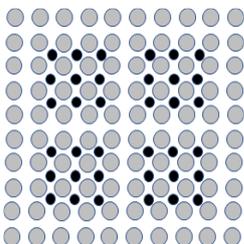


Рис. 17. Структура 10×10 + 4 блока 3×3

$$I = \left| \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(I \cdot x)} \cdot \frac{\exp(I \cdot 10 \cdot y) - 1}{1 - \exp(I \cdot y)} + \exp(I \cdot (1.5 \cdot y + 1.5 \cdot x)) \right. \\ \cdot \frac{\exp(I \cdot 8 \cdot x) - 1}{1 - \exp(I \cdot x \cdot 4)} \cdot \frac{\exp(I \cdot 8 \cdot y) - 1}{1 - \exp(I \cdot 4 \cdot y)} \\ \left. \cdot \frac{\exp(I \cdot 3 \cdot x) - 1}{1 - \exp(I \cdot x)} \cdot \frac{\exp(I \cdot 3 \cdot y) - 1}{1 - \exp(I \cdot y)} \right|^2 \quad (5)$$

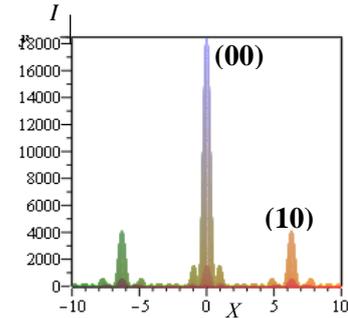
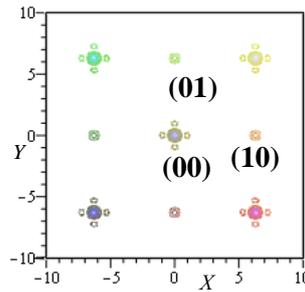
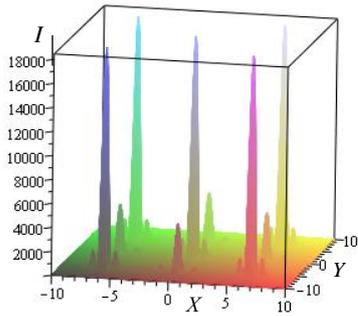


Рис.18. Интенсивность и угловое положение рефлексов Рис. 19. Сечение вдоль оси X

Интенсивность и угловое положение дифракционных максимумов определяются соотношением (5). Сравним полученные результаты для данной структуры (рис. 18) с результатами дифракции на «чистой» структуре 10×10 (рис. 5). В данном случае интенсивность рефлексов типа (00), (11), (20) определяется как $(N_{10 \times 10} + 4N_{3 \times 3})^2 = 18\,500$ у. е., рефлексов типа (10) как $(N_{10 \times 10} - 4N_{3 \times 3})^2 = 4\,100$ у. е., а дополнительные рефлексы, обусловленные межблочной 3×3 интерференцией, отсутствуют.

Дифракция на системе из основного блока 10×10 и 5-ти цепочек инородного материала

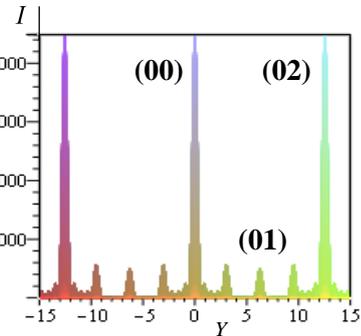
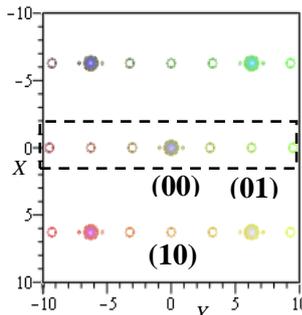
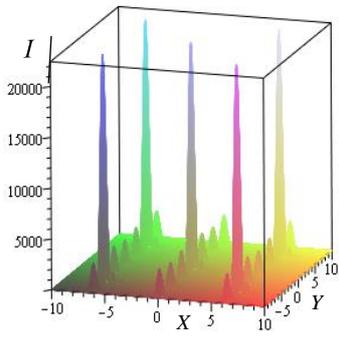


Рис. 21. Интенсивность и угловое положение рефлексов

Рис. 22. Сечение вдоль оси

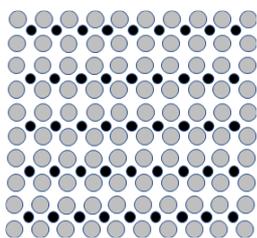


Рис. 20. Структура 10×10 и 5-ти цепочек И.М.

$$I = \left| \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot y)} + \exp(i \cdot (0.5 \cdot y + 0.5 \cdot x)) \right|^2 \quad (6)$$

Интенсивность и угловое положение дифракционных максимумов определяются соотношением (6). Сравним полученные результаты для данной структуры (рис. 20) с результатами дифракции на «чистой» структуре 10×10 (рис. 5). В данном случае интенсивность рефлексов типа (00), (11), (20) определяется как $(N_{10 \times 10} + 5 \cdot 10)^2 = 22\,500$ у. е., рефлексов типа (10) как $(N_{10 \times 10} - 5 \cdot 10)^2 = 2\,500$

у. е. Таким образом дополнительные рефлексy, обусловленные вкладом цепочек инородного материала, на порядок меньше интенсивности основных рефлексов.

*Дифракция на системе из основного блока и блока инородного материала:
 $10 \times 10 + 10 \times 10$*

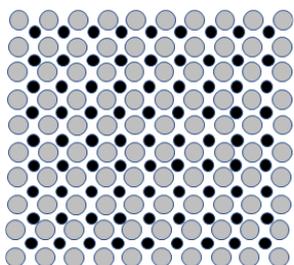


Рис. 23. Блок 10×10
+ блок 10×10 И. М.

$$I = \left| \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot y)} + \exp(i \cdot (0.5 \cdot y + 0.5 \cdot x)) \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot x) - 1}{1 - \exp(i \cdot x)} \cdot \frac{\exp(i \cdot 10 \cdot y) - 1}{1 - \exp(i \cdot y)} \right|^2 \quad (7)$$

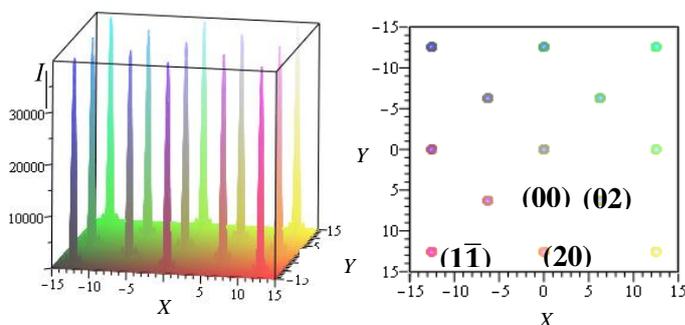


Рис. 24. Интенсивность и угловое положение рефлексов

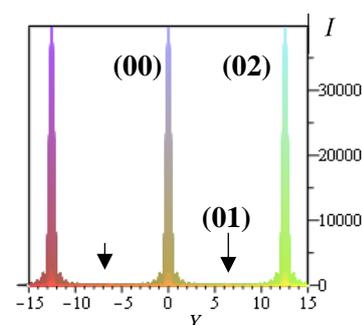


Рис. 25. Сечение вдоль оси

Интенсивность и угловое положение дифракционных максимумов определяются соотношением (7). Все наблюдаемые дифракционные максимумы имеют одинаковую интенсивность. Рефлексы типа (10) исчезают полностью.

Представленные выше примеры расчета дифракционных картин от несовершенных структур показали, что кинематическое приближение вполне адекватно связывает реальную блочную структуру с интенсивностью, формой и угловым положением дифракционных максимумов.

Список используемых источников

1. Князев С. А., Обидов Б. А. Дифракция на структуре из разориентированных блоков в кинематическом приближении // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 619–624
2. Иверонова В. И., Ревкевич Г. П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: изд-во МГУ, 1978.
3. Князев С. А. Дифракция на сверхструктурных поверхностях в кинематическом приближении // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 650–658

УДК 519.854
ГРНТИ 49.03.05

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИИ ОЦИФРОВАННОГО СИГНАЛА ОТ ШУМОВ

А. А. Кокорина, П. В. Плотников

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассматривается математическая модель фильтрации оцифрованного сигнала от помех (шумов). Для ее реализации выбран подход, основанный на схеме дискретного преобразования Фурье. С целью повышения эффективности работы модели также рассматривается схема быстрого преобразования Фурье, позволяющая повысить скорость фильтрации. Проводится описание программной реализации модели на языке программирования C++.

дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье, фильтрации оцифрованного сигнала, C++

Язык программирования C++ – один из наиболее популярных языков программирования, который используется для разработки широкого спектра программного обеспечения. Этот язык также широко применяется в интенсивной обработке данных и научных расчетах.

Программы на C++ компилируются в машинный код, что позволяет им работать значительно быстрее, чем программы, написанные на интерпретируемых языках программирования. Это делает C++ особенно подходящим для разработки производительных и высоконагруженных систем.

Сигналы могут приобретать шумы из-за некачественного оборудования, перехода через физическую среду, передачи на большие расстояния, источников электромагнитных полей и т.д. Все эти факторы могут приводить к появлению помех, что значительно снижает его качество и влияет на считывание передаваемой информации.

Оцифрованный сигнал – это сигнал, который был преобразован из аналоговой формы в цифровую с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [1]. АЦП измеряет амплитуду аналогового сигнала в определенные моменты времени и преобразует эти значения в бинарный код, который может быть записан и обработан цифровыми устройствами.

Важность выбора большей частоты дискретизации для оцифрованного сигнала связана с тем, что качество оцифрованного сигнала зависит от точности измерения амплитуды сигнала на момент дискретизации. Сигнал может содержать высокочастотные компоненты или быстро изменяющиеся детали, которые могут быть упущены при большом шаге дискретизации.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [2] – это численный метод преобразования сигнала из пространства времени в пространство частоты. Он используется для анализа спектра частот сигнала и нахождения гармонических компонент сигнала. ДПФ широко используется в алгоритмах сжатия информации.

ДПФ задается формулой:

$$X(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot e^{-i\frac{2\pi}{N}nk},$$

где N – число отсчетов, $x(k)$ – дискретный сигнал, $X(n)$ – коэффициент разложения ДПФ, k – номер отсчета, n – номер гармоники.

Воспользовавшись одним из свойств ДПФ, можно сократить число вычислений. В частности, номера коэффициентов разложения ($X(n)$), симметричные относительно $\frac{N}{2}$, являются комплексно-сопряженными:

$$X(N-n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot e^{-i\frac{2\pi}{N}(N-n)k} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot e^{i\frac{2\pi}{N}nk}.$$

Авторами предложена программа, реализующая вышеописанные преобразования, написанная на языке программирования C++.

Общая алгоритмическая схема приведена на рисунке 1.

Программа моделирования содержит реализацию функции, которая рассчитывает коэффициенты разложения ДПФ и возвращает значения действительной и комплексной части $X(n)$ в виде структуры `pair`. Также для проверки того, что в процессе преобразования нет потерь полезного сигнала с заданной точностью, в программе реализована функция, возвращающая значения дискретного сигнала по его коэффициентам разложения. Для этого используется обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ).

ОДПФ задается формулой:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) \cdot e^{i\frac{2\pi}{N}nk},$$

В программе также реализована функция, эмулирующая дискретный сигнал с шагом дискретизации 7,8125 мс. Далее эти значения помещаются в динамический массив `signal_before`. После чего создается новый динамический массив, значения элементов которого и будут использоваться для нахождения коэффициентов разложения ДПФ, `signal_after`, который заполняется значениями исходного сигнала с шагом 15, 625 мс.

Однако важно также учитывать, что выбор слишком большой частоты дискретизации может привести к увеличению объема данных и затратам на хранение, передачу и обработку информации.

Вычислительная сложность дискретного преобразования Фурье (ДПФ) составляет $O(N^2)$, что занимает значительные вычислительные мощности и временные затраты при большом количестве отсчетов в сигнале. При этом с уменьшением значения N , фильтровать сигнал будет необходимо со значительно меньшей точностью.

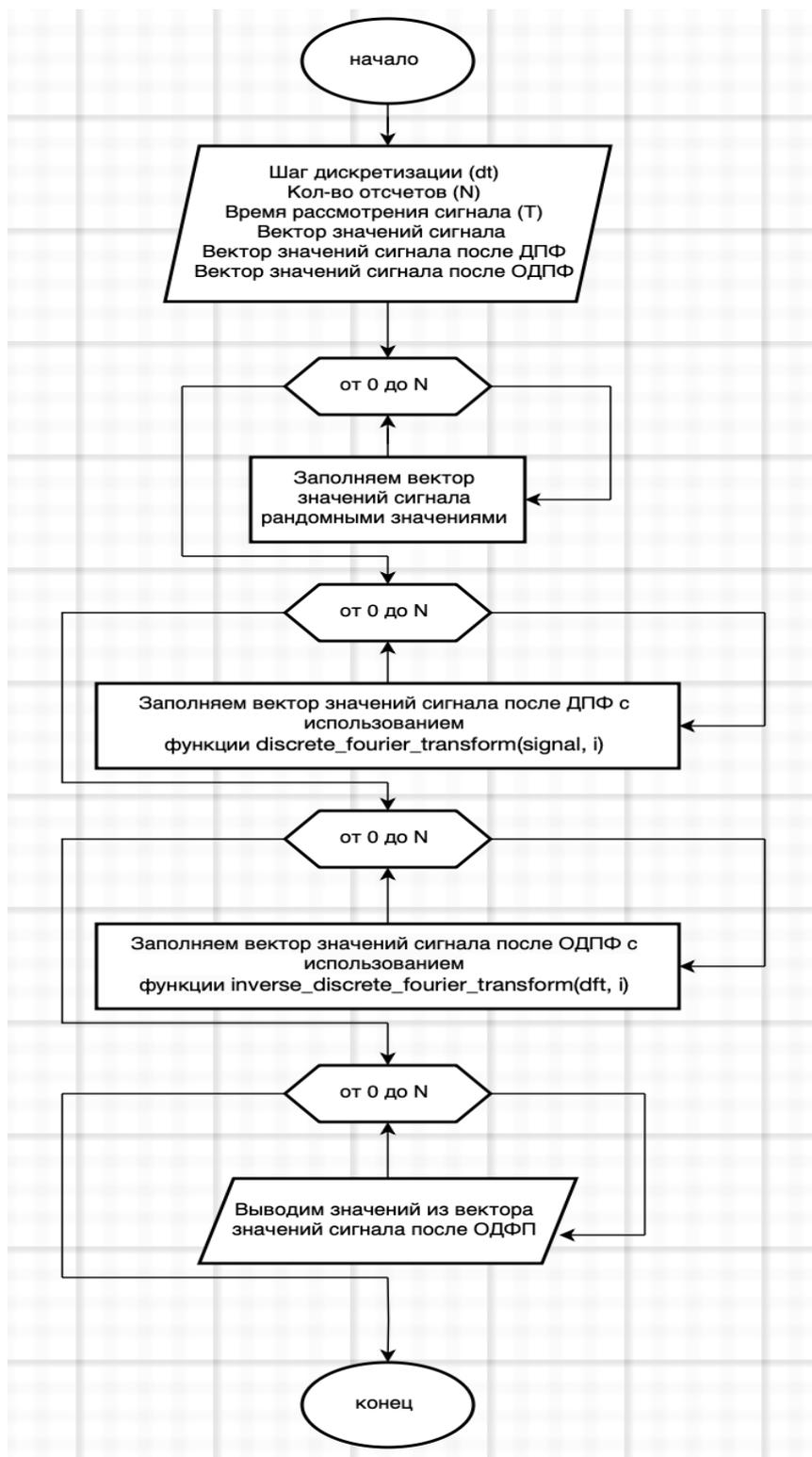


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

В этой связи стоит оптимизировать решения с использованием более совершенных алгоритмов, одним из которых является быстрое преобразование Фурье (БПФ) – алгоритм Кули-Тьюки [3]. При количестве отсчетов равных степени двойки ($N = 2^k$, k – натуральное число) достигается максимальный оптимизационный выигрыш, вычислительная сложность алгоритма становится равна $O(N \log_2 N)$.

Результаты моделирования, с использованием авторской программной реализации алгоритма, для исходного и отфильтрованного сигналов приведены на рисунке 2.

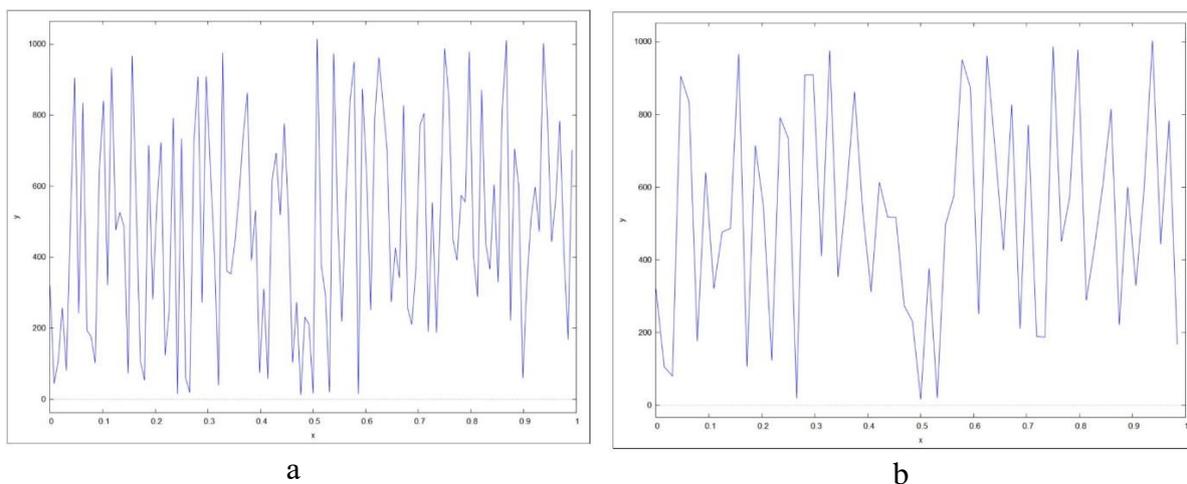


Рис. 2. а – сигнал до фильтрации; б – сигнал после фильтрации

Область применения разработанной программной реализации модели достаточно широкая. Авторская программа позволяет, например, фильтровать оцифрованный сигнал в цифровых устройствах от шумов, например, сигнал, полученный с датчиков микроконтроллера [4]. Результаты моделирования в сравнении с другими реализациями рассматриваемых алгоритмов показывают, что фильтрация проводится с достаточно высокой эффективностью.

Список используемых источники:

1. Денисов А. Е., Данилаев Д. П. Использование радиотонного аналого-цифрового преобразователя в структуре цифрового радиоприемного устройства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2023. № 3 (59). С. 33–44.
2. Кошелева Д. Д., Доронина А. В. Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье // Инновации. Наука. Образование, 2021. № 38. С. 626–632.
3. Кухарчук Н. В. Редактирование звукового спектра с использованием дискретного преобразования Фурье // Информационные технологии и автоматизация управления. 2023. С. 132–135.
4. Dilys J., Stankevič V., Luksza K. Implementation of extended kalman filter with optimized execution time for sensorless control of a PMSM using arm cortex-m3 microcontroller // Energies. 2021. Т. 14. №. 12. С. 3491.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.99

СИНТЕЗ МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА С ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫМИ ИНВЕРТОРАМИ

А. Р. Кубалова

Санкт-Петербургский государственный университет коммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Предложена аппроксимативная методика синтеза золотаревского фильтра СВЧ с четвертьволновыми инверторами сантиметрового диапазона, реализованными симметричными полосковыми линиями. Основные этапы расчета фильтра: определение соответствующего прототипа НЧ; трансформирование прототипа НЧ в полосовой фильтр; применение преобразования Джекффе; введение инверторов в схему фильтра и определение всех импедансов. Приведен пример расчета микроволнового эллиптического полосового фильтра сантиметрового диапазона.

фильтр-прототип нижних частот, инвертор, микроволновый фильтр, полосно-пропускающий фильтр, преобразование Джекффе

Равноволновая в полосе пропускания (ПП) и в полосе заграждения (ПЗ) характеристика ослабления, аппроксимирующаяся дробями Золотарева является эллиптической, так как параметры нулей и полюсов дробей Золотарева исчисляются через эллиптические функции Якоби. Эллиптический фильтр (ЭФ) имеет большую избирательность относительно чебышевского, и его применение уместно, когда необходимо обеспечить большее ослабление и высокую крутизну при малой переходной области. Данных характеристик можно добиться при уменьшенном числе элементов в схеме сравнительно с чебышевским, и в случае одинаковой добротности резонаторов у ЭФ наблюдают лучшее ослабление в ПП. Таким образом, ЭФ является более экономичным, и в случае микроволнового диапазона более компактным фильтром. Характеристики синтезируемого полосовно-пропускающего фильтра (ППФ) и других СВЧ фильтров при сравнении таковы: например, ЭФ без потерь с $n=7$ и неравномерностью ослабления в ПП 0,1 дБ имеет отношение полосы в 40 дБ к ПП в 0,1 дБ равным 1,105. Равноволновый фильтр с $n = 7$ и неравномерностью 0,1 дБ при расширении ПП в 1,105 раза будет иметь ослабление только 17 дБ. Для узких полос (от долей процента до 5 %), где потери становятся важны, ЭФ имеют более низкие потери сравнительно с другими фильтрами и самую высокую избирательность. Одним из приемлимых видов реализации СВЧ ЭФ является шлейфный ППФ с реализацией на симметричных полосковых линиях [1, 2]. Синтез микроволновых фильтров сводится к син-

тезу цепей с сосредоточенными параметрами с переходом с помощью частотного преобразования Ричардса к цепям на распределенных параметрах, с дальнейшей реализацией цепи с помощью тождеств Куроды. В ряде случаев используются приближенные методы синтеза, при расчете узкополосных фильтров применяется введение идеальных инверторов. Если ослабление ППФ в нижней и верхней ПЗ геометрически симметричны, то алгоритм синтеза упрощается, ППФ рассчитывается путем частотных преобразований нормированного эллиптического фильтра-прототипа нижних частот (ФПНЧ). Эллиптический ФПНЧ с параллельным резонаторным контуром в продольных ветвях с помощью реактансного частотного преобразования превращается в ПФ, чьи продольные ветви образуются четырехэлементными реактивными двухполюсниками. Так как двухполюсники неудобны при конструировании реальных физических устройств и их настройке, при проектировании схем на сосредоточенных элементах предпочтительна эквивалентная схема с двумя последовательно включенными резонансными контурами. При реализации фильтров на распределенных элементах в диапазоне сверхвысоких частот эта схема неудобна – каждая общая точка пары резонаторов в последовательной ветви обладает потенциалом, отличным от нулевого, из-за чего будет проявляться влияние паразитной емкости, которая будет существовать между этой общей точкой и землей и которая не учитывается в схеме замещения. Возникающее осложнение решается переходом к схеме с избыточным числом элементов – избыточность достигается введением дополнительных параллельных контуров между общими точками параллельных контуров в продольных ветвях схемы и землей. Разделим схему и поместим между полученными частями идеальные трансформаторы с коэффициентами трансформации η и $1/\eta$. Сопротивление элементов схем, находящихся между трансформаторами, увеличится в η^2 раз. Для устранения из схемы идеальных трансформаторов заменим преобразованные части схемы эквивалентными П-образными схемами в соответствии с преобразованием Нортона [3]. Элементы полученной схемы связаны с элементами исходной схемы преобразованиями Джеффе [4]:

$$C_1 = \frac{\eta \cdot L_C - (1-\eta) \cdot L_A}{\eta \cdot L_A \cdot L_C} \quad L_1 = \frac{\eta \cdot L_A \cdot L_B}{\eta \cdot L_B - (1-\eta) \cdot L_A} \quad L_2 = \eta \cdot L_B \quad L_3 = \eta \cdot L_C \quad L_X = \frac{L_B \cdot L_C}{L_B + L_C}$$

$$L_0 = \frac{\eta^2 \cdot L_X}{1-\eta} \quad C_4 = \frac{\eta \cdot L_B - (1-\eta) \cdot L_D}{\eta \cdot L_B \cdot L_D} \quad L_4 = \frac{\eta \cdot L_C \cdot L_D}{\eta \cdot L_C - (1-\eta) \cdot L_D}$$

При реализации фильтров СВЧ диапазона удобно использовать схему замещения, состоящую из контуров, включенных либо только в параллельные, либо в последовательные ветви. Такие схемы получаются включением

в соответствующие узлы схемы инверторов. Если в цепь ввести инвертор, то правый двухполюсник (нагрузку инвертора) заменяют на обратный двухполюсник, который находят, используя принцип дуальности [2, 5]. Инверторы дают возможность от лестничной цепи перейти к цепи либо с последовательными, либо с параллельными ветвями. Известны формулы, дающие возможность определить связи между параметрами инверторов и преобразуемыми проводимостями или сопротивлениями. При синтезе данного фильтра параметры инверторов уже назначены, необходимо найти преобразованное сопротивление Z_n через исходное Z'_n . Эти формулы рассчитаны из схемных преобразований:

$$n - \text{нечетное, } Z'_n = \frac{K'_{n-1,n} \dots K'_{23}}{K'_{n-2,n-1} \dots K'_{12}} Z_n; \quad n - \text{четное, } Z'_n = \frac{K'_{n-1,n} \dots K'^2_{12}}{K'_{n-2,n-1} \dots K'^2_{23}} Z_n.$$

Подобные формулы можно представить и для схем с только последовательными ветвями. Введение в схему инверторов создает конкретную структуру цепи, нестрогий выбор параметров инверторов помогает выполнить преобразования физической реализуемости. Идеальный инвертор физически не реализуем, поэтому в качестве замещения применяют четырехполюсники с отрицательными элементами, которые после введения инвертора в цепь компенсируют положительными элементами цепи, либо замещают четырехполюсником, имеющим инвертирующие свойства в ограниченном частотном диапазоне. Для прототипа ППФ используется двойное частотное преобразование Ричардса [5]. Если ввести в данный прототип инверторы и перейти к цепи с параллельными ветвями, то реализуем схему, состоящую из инверторов и резонансных контуров, реализуемых через отрезки полосковых линий. При узком диапазоне частот разомкнутый четвертьволновый отрезок линии имеет те же частотные характеристики, что и последовательный резонансный контур с сосредоточенными параметрами. Из условия тождества резонансных частот и равенства на этой частоте первых производных реактивного сопротивления (или равенства параметров крутизны) волновое сопротивление четвертьволнового резонатора равно: $\frac{Z_{\lambda/4}}{R} = \frac{4L'\Omega_0}{\pi}$. Добротности контуров будут равны, если R – нагрузочное сопротивление. Параллельный контур на сосредоточенных элементах в узком диапазоне частот реализует полуволновым разомкнутым отрезком линии. При тех же условиях, что и для четвертьволнового шлейфа, волновое сопротивление полуволнового разомкнутого отрезка линии $\frac{Z_{\lambda/2}}{R} = \frac{\pi}{2C'\Omega_0}$, где L' и C' – безразмерный элемент резонансного контура прототипа, Ω_0 – нормированная резонансная частота контура, R – нормированное сопротивление фильтра. Реализуя инверторы четвертьволновыми шлейфами, а параллельные ветви полуволновыми и четвертьволновыми разомкнутыми шлейфами, получим простую конструкцию фильтра без

входной и выходной цепей. При реализуемых параметрах волновых сопротивлений резонаторов $Z_{\lambda/4}$ и $Z_{\lambda/2}$ сопротивление R равно сотням Ом, поэтому при предложенной нагрузке $R_l = 50$ Ом включаем идеальный инвертор $K_{01} = \sqrt{RR_l}$. Однако этот инвертор нельзя физически реализовать четвертьволновым отрезком линии из-за высокого волнового сопротивления, поэтому параллельный резонансный контур с высокоомной нагрузкой Z_H возможно точно реализовать каскадным введением полуволнового шлейфа с волновым сопротивлением: $\frac{Z_1}{R} = \frac{\pi}{2C'_1\Omega_1}$, где C'_1 – безразмерный элемент контура, Ω_1 – нормированная резонансная частота контура с сосредоточенными параметрами. Инвертор K_{01} целесообразно реализовать зазором, тогда входная цепь будет иметь упрощенную структуру. Контур $C'_1L'_1$ реализован линией с волновым сопротивлением R_l и зазор расположен, соответственно, в линии с волновым сопротивлением $Z_0 = R_l$.

Полуволновый резонатор уменьшен на $\varphi = -2\text{arctg} \frac{R_l}{K_0}$. Найденная реактивная проводимость $B_{01} = \frac{K_{01}}{K_{01}^2 - R_l^2}$ позволяет найти формулу примерного значения зазора: $\Delta_{\text{мм}} = \frac{2b_{\text{мм}}}{\pi} \text{Arctg}(e^a)$, $a = \frac{3B_{01}R_l \cdot 10^{11}}{b_{\text{мм}}\sqrt{\varepsilon}f_0}$, где $b_{\text{мм}}$ – расстояние между заземленными пластинами полосковой линии. Указанная формула примерна, требуется постройка значений. Резонаторы фильтра реализованы разомкнутыми шлейфами, требуется сокращение их длин, компенсирующее сосредоточенную емкость. Приближенная формула для определения длины резонатора: $l' = l_{\text{мм}} - 0,2b_{\text{мм}} \cdot \frac{C'_f}{\varepsilon}$, где $l_{\text{мм}}$ – теоретическая длина шлейфа, $b_{\text{мм}}$ – рас-

стояние между пластинами полосковой линии, $\frac{C'_f}{\varepsilon}$ – нормированная краевая емкость одиночного стержня. Представленный алгоритм расчета цепи – приближенный и может использоваться лишь для узкополосных фильтров.

Необходимо рассчитать фильтр: $f_0 = 30$ ГГц, $2\Delta f = 30$ МГц, $A_{\text{max}} \leq 0,1$ дБ, $A_{\text{min}} \geq 40$ дБ, $R_l = 50$ Ом. Этим условиям удовлетворяет ФПНЧ (рис. 1а). Используя полосовое частотное преобразование с постоянной a , найдем полосовой прототип (рис. 1б). Требуется преобразовать фильтр (обычное линейное преобразование), чтобы узлы цепи имели емкость на землю. Итоговая схема прототипа дана на рисунке 1в. Введем в структуру инверторы (рис. 1г). На рисунке 2 изображен эскиз полученного фильтра.

Показан алгоритм приближенной метода синтеза золотаревского фильтра СВЧ с четвертьволновыми инверторами на симметричной полосковой линии. Этапы расчета фильтра таковы: определение прототипа НЧ; преобразование прототипа НЧ в ППФ; использование преобразования Джеффе; введение инверторов в цепь и определение требуемых импедансов.

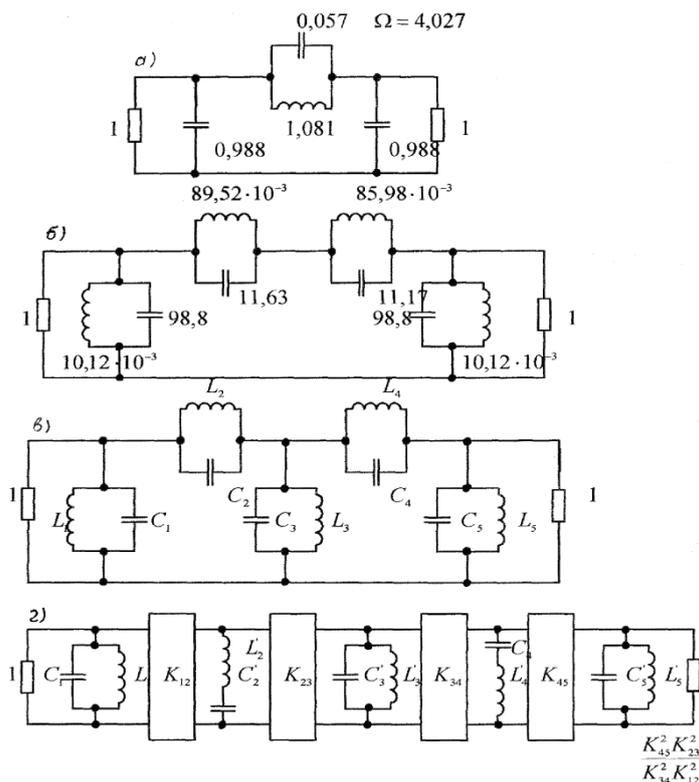


Рис. 1. Преобразование прототипа и введение инверторов: а – нормированный прототип НЧ; б – нормированный полосовой прототип; в – нормированный полосовой прототип после преобразования Джефффе; г – введение инверторов в схему

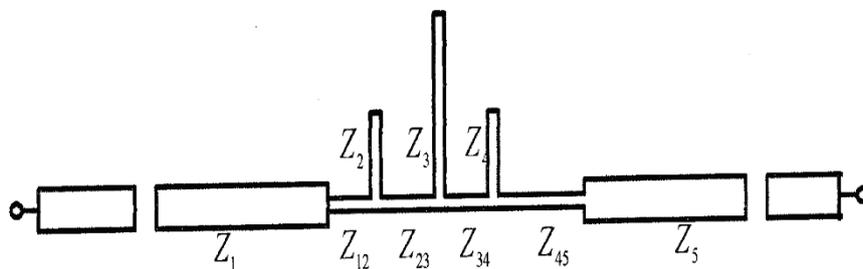


Рис. 2. Конструкция рассчитанной цепи

Список используемых источников

1. Маттей Г. Л., Янг Л., Джонс М. Г. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / пер. с англ. под общей редакцией Л. В. Алексева и Ф. В. Кушнера. Ч. 1. М.: Связь, 1971. 439 с.
2. Wai-Kai Chen Passive, active and digital filters. N. Y.: Taylor & Francis Group, 2006. 690 p.
3. Pregla R. Kompakte Mikrowellenfilter aus verkoppelten Leitungen // A.E.U., 1970. Vol. 24. № 2. PP. 98–100.
4. Geffe P. Simplified modern filter design. New York: Rider, 1963. 182 p.
5. Кубалова А. Р., Томашевич С. В. Синтез и моделирование микроволновых эллиптических фильтров. СПб: Издательство СПбГУТ, 2012. 216 с.

УДК 621.314.211
ГРНТИ 45.33.29

РАЗРАБОТКА ПЛАНАРНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НЕСКОЛЬКИМИ ВЫХОДАМИ

А. И. Кучерявый, Е. Ю. Передистов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Задачей проведения выполненных работ, была разработка планарного трансформатора для преобразователя напряжений с гальванической развязкой. Разработка планарного трансформатора – сложная теоретическая задача, которую автор поставил перед собой, однако некоторые преимущества планарных трансформаторов заставляют задуматься о их массовом применении в преобразователях всех видов.

планарные трансформаторы, трансформаторы, преобразователи напряжений

Планарные трансформаторы – это трансформатор, обмотки которого выполнены в виде конструкции из печатных плат. По сравнению с обычными трансформаторами, планарный трансформатор имеет следующие преимущества: значительно уменьшенную высоту (низкий профиль); большую площадь поверхности, в результате чего улучшается теплоотдача, уменьшается индуктивность рассеивания; хорошую воспроизводимость, которая обеспечивается структурой обмотки [1]. Также одним из преимуществ планарного трансформатора является меньше время сборки трансформатора. Автором было решено спроектировать планарный трансформатор, так как намотка импульсного трансформатора для высокочастотных схем – очень долгий и трудоемкий процесс.

На рисунке 1 изображено рекомендуемое в литературе строение планарного трансформатора [2].

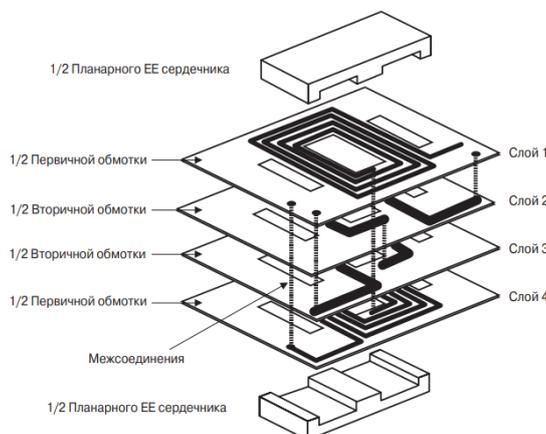


Рис. 1. Схема строения планарного трансформатора

На рисунке 1 можно увидеть, что первичная обмотка разведена на двух разных слоях, между которыми находится вторичная обмотка. Компоновка выполнена таким образом, так как компоновка без чередования дает очень высокое сопротивление переменному току и высокую индуктивность рассеивания по сравнению с другими вариантами компоновки [3].

Для уменьшения цены планарного трансформатора для его изготовления будут использоваться двухсторонние печатные платы. Количество печатных плат в планарном трансформаторе будет кратно пяти, потому что на двух крайних платах будет реализована первичная обмотка, а на трех центральных платах – три вторичные. Был выбран ферритовый сердечник ELP43/10/28 на основе которого будет собран планарный трансформатор.

На рисунке 2 изображено строение разработанного планарного трансформатора с учетом выбранной формы сердечника.

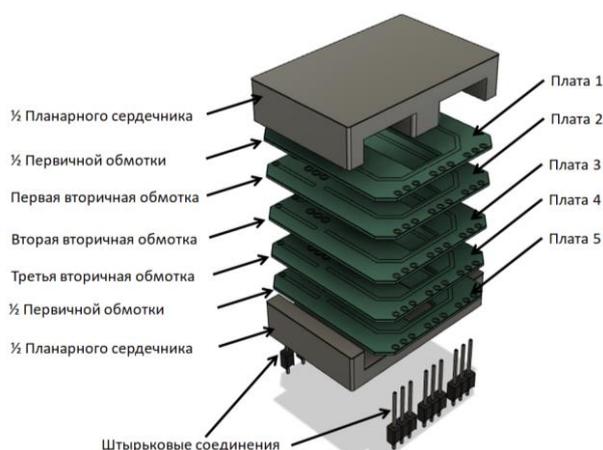


Рис. 2. Строение разработанного планарного трансформатора

Рассчитаем количество витков для первичной обмотки трансформатора в соответствии с законом Фарадея:

$$N_p = \frac{0.95 \cdot V_{in} \cdot 10^4}{A_c \cdot B \cdot f \cdot K_f},$$

где:

V_{in} – напряжение обмоток, В;

A_c – полное сечение стержня магнитопровода, см²;

B – индукция в магнитопроводе, Тл;

f – частота напряжения, Гц;

K_f – коэффициент формы.

В нашем случае:

$$N_p = \frac{0.95 \cdot 12 \cdot 10^4}{2 \cdot 0.2 \cdot 10^5 \cdot 4} = 0.456, \text{ витков.}$$

Количество витков во вторичной обмотке:

$$N_s = \frac{N_p \cdot V_s}{V_{in}},$$

где:

V_s – выходное напряжение, В;

$$N_s = \frac{0.456 \cdot 6}{12} = 0.228, \text{ витков.}$$

Так как количество витков не может быть нецелым и меньше единицы, то количество витков во вторичной обмотке будет равным единице.

Тогда количество витков в первичной обмотке будет равным:

$$N_p = \frac{V_{in} \cdot N_s}{V_s} = \frac{12 \cdot 1}{6} = 2, \text{ витка.}$$

На рисунке 3 изображена разводка используемых в трансформаторе печатных плат, с учетом рассчитанного количества витков.

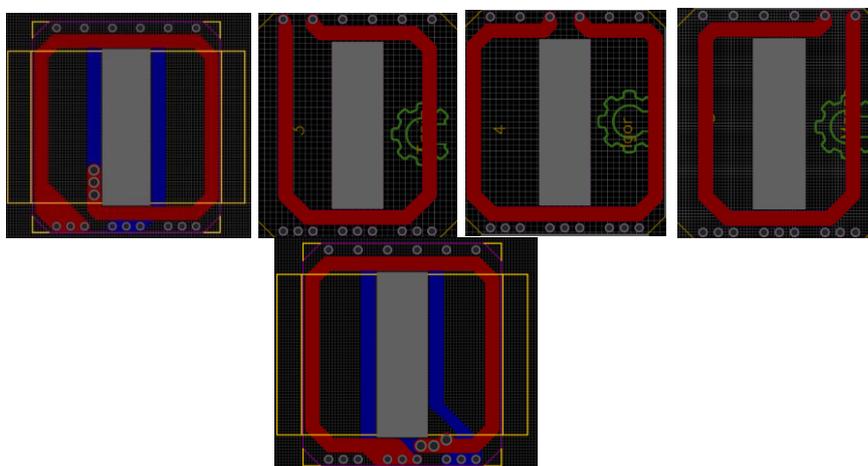
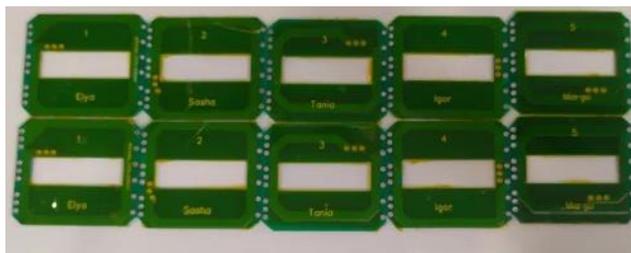


Рис. 3. Разводка используемых в трансформаторе печатных плат

При использовании печатных плат толщиной 0.8 мм вместо стандартных 1.6 мм максимальное количество используемых печатных плат в трансформаторе увеличивается вдвое, что дает возможность использовать по две параллельно подключенные печатные платы для увеличения площади сечения проводника.

Обмотки сконфигурированы на платах таким образом, чтобы максимально уменьшить межобмоточную емкость, это достигается за счет максимизации толщины межобмоточной изоляции путем смещения дорожек печатных плат относительно друг друга. Недостатком данного решения является увеличение индуктивности рассеивания.

На рисунке 4 кратко представлен процесс сборки планарного трансформатора.



Нанесение дополнительной изоляции на все платы с помощью каптонового скотча



Пайка основных штырьков

Напайка печатных плат

Сборка сердечника

Рис. 4. Процесс сборки планарного трансформатора

На рисунке 5 представлен планарный трансформатор, установленный на преобразователь.

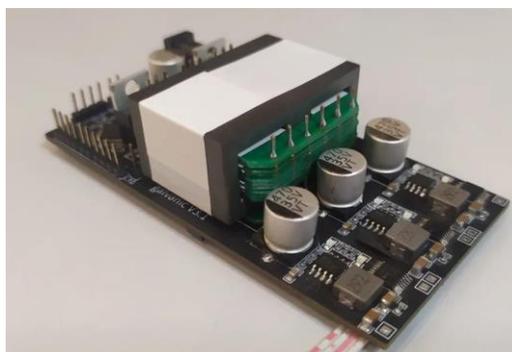


Рис. 5. Планарный трансформатор, установленный на преобразователь

Устройство прошло первые испытания с планарным трансформатором. По сравнению с классическим трансформатором, ранее использованным в устройстве, значительно уменьшился нагрев трансформатора и время его сборки.

Список использованных источников

1. Шихов С. Планарные трансформаторы на основе многослойных печатных плат // Компоненты и технологии, 2003. № 6. С. 28–34.
2. Вильям М. Проектирование трансформаторов и дросселей. Справочник. 3-е изд., пересм. и доп. / Перевод с англ. Попов В. В. М.: ДМК Пресс, 2016. С 446.
3. Ouyang Z., Thomsen O., Andersen M. Optimal Design and Tradeoffs Analysis for Planar Transformer in High Power DC-DC Converters // International Power Electronics Conference. ECCE ASIA. IPEC-Sapporo 2010 IEEE.

УДК 621.385.69
ГРНТИ 47.45.99

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПЛАНАРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ СВЧ ДЛЯ ПЕЛЕНГАТОРА КРУГОВОГО ОБЗОРА

А. В. Могилатов, Э. Ю. Седышев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрены основные проблемы синтеза излучателей для микроволнового пеленгатора. Предложен вариант планарного излучателя для пеленгующего устройства. Приводится сравнительный анализ характеристик макета предложенной структуры и макета используемых ранее антенн.

планарные излучатели, патч антенна, модифицированный планарный излучатель, микроволновые пеленг

В настоящее время вопрос пеленгации все также остается актуальным. Радиоэлектронные пеленгаторы находят широкое применение в навигации, радиолокации, в системах радиоэлектронной безопасности, системах мониторинга радио воздействий и т. д. [1]

Однако существующие решения пеленгаторов не лишены недостатков, таких как размеры, сложность и стоимость производства и обслуживания устройств.

Основу пеленгаторов составляют антенны, одним из важнейших параметров которых является диаграмма направленности, как характеристика интенсивности излучения антенны в различных направлениях в пространстве.

В предложенном ранее микроволновом пеленгаторе [2], основанном на идее поочередного включения каналов пеленга (рис. 1) [3, 4], масштабный макет которого изображены на рисунке 2, использовались прямоугольные планарные излучатели [5].

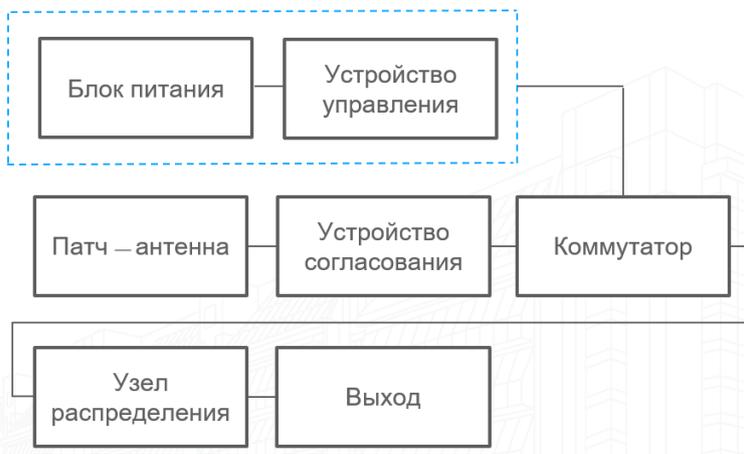


Рис. 1. Структурная схема канала микроволнового пеленгатора

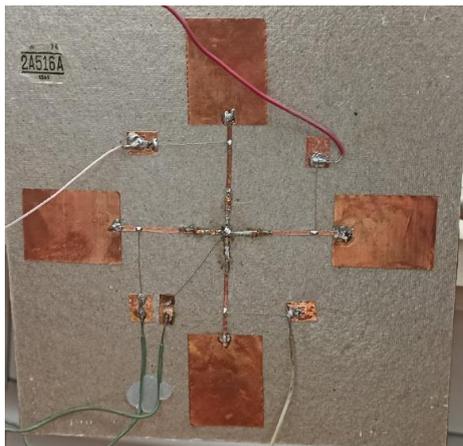


Рис. 2. Масштабный макет микроволнового пеленгатора

Исследование структуры показало наличие взаимного влияния каналов друг на друга, а также, помимо основных недостатков [6], такие антенны имеют побочные частоты (рис. 3) и побочный лепесток диаграммы направленности (рис. 4).

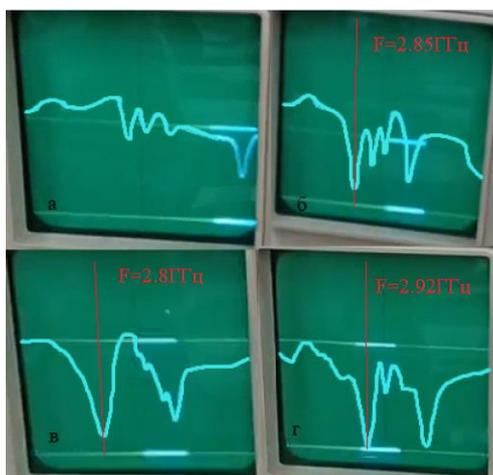


Рис. 3. Частотных характеристики каналов макета пеленгатора

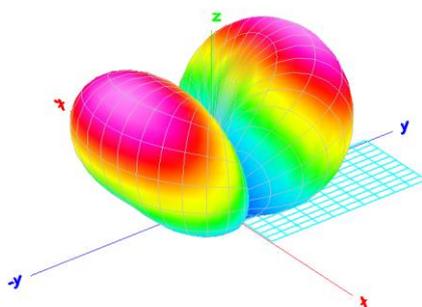


Рис. 4. Диаграмма направленности модели прямоугольного патч-излучателя в MMANA-GAL

Предложенный модифицированный планарный излучатель, основанный на нерегулярной полосковой линии [7], лишен этих недостатков, макет его представлен на рисунке 5.

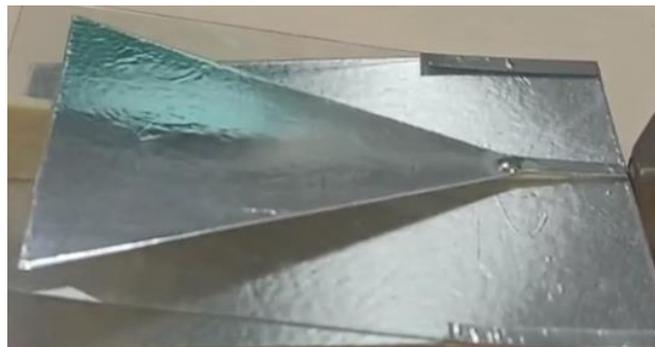


Рис. 5. Макет модифицированного излучателя для пеленгатора

Эквивалентная компьютерная модель такого излучателя показала наличие одного лепестка диаграммы направленности (рис. 6).

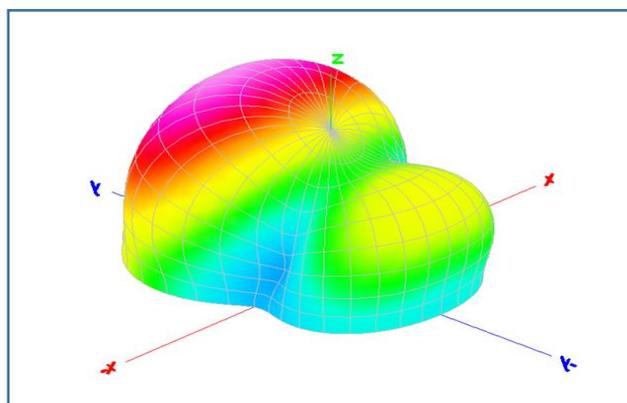


Рис. 6. Диаграмма направленности модели модифицированного излучателя в MMANA-GAL

При этом у такой антенны отсутствует столь ярко выраженный провал КСВ на побочной частоте. На рисунке 7 представлены частотные характеристики макетов антенны, вторая из которых соответствует 15-ти градусному наклону антенны.

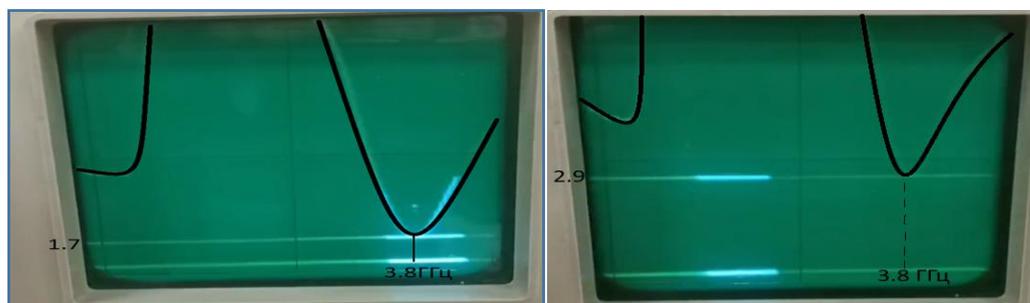


Рис. 7. Частотные характеристики модифицированного планарного излучателя (слева – без наклона, справа – наклон 15 градусов)

Таким образом в ходе работы была предложена конфигурация излучателя, использование которого в пеленгаторе позволит с сохранением основных параметров на заданной частоте добиться улучшения частотной характеристики, выраженного в отсутствии побочного провала КСВ, а также добиться однозначности пеленгования, благодаря лучшей ДН.

Список используемых источников

1. Могилатов А. В., Седышев Э. Ю. Пеленгатор СВЧ диапазона в объемном интегральном исполнении // Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей; материалы конф., Санкт-Петербург, 6–8 дек. 2022 г. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 44–47.

2. Могилатов А. В., Седышев Э. Ю. Пеленгатор на основе микрополосковой патч-антенны // Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сб. лучших докладов в 2-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. С 43–46

3. Могилатов А. В., Седышев Э. Ю. Устройство коммутации для пеленга СВЧ диапазона // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С. И. Макаренко; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 676–678.

4. Могилатов А. В., Седышев Э. Ю. / Микрополосковая патч-система кругового обзора с коммутацией и устройством управления // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». Сб. докладов. 29 мая – 2 июня 2023 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 490–493.

5. Фальковский О. И. Техническая электродинамика: Учебник. 2-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2009. 432с.

6. Бочаров Е. И., Ветров В. В., Седышев Э. Ю., Усатова И. А. Планарные излучатели объемных интегральных схем СВЧ // Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» 3–6 июня 2013. СПб.: СПбГУТ, 2013. 6 с.

7. Державин М. В., Седышев Э. Ю. Нерегулярная полосковая структура в качестве СВЧ-излучателя // Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сб. лучших докладов. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 67–72.

УДК.621.396.6
ГРНТИ 47.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СЛОЖНОПЕРИОДИЧЕСКОЙ РЕШЕТЧАТОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ СПЕКТРА ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ

Ю. А. Никитин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассмотрен вариант нахождения спектра пачки импульсов в свернутом виде (без обращения к рядам) с помощью метода сложнопериодической решетчатой функции (СРФ). Метод основан на математической модели СРФ с открытой архитектурой и позволяет находить спектры двух- и многоуровневых колебаний, формируемых на выходе систем пассивного цифрового и цифроаналогового синтеза частот. На входы модели подаются периодические колебания требуемой формы, а их преобразования осуществляются в соответствии с используемым алгоритмом синтеза.

пассивный цифровой синтез частот, спектр, рациональное число, цепная дробь, алгоритм Евклида, диофантово уравнение

Опорное колебание частоты f_0 заменяем потоком δ -импульсов $A_0(t)$, сформированным из его одноименных перепадов [1] рисунок 1.

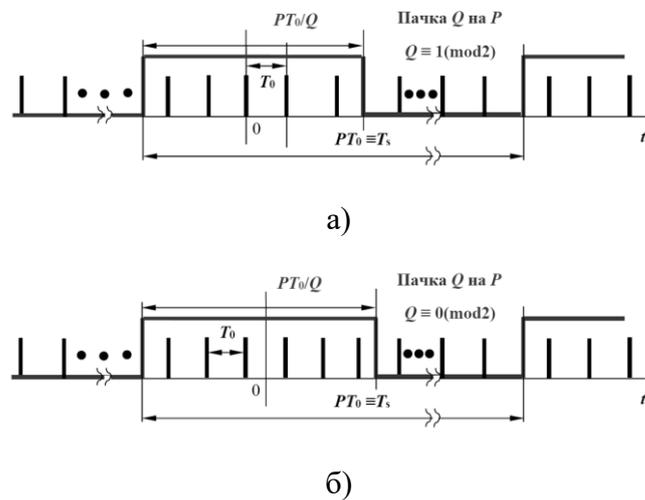


Рис. 1. Временная диаграмма формирования пачки импульсов

Приняв, что один из δ -импульсов имеет место в момент времени $t = 0$, запишем для спектра опорной последовательности:

$$A_0(t) = \frac{1}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jn2\pi P F_s t) = \frac{1}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jn\Omega t), \quad (1)$$

Для колебаний вида пачки импульсов, огибающая $A_1(t)$ суть поток прямоугольных импульсов с периодом следования $T_s = T_0P$ и шириной импульса $\tau_{и} = T_0P/Q$. Спектр такой последовательности можно записать в виде:

$$A_1(t) = \frac{Q}{\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m}{Q}\pi\right)}{m} \exp(j2\pi m Q F_s t). \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) можно получить выражение для спектра сложнопериодической решетчатой функции (СРФ) пачки из Q δ -импульсов на периоде следования P тактов в виде свертки исходных колебаний:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{срфпачки}}(t) &= A_0(t) * A_1(t) = \\ &= \frac{Q}{\pi T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp(jn\omega P t) \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m}{Q}\pi\right)}{m} \exp(j2\pi m Q F_s t), \end{aligned}$$

где $\omega = 2\pi/PT_0$.

$$\Phi_{\text{срф}}(t) = \frac{Q}{\pi T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m}{Q}\pi\right)}{m} \exp[j\omega t(nP + mQ)]. \quad (3)$$

Решение диофантова уравнения

$$nP + mQ = d$$

записывается в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} m &= (-1)^{r-1} d P_{r-1} + 2Px \equiv R + Px; \\ n &= (-1)^r d Q_{r-1} - Qx \equiv L - Qx, \end{aligned} \right.$$

где $x = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$; m, n – натуральные числа; d – номер гармоники частоты шага сетки F_s ; $R = (-1)^{r-1} d P_{r-1}$ при разложении рационального числа P/Q в цепную дробь по алгоритму Евклида.

Для спектра пачки при $Q \equiv 1 \pmod{2}$ можно записать:

$$\begin{aligned} A_{\text{п.неч}} &= \frac{1}{d\pi} \sum_{q=-\frac{Q-1}{2}}^{q=\frac{Q-1}{2}} \sin\left(\frac{d\pi}{2P}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{j2qd\pi}{P}\right) + \exp\left(+\frac{j2qd\pi}{P}\right) \right]; \\ A_{\text{п.неч}} &= \frac{2}{d\pi} \sum_{q=0}^{q=\frac{Q-1}{2}} \sin\left(\frac{d\pi}{2P}\right) \times \left[\cos\left(\frac{2qd\pi}{P}\right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

С помощью [2] сумму косинусов в (4) можно привести к виду:

$$\sum_{q=1}^{q=\frac{Q-1}{2}} \cos\left(\frac{2qd\pi}{P}\right) = \frac{1}{2} \left\{ -1 + \frac{\sin\left(\frac{dQ\pi}{P}\right)}{\sin\left(\frac{d\pi}{P}\right)} \right\}.$$

Тогда (4) запишется как:

$$A_{\text{п.неч}} = \frac{1}{d\pi} \sin\left(\frac{d\pi}{2P}\right) \times \frac{\sin\left(\frac{dQ\pi}{P}\right)}{\sin\left(\frac{d\pi}{P}\right)} \quad (5)$$

Для спектра пачки при $Q \equiv 0(\text{mod}2)$ можно записать:

$$A_{\text{п.чет}} = \frac{\sin\left(\frac{d\pi}{2P}\right)}{d\pi} \sum_{q=-\frac{Q}{2}}^{q=\frac{Q}{2}} \left[\exp\left(-\frac{j(2q+1)d\pi}{P}\right) + \exp\left(+\frac{j(2q+1)d\pi}{P}\right) \right];$$

$$A_{\text{п.чет}} = \frac{2\sin\left(\frac{d\pi}{2P}\right)}{d\pi} \sum_{q=1}^{q=\frac{Q}{2}} \left[\cos\left(\frac{(2q+1)d\pi}{P}\right) \right]. \quad (6)$$

С помощью [91] сумму косинусов в (6) можно привести к виду, аналогичному (5):

$$\sum_{q=1}^{q=\frac{Q}{2}} \cos\left[\frac{(2q+1)d\pi}{P}\right] = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{dQ\pi}{P}\right)}{\sin\left(\frac{d\pi}{P}\right)} \right\}.$$

В итоге спектр пачки из Q импульсов на периоде P импульсов запишется следующим образом:

$$A_{\text{пачки}} = \frac{1}{d\pi} \times \frac{\sin\left(\frac{dQ\pi}{P}\right)}{\cos\left(\frac{d\pi}{2P}\right)}.$$

Список используемых источников

1. Никитин Ю. А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] / Ю. А. Никитин. СПб.: СПбГУТ, 2018. 367 с.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Физматгиз, 1971. 1108 с.

УДК.621.396.6
ГРНТИ 47.47**КОГЕРЕНТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НА ВЫХОДЕ
СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ****Ю. А. Никитин**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Когерентность колебаний на выходах синтезаторов частоты подразумевает, что средняя разность их полных фаз в точке наблюдения не зависит от времени наблюдения. Временной аспект когерентности имеет важное значение при рассмотрении взаимодействия электромагнитных колебаний. Когерентность важна при организации синхронного радиовещания, а также в радиолокации и радионавигации.

когерентность, полная фаза, квазимоногармоническое колебание, интерференция

При синтезе частот преобразование частоты $f_{\text{оп}}$ в выходной диапазон $f_{\text{макс}} \dots f_{\text{мин}}$ происходит таким образом, чтобы выполнялось условие когерентности. Когерентность формируемых ССЧ колебаний за последние 40 лет подразумевается по умолчанию. Условие (квази) когерентности для ССЧ можно записать в виде

$$(\Delta\Phi_{\text{вых}}) - (\Delta\Phi_{\text{оп}}) = (f_{\text{вых}})/(f_{\text{оп}}) = N$$

где N – рациональное число – коэффициент преобразования частоты опорного колебания $f_{\text{оп}}$; $\Delta\Phi_{\text{вых}}$ и $\Delta\Phi_{\text{оп}}$ – приращение полных фаз выходного и опорного колебаний за время наблюдения, кратное $T_{\text{н}}$ (в статистическом смысле – на интервале наблюдения $T_{\text{н}} = bT_{\text{с}} = b/F_{\text{с}}$, b – натуральное число).

Отметим, что два колебания называют когерентными, если средняя разность их полных фаз $\Delta\Phi$ не зависит от времени наблюдения t :

$$\Delta\Phi = \overline{\Phi_2(t) - \Phi_1(t)},$$

где $\Phi_1(t)$, $\Phi_2(t)$ – соответственно полные фазы первого и второго колебания; черта над разностью фаз означает ее усредненное значение за время наблюдения (периода неравномерности) $T_{\text{н}}$.

Другими словами, при когерентности колебаний приращения их полных фаз (аргументов) стремятся к постоянному рациональному числу N [1, 2].

В строгом смысле реально моногармонических колебаний с абсолютно одинаковыми частотами не существует. Моногармонические колебания в соответствии с определением представляют собой бесконечный по продолжительности временной процесс, что невозможно с точки зрения предположения о конечности энергии источников электромагнитных колебаний.

Таким образом, *моногармоническое колебание* в технике синтеза частот суть полезная математическая абстракция, которая позволяет изучить основные свойства реального колебания. На практике *моногармонические колебания* представляют в виде *цугов* конечной длительности по времени, т. е. в виде квазигармонических функций, ограниченных во времени.

В связи с этим обстоятельством следует рассматривать *время когерентности*. Время когерентности учитывает тот факт, что реально средняя разность полных фаз $\Delta\Phi$ может зависеть от времени, например, в системах синхронного радиовещания.

Поскольку когерентность двух колебаний связывают с возможностью наблюдения интерференционной картины, то под временем когерентности понимают время t_k , в течение которого интерференционную картину этих волн можно наблюдать.

Из свойств интерференционной картины двух точечных источников одинаковой интенсивности следует, что условной границей, разделяющей область максимумов и минимумов их интерференционной картины, являются множества точек в пространстве, где разность полных фаз интерферирующих волн равна π радиан. В соответствии с этим определяют время когерентности t_k :

$$\Delta\Phi(t_k) = \Phi_2(t) - \Phi_1(t) = \pi.$$

Пусть в момент времени t_0 имеются два колебания с одинаковыми начальными фазами, но их частоты отличаются на величину $\Delta\omega = 2\pi f$. Найдем время когерентности t_k этих колебаний:

$$\begin{aligned} E_1(x, t) &= E_{10} \cos(\omega t - kx + \varphi_{01}); \\ E_2(x, t) &= E_{20} \cos[(\omega + \Delta\omega)t - kx + \varphi_{01}]. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что разность полных фаз колебаний $\Delta\Phi(x, t) = \Delta\omega t$ зависит от времени. Исходя из определения времени когерентности t_k , получим уравнение для его расчета:

$$\Delta\omega t_k = \pi.$$

Решая это уравнение, находим, что время когерентности t_k обратно пропорционально разбросу частот $\Delta\omega$ синтезируемых колебаний:

$$t_k = \frac{\pi}{\Delta\omega}. \quad (1)$$

Преобразуем полученную формулу с помощью представления о *ширине спектра колебаний*:

$$\Delta F = \frac{2\Delta\omega}{2\pi} = \frac{\Delta\omega}{\pi}.$$

Отсюда следует, что время когерентности t_k обратно пропорционально ширине спектра ΔF формируемого колебания, т. е.:

$$t_k = \frac{1}{\Delta F}.$$

Время когерентности по формуле (1) можно найти, если известен разность частот, которые формируют эти источники.

Пусть разность частот источников равен ΔF . Тогда соответствующая разность длин волн $\Delta\lambda$, соответствующая разности частот ΔF может быть определена с помощью соотношений:

$$\Delta F = \Delta \frac{c}{\lambda} \approx -c \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} \text{ и } \Delta\lambda \approx -\frac{\Delta F \lambda^2}{c}.$$

В современных цифровых и цифроаналоговых синтезаторах частоты все колебания когерентны, поскольку к классу когерентных преобразований относятся все основные операции – умножение и деление частот, алгебраическое суммирование исходных и промежуточных колебаний.

Список используемых источников

1. Никитин Ю. А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] / Ю. А. Никитин. СПб.: СПбГУТ, 2018. 367 с. ISBN 978-5-89160-178-9.
2. Никитин Ю. А. Теория цифроаналогового синтеза частот с помощью конечных автоматов: [монография] / Ю. А. Никитин. СПб.: СПбГУТ, 2024. 342 с. ISBN 978-5-89160-322-6.

УДК 539.120.9
ГРНТИ 29.05.00

ДРОБНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ КВАРКОВ КАК МАТЕМАТИЧЕСКОЕ СЛЕДСТВИЕ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

Ф. Ф. Павлов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В электрослабой теории Глэшоу-Вайнберга-Салама так называемые фейнмановские «аномальные треугольные» диаграммы с распространяющимися по внутренним линиям лептонами сокращаются с кварковыми треугольными диаграммами. И теория остается перенормируемой благодаря кварк-лептонной симметрии. Возможность компенсации реализуется при определенных соотношениях между электрическими зарядами кварков.

кварки, Стандартная Модель

Введение

В 1961 году физик-теоретик Шелдон Ли Глэшоу обратил внимание на то, что для одновременного описания слабых и электромагнитных взаимодействий недостаточно рассмотрения изоспиновой структуры группы $SU(2)$ [1]. Он предложил калибровочную группу $SU(2) \times U(1)$, в которой группа $U(1)$ ассоциировалась с лептонным гиперзарядом (Y), который связан со слабым изоспином (T) и зарядом по формуле, аналогичной формуле Гелл-Манна-Нишиджимы. Теория требовала введения четырех калибровочных бозонов: триплет (W^1, W^2, W^3), связанный с генераторами группы $SU(2)$, и нейтральное поле (B), связанное с группой $U(1)$. Заряженные бозоны W^+ , W^- возникают как линейная комбинация W^1 и W^2 , в то время как фотон γ и нейтральный слабый бозон Z^0 определяются смесью W^3 и B . Аналогичная теория была предложена физиком-теоретиком Абдусом Саламом в 1964 году [2].

Но, к сожалению, эта процедура нарушала калибровочную инвариантность теории. Тогда в 1967 году физик Стивен Вайнберг и независимо Салам в 1968 году использовали идею спонтанного нарушения симметрии и механизм Хиггса для задания массы слабых бозонов [3]. Было показано, что при спонтанном нарушении локальной $SU(2)$ инвариантности происходило перераспределение полей и возникали массивные частицы W^+ , W^- и Z^0 , которые в дальнейшем были открыты экспериментально, что подтвердило величайший успех теории. При этом сохранялась калибровочная инвариантность и перенормируемость теории.

Теория Глэшоу-Вайнберга-Салама, сейчас известна как Стандартная Модель электрослабых взаимодействий.

Но тем не менее в электрослабой теории Глэшоу-Вайнберга-Салама при расчетах различных амплитуд рассеяния возникали так называемые фейнмановские «аномальные треугольные» диаграммы, в которых фермионы в петле взаимодействуют с затравочными внешними полями [4, 5, 6, 7, 8, 9]. На рис. 1 приведена фейнмановская аномальная треугольная диаграмма рассеяния нейтрино ν_e на электроне e^- .

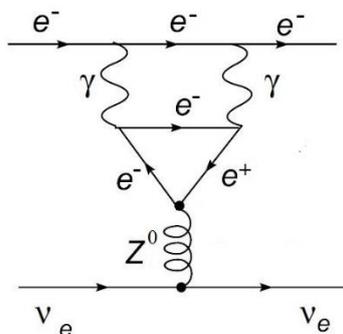


Рис. 1. Аномалия в процессе упругого рассеяния нейтрино ν_e на электроне e^- в Стандартной Модели

В результате расчетов амплитуды $\nu_e e^-$ -рассеяния расходились. Это приводило к перенормируемости теории и являлось серьезной проблемой для Стандартной Модели.

К электрослабой теории треугольная аномалия имеет непосредственное отношение: теория формулируется отдельно для левых и правых спинов; векторные бозоны взаимодействуют как с векторными, так и с аксиальными токами. Если эти токи перестанут сохраняться при учете петлевых диаграмм, то обеспечивающая перенормируемость теории слабых взаимодействий локальная $SU(2)_L \times U(1)$ симметрия окажется разрушенной.

Замечательным образом была обнаружена взаимная компенсация вкладов кварков и лептонов в треугольную аномалию, сохраняющая перенормируемость теории. Аномальные треугольные диаграммы с распространяющимися по внутренним линиям лептонами сокращаются с кварковыми треугольниками [7, 8, 9]. Теория остается перенормируемой благодаря кварк-лептонной симметрии. Принципиальная возможность компенсации реализуется при определенных соотношениях между зарядами кварков и лептонов.

Математическое отступление: сокращение аномалий

В теории поля некоторые петлевые поправки могут нарушать классические локальные законы сохранения, которые выводятся из принципа калибровочной инвариантности. Эта так называемая аномалия является большой проблемой, так как происходит нарушение тождеств Уорда-Такахаси

[7, 8, 9] и делается невозможным доказательство перенормируемости. Исчезновение аномалий настолько важно, что использовалось в качестве критерия при построении реалистичных теорий.

В электрослабой теории лептоны и кварки образуют левополяризованные изоспиновые дублеты (изотопический спин $T = 1/2$):

$$|L_{lepton}\rangle = \begin{pmatrix} |v_L\rangle \\ |e_L\rangle \end{pmatrix}, \quad |L_{quark}\rangle = \begin{pmatrix} |u_L\rangle \\ |d_L\rangle \end{pmatrix},$$

где компоненты с третьей проекцией изотопического спина $T_3 = +1/2$ и $T_3 = -1/2$ – лево-поляризованные части волновых функций нейтрино $|v_L\rangle$ и электрона $|e_L\rangle$, u -кварка $|u_L\rangle$ и d -кварка $|d_L\rangle$, соответственно. Т.к. в природе не существует право-поляризованных нейтрино, то право-заряженная часть лептонов и кварков образуют слабые изоспиновые синглеты ($T = 0$), не образующие изоспиновые дублеты: для электрона $|e_R\rangle$, u -кварка $|u_R\rangle$, d -кварка $|d_R\rangle$. Структура теории устроена таким образом, что с заряженными бозонами W^+ , W^- взаимодействуют только левые лептоны и кварки, а с фотоном γ и нейтральным Z^0 -бозоном – и левые, и правые.

Если рассматривать теорию с лагранжианом [9]:

$$L_{int} = -g(\bar{L}\gamma_\mu T_L^a L + \bar{R}\gamma_\mu T_R^a R)B_\mu^a,$$

где $T_{L,R}^a$ – генераторы в левом L и правом R представлениях материальных полей, а B_μ – калибровочные бозоны, то теория будет свободной от аномалий, если будет выполняться следующее условие [9]

$$A^{abc} = A_R^{abc} - A_L^{abc} = 0,$$

где A_R^{abc} и A_L^{abc} определяется как след (шпур) от комбинации генераторов следующего вида [9]:

$$A_R^{abc} = Tr[\{T_R^a, T_R^b\}, T_R^c], \quad A_L^{abc} = Tr[\{T_L^a, T_L^b\}, T_L^c].$$

В калибровочной теории типа $V - A$, такой как Стандартная Модель, единственно возможные аномалии возникают из VVA трехгранных петель, т. е. петли с двумя векторами и одной аксиальной вершиной, и для случая группы симметрии $SU(2)_L \times U(1)$ пропорциональны сумме гиперзарядов левых частиц

$$Tr[Y] \sim \sum Y_L,$$

и для случая группы симметрии $U(1)$ пропорциональны сумме кубов гиперзарядов фермионов [8]

$$Tr[Y^3] \sim \sum_{fermions} Y^3.$$

Напомним, что слабый гиперзаряд является генератором группы $U(1)$ в электрослабой калибровочной группе $SU(2) \times U(1)$, и связанное с ним поле B смешивается с электрослабым полем W^3 , создавая наблюдаемый нейтральный Z^0 -бозон и фотон γ .

В данной работе будем рассматривать первое поколение левых (L) фермионов: u -кварк или верхний кварк u_L с массой $m = 2,16$ МэВ, d -кварк или нижний кварк d_L с массой $m = 4,67$ МэВ, электрон e_L с массой $m = 0,511$ МэВ, электронное нейтрино ν_L с массой $m < 0,8$ эВ. Массы приводятся в естественной системе единиц $\hbar = c = 1$ и 1 эВ – внесистемная единица, равная энергии, приобретаемой электроном при прохождении им разности потенциалов в 1 Вольт ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Квантовые числа лептонов и кварков (правых R и левых L), таких как третья проекция изотопического спина T_3 и гиперзаряд Y , приведены в табл.1.

Из электрослабой теории [4, 5, 6, 7, 8] следует, что гиперзаряд правого u -кварка на единицу больше гиперзаряда левого u -кварка, а гиперзаряд правого d -кварка на единицу меньше гиперзаряда левого d -кварка, причем гиперзаряды в одном изодублете равны, т.е. гиперзаряд левого u -кварка равен гиперзаряду левого d -кварка. Последнее следует из-за того, что в электрослабой теории преобразования группы $SU(2)$ коммутируют с преобразованиями группы $U(1)$ по определению, и поэтому гиперзаряды $U(1)$ для элементов дублета $SU(2)$ равны. Эти свойства отображены в табл.1.

ТАБЛИЦА 1. Квантовые числа лептонов и кварков

Частицы	Изотопический спин, T	Третья проекция изотопического спина, T_3	Гиперзаряд, $Y=2(Q-T_3)$	Электрический заряд в ед. $ e $, Q
Лептоны (левые и правые)				
ν_L	1/2	+1/2	-1	0
e_L	1/2	-1/2	-1	-1
e_R	0	0	-2	-1
Кварки (левые и правые)				
u_L	1/2	1/2	$Y(u_L)$	$Q(u_L)$
d_L	1/2	-1/2	$Y(d_L) = Y(u_L)$	$Q(d_L)$
u_R	0	0	$Y(u_R) = Y(u_L)+1$	$Q(u_R) = Q(u_L)$
d_R	0	0	$Y(d_R) = Y(d_L)-1 = Y(u_L)-1$	$Q(d_R) = Q(d_L)$

Нашей целью, исходя из электрослабой теории Глэшоу-Вайнберга-Салама, является определение зарядов u и d -кварков.

В теории строго доказывається, что компенсация аномалий имеет место, если сумма гиперзарядов левых частиц равна нулю [9]:

$$A^{abc} \sim \sum Y_L = Y(\nu_L) + Y(e_L) + 3Y(u_L) + 3Y(d_L) = 0,$$

где в скобках обозначается соответствующая гиперзаряду частица и множитель 3 возникает из-за трех цветов кварков.

Как известно, гиперзаряды изопартнеров (ν_L и e_L , u_L и d_L) равны:

$$Y(\nu_L) = Y(e_L), \quad Y(u_L) = Y(d_L).$$

Исходя из всего вышесказанного, получим важное выражение, которое пригодится в дальнейшем:

$$Y(e_L) + 3Y(u_L) = 0. \quad (1)$$

Вклады левых и правых частиц в аксиальную аномалию противоположны, поэтому условие отсутствия аномалии приводит к соотношению [9]:

$$\begin{aligned} A^{abc} &\sim \sum_{\text{fermions}} Y_R^3 - Y_L^3 = \\ &= 3Y(e_R)^3 + 3Y(u_R)^3 + 3Y(d_R)^3 - Y(\nu_L)^3 - Y(e_L)^3 - 3Y(u_L)^3 - 3Y(d_L)^3 + \\ &= (Y(e_L) - 1)^3 + 3(Y(u_L) + 1)^3 + 3(Y(u_L) - 1)^3 - 2Y(e_L)^3 - 6Y(u_L)^3 = 0. \end{aligned}$$

Используя формулу (1), можно получить выражения

$$(Y(e_L) + 1)^3 = 0 \quad (2)$$

и

$$(3Y(u_L) - 1)^3 = 0. \quad (3)$$

Из формул (2) и (3) следует что $Y(e_L) = -1$, а $Y(u_L) = +1/3$.

Применяя известную формулу Гелл-Манна-Нишиджимы [4, 5, 6]

$$Q = T_3 + \frac{Y}{2}, \quad (4)$$

выразим электрический заряд Q через гиперзаряд Y и третью проекцию изоспина T_3 . Подставляя известное значение T_3 (см. табл. 1) для электрона $T_3(e_L) = -1/2$ и u -кварка $T_3(u_L) = 1/2$ в формулу (4), получим $Q(e_L) = -1$ и $Q(u_L) = +2/3$.

Таким образом для электрического заряда u -кварка получаем значение $Q(u) = +2/3$.

Аналогичным образом можно показать, что электрический заряд d -кварка будет равен $Q(d) = -1/3$.

Таким образом можно сделать заключение, что Стандартная Модель является свободной от аномальных треугольных (расходящихся) диаграмм, если кварку верхнего типа u соответствует электрический заряд $+2/3|e|$, а нижнего типа d – $-1/3|e|$, т. е. дробность электрических зарядов кварков является математическим следствием Стандартной Модели.

Список используемых источников

1. Glashow S. L. Partial-Symmetries of weak interactions // Nucl. Phys., 1961. № 22. P. 579.
2. Salam A. A gauge theory of elementary interactions // Phys. Lett., 1964. № 13. P. 168.
3. Weinberg S. A model of leptons // Phys. Rev. Lett., 1967. № 19. P. 1264.
4. Вайнберг С. Квантовая теория поля: пер. с англ. - М. - Физматлит, 2003. 648 с.
5. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 448 с.
6. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны: Введение в физику частиц: пер. с англ. М.: Мир, 1987. 456 с.
7. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1984. 600 с.
8. Высоцкий М. И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий. М.: Физматлит, 2011. 152 с. ISBN 978-5-9221-1263-5.
9. Пескин М. Е., Шредер Д. В. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск, 2001. 784 с. ISBN 5-93972-083-8.

УДК 539.141
ГРНТИ 29.15.03

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ КАК СЛЕДСТВИЕ КВАРК-ГЛЮОННОЙ АДРОНИЗАЦИИ В МЕЗОНЫ

Ф. Ф. Павлов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Стандартные ядерные силы при низких энергиях описываются NN -потенциалами, возникающими в рамках классической мезонной теории как следствие обмена мезонами. В данной ситуации упомянутые NN -потенциалы зависят от мезонных масс как параметров. Однако с точки зрения квантовой хромодинамики (КХД) мезоны и нуклоны состоят из кварк-глюонных конфигураций и являются результатом механизма конфайнмента, т.е. кварк-глюонной адронизации в мезоны (нуклоны). Следовательно, указанные выше мезонные массы должны быть некоторыми функциями кварк-глюонных степеней свободы. Используя механизм конфайнмента мы приводим искомые функции в явном виде, что позволяет сделать вывод, что NN -потенциалы соответствуют лишь некоторым остаточным взаимодействиям, в то время как последние являются прямым результатом кварк-глюонной адронизации в мезоны при сближении двух нуклонов.

конфайнмент, адронизация, ядерные силы

Введение

Когда в начале 1930-х годов стало понятно, что атомные ядра состоят из нуклонов (протонов и нейтронов), многие теоретики занялись поиском закона взаимодействия двух нуклонов. Нуклоны в ядрах обладают средней энергией порядка 30 МэВ, тогда как в экспериментах по рассеянию двух нуклонов энергия налетающего нуклона в то время составляла несколько десятков МэВ. Поскольку 30 МэВ намного меньше 939 МэВ (масса нуклона), то нуклоны было разумно считать нерелятивистскими частицами и, следовательно, нуклон-нуклонное взаимодействие должно описываться нерелятивистскими потенциалами (NN -потенциалами). В свою очередь параметры таких потенциалов должны быть настроены в соответствии со свойствами единственного связанного состояния для двух нуклонов (дейтрона), а также в соответствии с фазовым анализом, первоначально развитым к тому времени в нерелятивистской квантовой механике. По этому пути был построен ряд модельных NN -потенциалов, но более фундаментальный подход появился в середине 1930-х годов благодаря идее японского теоретика Хидэки Юкавы, который (по аналогии с электродинамикой) предположил, что NN -взаимодействие реализуется обменом некоторыми частицами (мезонами). Последние были открыты в середине 1940-х годов, и в дальнейшем идея Юкавы позволила разработать обширную классическую мезонную теорию ядерных сил в 1950-х и 1960-х годах.

Обращаясь к более подробному описанию этого периода, например, к старым работам [1, 2, 3], следует отметить, что в конце 1950-х годов благодаря экспериментам по рассеянию Роберта Хофштадтера стало ясно, что нуклоны не являются точечными объектами, а обладают некоторой внутренней структурой, и была получена количественная информация о электрическом и магнитном формфакторе протона [4]. Дальше с появлением и развитием кварковой модели адронов стало очевидно, что мезоны также не являются точечными частицами. Наконец, с появлением квантовой хромодинамики (КХД) в начале 1970-х годов стало ясно, что нуклоны и мезоны состоят из кварк-глюонных конфигураций, в которых глюоны рассматриваются как посредники сильного взаимодействия между кварками. В то же время наблюдаемые адроны, включая нуклоны и мезоны, возникают в результате кварк-глюонной адронизации в упомянутые частицы с помощью механизма конфайнмента (невыветания кварков).

Все вышесказанное говорит нам о том, что следует рассмотреть результаты классической мезонной теории о NN -потенциалах в свете КХД, и мы попытаемся сделать это в дальнейшем.

На протяжении всей статьи мы используем систему единиц Хэвисайда-Лоренца $\hbar = c = 1$, если явно не указано иное, поэтому калибровочная константа связи g и сильная константа связи α_s связаны соотношением $g^2/(4\pi) = \alpha_s$.

NN -потенциалы в рамках классической мезонной теории

Как мы уже говорили выше, основная идея моделирования NN - потенциалов между нуклонами согласно классической мезонной теории заключается в том, что NN -взаимодействие реализуется путем обмена некоторых частиц (мезоны). Первыми мезонами, открытыми в середине 1940-х годов, были π -мезоны или пионы. Рассмотрим поэтому, как получить простой NN -потенциал, если принять что обмен осуществляется нейтральными пионами π^0 .

Будем исходить из того, что нуклоны и мезоны должны описываться релятивистской квантовой теорией поля и, следовательно, нам следует выбрать перенормируемый лагранжиан взаимодействия нуклонов и нейтральных пионов. Стандартный выбор лагранжиана представляется как

$$L = g_\pi \bar{\psi} \psi \phi \quad (1)$$

с константой взаимодействия g_π , причем спинор Дирака ψ описывает нуклон, а вещественное скалярное поле ϕ описывает нейтральный пион. Тогда согласно рис. 1 во втором порядке по g_π взаимодействие нуклонов в импульсном представлении дается выражением

$$V(k) = g_\pi \frac{1}{k^2 - m^2} g_\pi = \frac{g_\pi^2}{k^2 - m^2} \quad (2)$$

с массой мезона m , $k \equiv k_\mu = (k_0, \vec{k})$, $k^2 = k_0^2 - \vec{k}^2$.

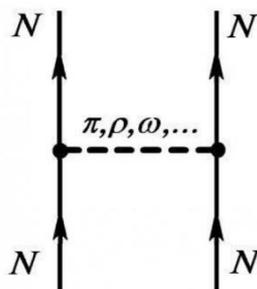


Рис. 1. Обмен мезонами в нуклон-нуклонном взаимодействии

В координатном представлении соответствующий NN -потенциал будет преобразованием Фурье $V(k)$ и, как мы говорили в начале раздела 1, при низких энергиях нуклоны должны считаться нерелятивистским, т.е. мы можем пренебречь релятивистским запаздыванием и положить $k_0 = 0$, что влечет за собой

$$V(r) = -g_\pi^2 \int \frac{e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}}}{\vec{k}^2 + m^2} d^3\vec{k} = -g_\pi^2 \frac{e^{-mr}}{r}. \quad (3)$$

Это всего лишь знаменитый потенциал Юкавы, поэтому очевидно, что r – это расстояние между нуклонами. Можно отметить особенности приведенных выше соображений, которые являются общими при выводе NN -потенциалов от всех возможных лагранжианов NN -взаимодействия. Константа g_π является свободным параметром и, как было сказано в разделе 1, она должна определяться из свойств связанного состояния двух нуклонов (дейтрона), а также из данных по сечениям упругого NN -рассеяния или из фазового анализа NN -рассеяния. Значение массы m заимствовано из базы данных физики элементарных частиц и для π^0 -мезона $m = m_\pi = 134,98$ МэВ. Важно, что m появляется за счет пропагатора мезона (псевдоскалярная частица), который равен $1/(k^2 - m^2)$. Наконец, выражение (3) хорошо работает при $r \sim 1/m_\pi \sim 1,41$ фм.

При переходе на расстояния, меньшие, чем $1/m$, начинается рождение других более тяжелых мезонов, таких как ρ , ω , ϕ и следует использовать другие перенормируемые лагранжианы. Более или менее полный список NN -потенциалов, полученных по вышеуказанному пути, можно найти в обзоре [6].

КХД, конфайнмент, адронизация

Как было сказано в разделе 1, с современной точки зрения нуклоны и мезоны (и вообще все адроны) состоят из кварк-глюонных конфигураций и наблюдаемые адроны получаются в результате механизма конфайнмента для этих конфигураций. Этот процесс называется адронизацией и можно сделать заключение, что массы мезонов, параметризуемые NN -потенциалы,

выведенные из мезонной теории, должны быть некоторыми функциями упомянутых конфигураций. Для того чтобы получить эти функции в явном виде, нужно уметь описывать механизм конфайнмента в терминах кварковых и глюонных степеней свободы с использованием лагранжиана квантовой хромодинамики (КХД), описывающим сильные взаимодействия кварков и глюонов. Как известно, в настоящее время не существует общепринятого механизма удержания кварков (конфайнмента), который был бы способен вычислить ряд непертурбативных параметров, характеризующих мезоны (массы, радиусы, константы распада и т. д.), апеллирующих непосредственно к кваркам и глюонным степеням свободы, связанных с КХД-лагранжианом. В лучшем случае есть несколько сценариев (напрямую не связанных с КХД-лагранжианом) конфайнмента, которые ограничиваются в основном качественными соображениями с небольшими возможностями конкретного расчета. В работах [7, 8, 9] мы рассмотрели решения для системы Дирака-Янга-Миллса, непосредственно полученных из лагранжиана КХД, что позволило нам рассмотреть механизм конфайнмента. Напомним, что непертурбативное решение – это решение, которое не может быть описано в рамках теории возмущений.

Если мезон состоит из кварков $q_{1,2}$ с разными ароматами, то масса мезона будет задана в виде $\mu = m_{q_1} + m_{q_2} + \omega$ с токовыми массами кварков m_{qk} . Величину ω можно назвать относительной энергией взаимодействия двух кварков.

Если уравнение для собственных значений энергии относительного движения представить в виде $H\psi = \omega\psi$ с $\psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$, представляющих из себя четырехмерные спиноры Дирака ψ_j с j -ым цветовым компонентом мезона, то надо поставить $\omega = \omega_j$ для любого $j = 1, 2, 3$ так что $H_j\psi_j = \omega_j\psi_j = \omega\psi_j$. В этой ситуации, если мезон состоит из кварков $q_{1,2}$ с разными ароматами, то энергетический спектр мезона будет задан в виде $\mu = m_{q_1} + m_{q_2} + \omega$ с токовыми массами кварков m_{qk} .

Величина ω_j была получена в работах [7, 8] и равна (при $j = 1, 2, 3$):

$$\omega_j = \omega_j(n_j, l_j, \lambda_j) = \frac{\Lambda_j g^2 a_j b_j + (n_j + \alpha_j) \sqrt{(n_j^2 + 2n_j \alpha_j + \Lambda_j^2) \mu_0^2 + g^2 b_j^2 (n_j^2 + 2n_j \alpha_j)}}{n_j^2 + 2n_j \alpha_j + \Lambda_j^2}, \quad (4)$$

где g – калибровочная константой связи; μ_0 – массовый параметр (для двух частицы это приведенная масса $m_{q_1} \cdot m_{q_2} / (m_{q_1} + m_{q_2})$, для одной частицы это масса частицы); $a_3 = -(a_1 + a_2)$; $b_3 = -(b_1 + b_2)$; $B_3 = -(B_1 + B_2)$; $\Lambda_j = \lambda_j - gB_j$; $\alpha_j = \sqrt{\Lambda_j^2 - g^2 a_j^2}$; $n_j = 0, 1, 2, \dots$; $\lambda_j = \pm(l_j + 1)$.

В соответствии с вышесказанным мы должны иметь $\omega = \omega_1 = \omega_2 = \omega_3$, что накладывает сразу два условия на параметры a_j, b_j, B_j при выборе значения ϵ при заданных массах кварков m_{q_1}, m_{q_2} .

Массы мезонов как функции кварк-глюонных конфигураций

Теперь мы можем привести результаты расчета масс мезонов по схеме механизма конфайнмента описанной выше. Такие результаты были получены в наших работах [7, 8, 9, 10]. В табл. 1 и 2 мы ограничились мезонами, которые являются наиболее важными с точки зрения мезонной теории как обменные частицы для генерации NN -потенциалов.

Табл. 1 и 2 показывают, что массы всех мезонов, которые служат посредниками при генерации ядерных сил согласно мезонной теории, зависят от кварк-глюонных степеней свободы и являются функциями текущих масс кварков и параметров $SU(3)$ -глюонного поля, обеспечивающего конфайнмент. В сложившихся обстоятельствах мы можем переосмыслить результаты классических мезонных теорий NN -потенциалов с учетом кварковой структуры мезонов и механизма конфайнмента.

ТАБЛИЦА 1. Калибровочная константа связи, массовый параметр μ_0 и параметры удерживающего $SU(3)$ -глюонного поля для некоторых мезонов

Частица	g	μ_0	a_1	a_2	b_1	b_2	B_1	B_2
$\pi^\pm (u\bar{d}, \bar{u}d)$	6,091	1,55	0,047	0,012	0,179	-0,119	-0,23	0,23
$\phi(\bar{s}s)$	3.770	53.75	0.667	-0.263	0.223	-0.536	-0.45	-0.44

ТАБЛИЦА 2. Теоретические и экспериментальные массы некоторых мезонов

Частица	Теор. значение, МэВ	Эксп. значение, МэВ
$\pi^\pm (u\bar{d}, \bar{u}d)$	$\mu = m_u + m_d + \omega_j(0,0,1) = 139,570$	139,56996
$\phi(\bar{s}s)$	$\mu = 2m_s + \omega_j(0,0,1) = 1019,455$	1019,461

Выводы

В течение длительного периода, вплоть до появления КХД, изучение ядерных сил было ограничено поиском единственного NN -потенциала, способного описать NN -взаимодействие при любом расстоянии r между нуклонами. Эта задача не была выполнена и только с появлением кварковой модели адронов, а затем и КХД, стали понятны причины неудачи – просто адроны оказались составными частицами из кварк-глюонных конфигураций и обычные ядерные силы – это всего лишь остаточное взаимодействие гораздо более сильного взаимодействия кварков и глюонов. Нам кажется, что мост между этими двумя взаимодействиями – это механизм конфайнмента (адронизации) кварк-глюонных конфигураций в наблюдаемые адроны (в частности, мезоны).

Как известно, стандартные ядерные силы при низких энергиях описываются NN -потенциалами, которые зависят от мезонных масс как параметров. Однако с точки зрения квантовой хромодинамики (КХД) мезоны и нуклоны состоят из кварк-глюонных конфигураций и являются результатом механизма конфайнмента, т.е. кварк-глюонной адронизации в мезоны (нуклоны). Следовательно, указанные выше мезонные массы должны быть некоторыми функциями кварк-глюонных степеней свободы. Используя механизм конфайнмента, мы приводим искомые функции в явном виде, что позволяет сделать вывод, что NN -потенциалы соответствуют лишь некоторым остаточным взаимодействиям, в то время как последние являются прямым результатом кварк-глюонной адронизации в мезоны при сближении двух нуклонов.

Список используемых источников

1. Malyarov V. V. Foundation of the theory of atomic nucleus. M.: Nauka, 1967.
2. Brown G. E., Jackson A.D. The nucleon-nucleon interaction: North-Holland Publishing Company, New York, 1976.
3. Soloviev V. G. Theory of atomic nucleus: nuclear models: M.: Energoizdat, 1981.
4. Perkins D. H. Introduction to high energy physics: Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
5. Prudnikov A. P. Brychkov Yu.A., Marichev O.I. Integrals and series. Elementary functions. M.: Nauka, 1981.
6. Naghdi M. Nucleon-nucleon interaction: A typical/concise review // Phys. Part. Nucl., 2014. № 45. PP. 924–971.
7. Goncharov Yu. P. Estimates for parameters and characteristics of the confining SU(3)-gluonic field in charged pions and kaons from leptonic decays and chiral symmetry breaking // Nucl. Phys. A., 2008. № 812. PP. 99–124.
8. Goncharov Yu. P. Estimates for parameters and characteristics of the confining SU(3)-gluonic field in neutral kaons and chiral limit for pseudoscalar nonet // Eur. Phys. J. A., 2010. № 46. PP. 139–155.
9. Pavlov F. F., Goncharov Yu. P. Estimates for parameters and characteristics of the confining su(3)-gluonic field in neutral vector mesons from leptonic widths // Horizons in World Physics: Nova Science Publishers, New York, 2013. Chap. 9. PP. 173–196.
10. Pavlov F. F., Goncharov Yu. P. Estimates for parameters and characteristics of the confining su(3)-gluonic field in ϕ -meson from leptonic widths // Few-Body Syst. 2014. № 55. PP. 35–45.

УДК 621.372.543.2
ГРНТИ 47.45.99

ПРИНЦИП ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕХНИКИ

Э. Ю. Седышев, Д. А. Смирнова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе исследуется зависимость частотных характеристик устройств микроволновой техники от варьирования их линейных размеров. В частности, приводятся полученные S-параметры моделей шлейфных фильтров с разными коэффициентами масштабирования по осям X и Y. Также рассматривается возможность синтеза сверхвысокочастотных устройств на кольцевых резонаторах по принципу электродинамического подобия.

принцип электродинамического подобия, синтез, масштабирование, фильтр, СВЧ, микрополосковая линия

На сегодняшний день устройства частотной селекции являются одними из важнейших компонентов микроволновой техники, поэтому вопрос создания простого инженерного метода синтеза данных устройств является актуальным.

Принцип электродинамического подобия основывается на том, что относительные характеристики частотно-зависимого устройства остаются неизменными при изменении линейных размеров топологии [1]. В связи с этим в данной работе исследуется зависимость центральной частоты и относительной полосы пропускания от изменения геометрических размеров устройства по осям X и Y.

В качестве образца был выбран шлейфный полосно-пропускающий фильтр (ППФ) в режиме холостого хода с центральной частотой 1 ГГц (масштаб 100 %). На рис. 1 изображены примеры топологий масштабированных фильтров (масштаб 25 %, 100 % и 200 %).

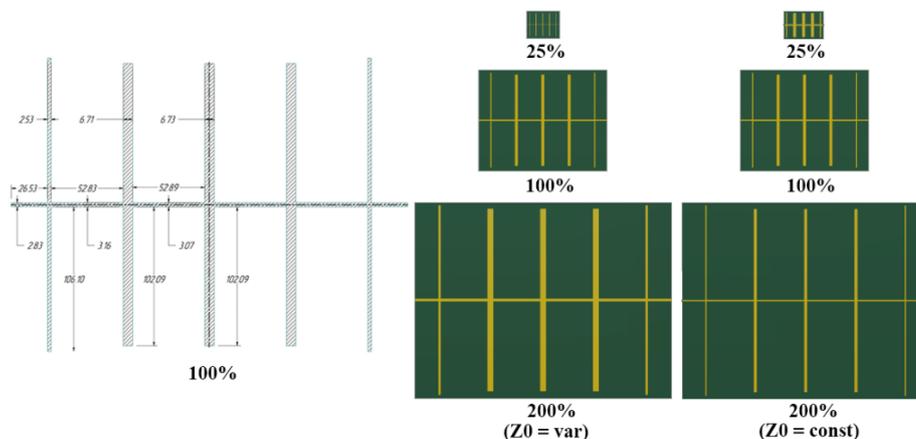


Рис. 1. Топологии масштабированных ППФ

Геометрические размеры изменялись с шагом 25 % в сторону увеличения и уменьшения. Масштабирование проводилось в двух вариантах: 1 – изменялись длины шлейфов, расстояния между шлейфами и их волновые сопротивления; 2 – изменялись только длины шлейфов и расстояния между ними, волновые сопротивления сохранялись. В таблице 1 представлены полученные характеристики масштабированных фильтров.

ТАБЛИЦА 1. Зависимость основных характеристик ППФ от изменения масштаба

Масштаб	$Z0 = variable$			$Z0 = constant$		
	$F0$, МГц	ΔF , МГц	ΔF , %	$F0$, МГц	ΔF , МГц	ΔF , %
200%	489,1	113,1	23,1	497,6	128,1	25,7
175%	559,3	132,6	23,7	567,9	144,1	25,4
150%	654,4	160,3	24,5	662,1	169,6	25,6
125%	788,4	196,3	24,9	795,7	200,2	25,2
100%	1003	254	25,3	1003	254	25,3
75%	1333	350	26,3	1318	336	25,5
50%	2030	558	27,5	1965,5	501	25,5
25%	4193,5	1251	29,8	3849,5	963	25,0

Из таблицы видно, что центральная частота ($F0$) и абсолютная полоса пропускания (ΔF) закономерно изменяется в обоих случаях, но относительная полоса пропускания (ΔF , %) сильно варьирует в пределах от 23,1 % до 29,8 % при $Z0 = variable$, когда как во втором случае ($Z0 = constant$) полоса практически сохраняется (девиация 0,7 %). Вероятно, это напрямую связано с изменением волнового сопротивления шлейфов. При моделировании фильтров были получены S-параметры, которые отражают влияние изменения волнового сопротивления на характер полосы пропускания (рис. 2).

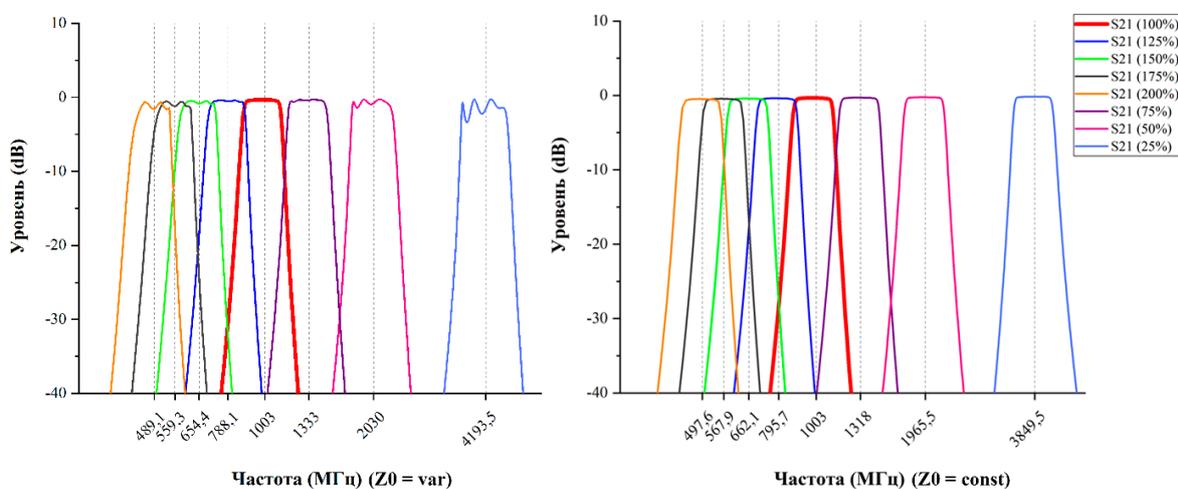


Рис. 2. Сравнение параметра S21 у масштабированных фильтров

При масштабировании шлейфов по оси X и Y с изменением волнового сопротивления происходит изменение относительной ширины полосы пропускания, а также из-за рассогласования возникает неравномерность в полосе, которая ведет к ухудшению параметров устройства. При сохранении волнового сопротивления элементов вид полосы пропускания фильтра сохраняется и переносится пропорционально изменению масштаба, что говорит о целесообразности использования именно этого способа масштабирования топологии при создании инженерного метода синтеза фильтров.

Кроме шлейфных фильтров, также исследовалась возможность синтеза СВЧ устройств на кольцевых резонаторах по принципу электродинамического подобия. В качестве прототипа был рассчитан кольцевой резонатор с частотой резонанса 1 ГГц (масштаб 100 %) [2]. На рис. 3 для примера изображены топологии масштабированных устройств (масштаб 25 %, 100 % и 200 %).

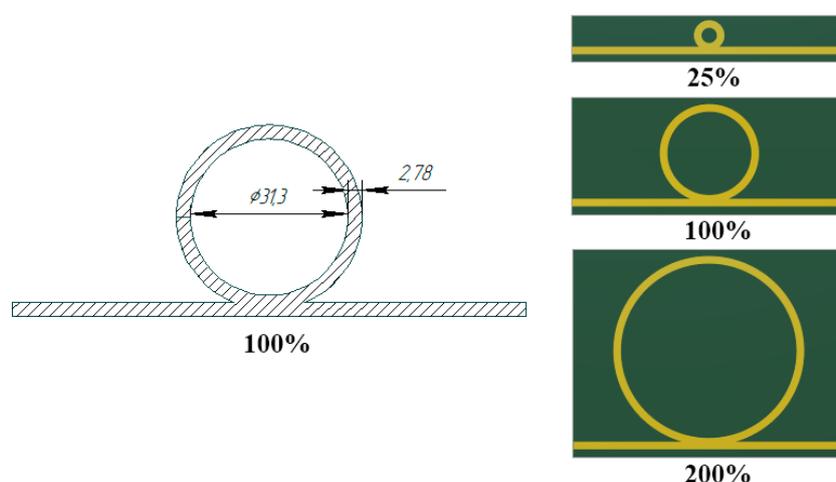


Рис. 3. Топологии масштабированных кольцевых резонаторов

В случае с кольцевыми резонаторами изменялся диаметр кольца, а волновое сопротивление сохранялось неизменным. Полученные характеристики масштабированных кольцевых резонаторов приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Зависимость основных характеристик кольцевого резонатора от изменения масштаба

Масштаб	F_0 , МГц	ΔF , МГц	ΔF , %
200%	501,65	500,3	99,7%
175%	572,55	574,1	100,3%
150%	669,6	672,8	100,5%
125%	804,6	800,8	99,5%
100%	1004,8	1002,4	99,8%
75%	1343,4	1343,2	100,0%
50%	2014,5	2017	100,1%
25%	4064	4082	100,4%

Как видно из полученных данных, у кольцевых резонаторов относительная полоса режекции практически не изменяется при масштабировании кольца (девиация 0,5 %). На рис. 4 представлено сравнение параметра S21 масштабированных резонаторов.

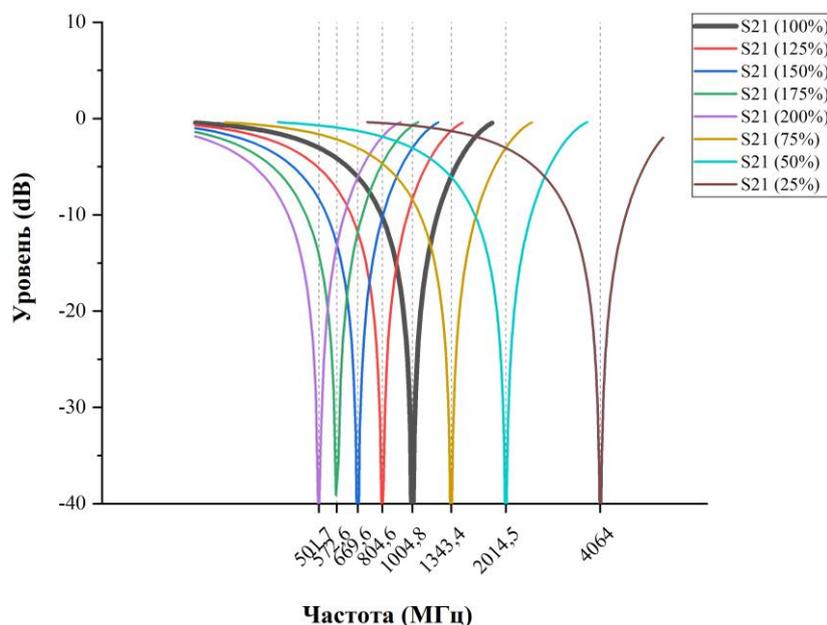


Рис. 4. Сравнение параметра S21 у масштабированных кольцевых резонаторов

Зависимость центральной частоты от изменения масштаба как у шлейфных фильтров, так и у кольцевых резонаторов одинаковая и имеет гиперболический характер. Также на рис. 5 представлены графики зависимости относительной полосы режекции от изменения масштаба устройства.

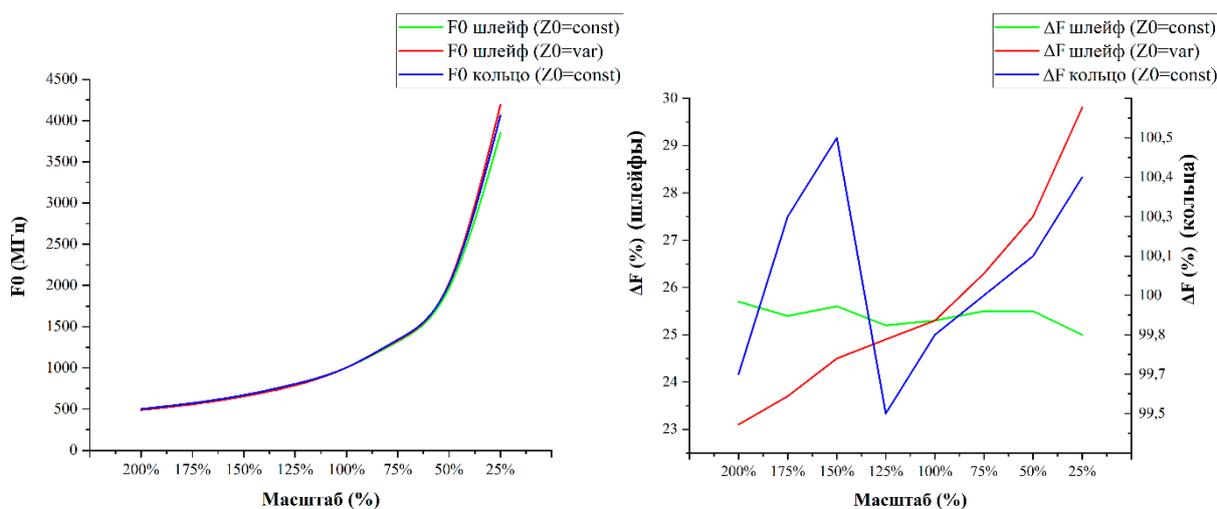


Рис. 5. Зависимость центральной частоты и относительной полосы от изменения масштаба

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- 1) При изменении волнового сопротивления изменяется ширина полосы пропускания, возникает неравномерность в полосе;
- 2) Изменение волнового сопротивления практически не влияет на центральную частоту СВЧ устройства – зависимость центральной частоты от масштаба во всех случаях одинаковая;
- 3) При синтезе СВЧ устройств по принципу электродинамического подобия целесообразно масштабировать только длины шлейфов и расстояния между ними (в случае шлейфных фильтров) и только диаметры колец (в случае кольцевых резонаторов).

Список используемых источников

1. Гвоздев В. И., Нефедов Е. И. Объемные интегральные схемы СВЧ. М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 256 с.
2. Сазоненко Н. Ю., Седышев Э. Ю. Устройства частотной селекции на основе кольцевого эллиптического резонатора на микрополосковой линии // СПб: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2019. С. 409–411.

УДК 621.315
ГРНТИ 49.29.14

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ

А. Н. Сергеев, Б. Г. Шамсиев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В связи с увеличением расстояний передачи в оптическом диапазоне возникает необходимость установки на трассе оптических усилителей. Для нормальной работы таких устройств к ним надо подводить электрическую энергию. Для этого можно использовать кабели, в конструкцию которых заложены медные жилы. В статье произведена оценка максимальной длины участка дистанционного питания оптического усилителя на примесном волокне в зависимости от напряжения, подаваемого на вход схемы дистанционного питания с учетом характеристик медной пары.

дистанционное питание, лазер накачки, оптический усилитель

Протяженные волоконно-оптические линии связи требуют периодического усиления передаваемых сигналов. Этой цели служат оптические усилители (ОУ), которые реализуются, чаще всего на основе примесного волокна. Применение таких устройств связано с подачей электроэнергии, питающий лазер накачки, без которого усиление оптического сигнала невозможно. Потери энергии оптического сигнала зависят от рабочей длины волны, характеристиками применяемого оптического волокна и скорости передачи информации, поэтому расстояние между приемо-передающей аппаратурой и усилителем или двумя усилителями может быть разным.

Таким образом, для обеспечения работы оптических усилителей требуется подводить к ним электрическую энергию. Обычно для этой цели усилители размещают на предприятии связи, но это возможно не всегда. Если такая возможность отсутствует, то электроэнергия подается дистанционно. Для этого используется комбинированный волоконно-оптический кабель с встроенными медными жилами, предназначенными именно для этих целей.

Расчет параметров дистанционного питания приведен в [1]. Для увеличения длины участка дистанционного питания необходимо уменьшать в нем потери электроэнергии и увеличивать вводимую в медную пару мощность.

Рассмотрим возможности увеличения мощности электроэнергии, вводимой в медную пару и необходимую для питания оптических усилителей. Мощность по постоянному току определяется произведением подводимого напряжения на вводимый в систему ДП ток. Величина напряжения связана с максимально допустимым значением, определяемым пробоем изоляции

между токопроводящими жилами, которая, в свою очередь зависит от типа диэлектрика, находящегося между ними. Для большинства комбинированных кабелей максимальная величина напряжения составляет 500 Вольт. Рассчитаем, на каком максимальном расстоянии можно расположить оптический усилитель при таком напряжении, приложенном к системе ДП.

Итак,

$$U = \sqrt{P \cdot R_0} = 500 \text{ В.}$$

Где $R_0 = \rho \cdot \frac{l}{S}$ – сопротивление цепи постоянному току; P – мощность, вводимая в систему ДП.

Падение напряжения в цепи постоянного ток можно определить по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho}{S}$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, для меди $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$; S – площадь поперечного сечения проводника, мм^2 ; I – ток, А; l – длина цепи, м.

Если задать фиксированное значение тока, то можно рассчитать зависимость падения напряжения от длины линии и площади поперечного сечения проводника. Результаты расчета падения напряжения от длины линии для тока 0,03 А, $S = 4 \text{ мм}^2$, $U_{\text{вх}} = 500 \text{ В}$ и мощности, потребляемой нагрузкой $P_{\text{н}} = 10 \text{ Ватт}$ приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Зависимость падения напряжения от длины линии

Длина линии, км	Падение напряжения, В при $I = 0,03 \text{ А}$
100	26,5
150	39,4
200	52,5
250	65,6
300	78,8
350	91,9
400	105

Оптическая мощность накачки должна превышать порог генерации лазера, при этом ее величина находится в пределах от 10,5 до 100 мВт (180 мВт для длины волны накачки 980 нм) [2]. Для обеспечения такой мощности к лазеру накачки оптического усилителя необходимо подвести ток от 30 до 60 мА. Если считать, что максимальное расстояние между усилителями определяется током 30 мА, то напряжение, которое обеспечит такой ток, составит 330 В, а расстояние составит 647 км.

$$U_H = \frac{P_H}{I_H} = \frac{10}{0,03} = 330 \text{ В}$$

То есть допустимо максимальное ослабление напряжения на 170В, что соответствует расстоянию 647 км.

В приведенных расчетах не учтены дополнительные потери энергии из-за изменения сопротивления вследствие нагрева токопроводящих жил. Такие изменения учитывает известная формула [3], учитывающая температурные изменения удельного сопротивления:

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot [1 - \alpha_\rho \cdot (t - 20)]$$

где ρ_t – сопротивление цепи при известной температуре; ρ_{20} – сопротивление цепи при температуре 20°C; α_ρ – температурный коэффициент сопротивления (для меди $\alpha_\rho = 0,004$); t – температура °С.

В таблице 2 приведена зависимость изменения удельного сопротивления от температуры.

ТАБЛИЦА 2. Зависимость изменения удельного сопротивления и максимальной длины линии ДП от температуры

Температура, °С	Удельное сопротивление $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Падение напряжения, В при $I = 0,03$ А и $l = 647$ км	Максимальная длина линии, км при $I = 0,03$ А и падении напряжения 170 В
5	0,0186	180,51	609
10	0,0182	176,63	622
20	0,0175	169,84	647
30	0,0168	163,04	674
40	0,0161	156,25	703

В таблицах приведены результаты расчетов для тока потребления 30 мА.

Передача информации осуществляется по оптическому волокну, которое имеет свои технические характеристики. Наилучшим видом оптического волокна для передачи одного канала является стандартное одномодовое волокно, обладающее наименьшим затуханием сигнала. Коэффициент затухания такого волокна может составлять 0,15 дБ/км. Это означает, что потери в волокне длиной 100 км будут иметь величину всего лишь 15 дБ. На расстоянии 647 км затухание оптического сигнала в волокне составит $647 \times 0,15 = 97,05$ д. Для того, чтобы уровень сигнала на входе оптического усилителя сделать приемлемым, можно увеличить мощность сигнала, вводимого в волокно. Однако, повышение вводимой мощности чревато достижением минимального порога возникновения нелинейных эффектов, а это приводит к отказу работы системы передачи. При этом, уровень оптической мощности на входе ОУ класса А может меняться от -30 дБм (1 мкВт) до -15

дБм (30 мкВт) [4]. Если учесть, что выходная мощность бустерного усилителя класса 1, подключаемого между оптическим передатчиком и волокном, находится в диапазоне от +13 дБм до +17 дБм [4], то максимальное затухание сигнала может достигать 47 дБ, что соответствует расстоянию 313 км без учета потерь в неразъемных соединениях. Неразъемные соединения (сварные сrostки) при строительной длине 4 км дают 4 дБ дополнительных потерь и уменьшают длину усилительного участка на 27 км, то есть до 286 км.

Таким образом, рассчитанная длина участка ДП при токе 0,03 А полностью удовлетворяет требованиям размещения оптических усилителей по длине трассы. При токе 0,06 А длина участка ДП составит 620 км.

Для того, чтобы согласовать длину участка ДП с максимальной длиной усилительного участка, можно уменьшить напряжение, подаваемое на вход цепи дистанционного участка. Рассчитаем входное напряжение для длины 286 км, соответствующей максимально дальнему расположению оптического усилителя. Для этого сначала оценим падение напряжения на участке ДП длиной 286 км:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho}{S} = \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 286 \cdot 10^3 \cdot 0,0175}{4} = 75 \text{ В}$$

и рассчитаем напряжение на входе цепи ДП:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{н}} + \Delta U = 330 + 75 = 405 \text{ В.}$$

Приведенный выше расчет можно применить для оптимизации цепи ДП при любом расположении активных устройств по длине волоконно-оптического кабеля.

Список используемых источников

1. Сергеев А. Н., Шамсиев, Б. Г. Расчет параметров дистанционного питания для лазера накачки линейного оптического усилителя на примесном волокне. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XXII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 701–705.
2. Курков А. С., Наний О. Е. Эрбиевые волоконно-оптические усилители // LIGHTWAVE russian edition, 2003. №1. с. 14.
3. Гроднев И. И, Верник С. М. Линии связи. Учебник для ВУЗов. 5-е изд., перераб и доп. М.: Радио и связь, 1988. 544 с.: ил.
4. РД 45.186-2001 Аппаратура волоконно-оптических усилителей для применения на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Технические требования. Минсвязи России. М., 2002.

УДК 535.41
ГРНТИ 29.31.15**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА
«ВОЛНОВАЯ ОПТИКА» ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ТЕМАМ
«ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ» И «ДИФРАКЦИЯ»****Н. Л. Урванцева, В. Г. Урванцев, В. Б. Федюшин, Ю. В. Шарихина**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Интерференция, дифракция и поляризация – элементы волновой оптики, которая является одним из основных разделов курса физики ВУЗов. В работе проведен анализ результатов тестирования универсального стенда «Волновая оптика», созданного на предприятии по производству учебного оборудования «Зарница».

лабораторная работа, интерференция, дифракция, когерентность, интерференционный максимум

В работе проведен анализ результатов тестирования лабораторного стенда «Волновая оптика» ООО «Зарница», разрабатывающего и производящего учебное оборудование. Фотография стенда представлена на рис. 1. Достоинством конструкции является возможность ее использования для проведения ряда работ по волновой оптике. В комплект входит описание лабораторных работ, которое содержит краткие методические указания по их выполнению и необходимый теоретический материал.



Рис. 1. Вид стенда
«Волновая оптика»

В верхней части стенда располагается полупроводниковый источник излучения 1 (длина волны $\lambda = 0,65 \text{ мкм.}$) Свет падает на исследуемые элементы (щель, две щели, две одномерные дифракционные решетки или двумерную решетку), обозначенные пиктограммами 2 и укрепленные на турели 3. Каждый из элементов может поворачиваться относительно луча на заданный угол с помощью ручки 4. Экран наблюдения 5 располагается на верхней поверхности блока питания 6 источника излучения.

Тестирование стенда было начато с классической работы по интерференции – опыта Юнга [1–5] рис. 2.

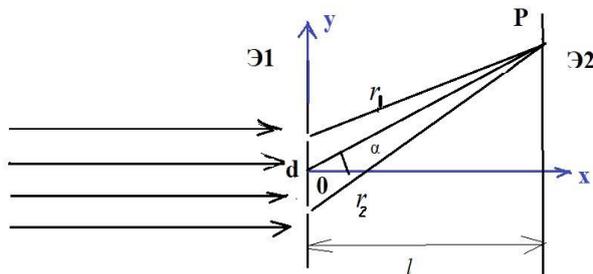


Рис. 2. Схема опыта Юнга

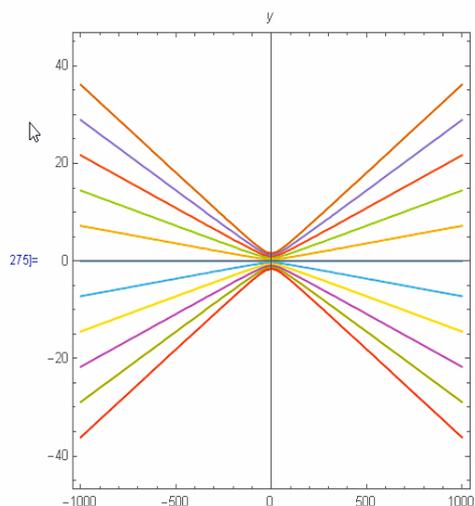


Рис. 3. Линии интерференционных максимумов

Исследуется нормальное и наклонное падение света на экран со щелями. Во всех опытах расстояние между экраном со щелями Э1 и экраном наблюдения Э2 одинаково и равно $l = 50\text{см}$.

В первом опыте свет падает нормально на экран Э1, расстояние между щелями равно d (определяется в ходе работы).

Интерференция наблюдается, если волны, распространяющиеся от щелей, когерентны. Поверхности, соответствующие интерференционным максимумам, определяются тем, что на них разность хода Δ равна целому числу длин волн [1], [2]: $r_2 - r_1 = \lambda m$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ Это условие определяет семейство гиперболических цилиндров: $\frac{y^2}{b^2} - \frac{x^2}{a^2} = 1$.

Сечение этих цилиндров плоскостью листа представляет собой семейство гипербол рис 3. Предполагая, что $\sqrt{x^2 + y^2} \ll d$.

Разность хода, соответствующую максимумам, можно записать:

$$\Delta = r_2 - r_1 \approx \sqrt{x^2 + \left(y + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{x^2 + \left(y - \frac{d}{2}\right)^2} \approx \frac{yd}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \lambda m \quad (1)$$

Таким образом, гиперболы практически совпадают со своими асимптотами:

$$y_m = \frac{\lambda m x_m}{\sqrt{d^2 - \lambda^2 m^2}} \quad (2)$$

Отметим, что отношение $y/\sqrt{x^2 + y^2}$ равно синусу угла α , где α – угол, под которым точка наблюдения видна из начала координат (рис.2). Поэтому уравнение (1) можно записать:

$$d \cdot \sin \alpha = m \lambda \quad (3)$$

Это уравнение, определяющее интерференционные максимумы дифракционной решетки в случае нормального падения света [1–4]. Что не удивительно: две параллельные щели – это элементарная решетка.

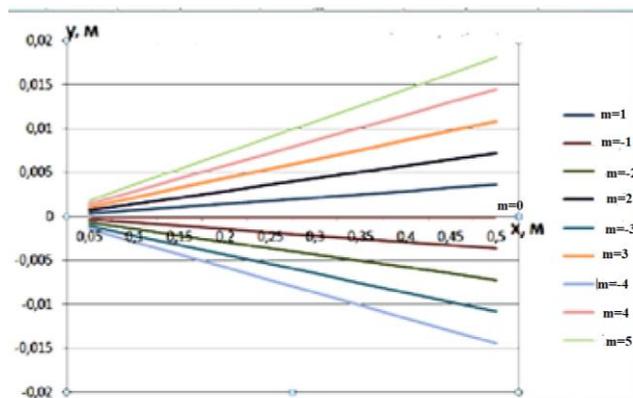


Рис.4. Линии интерференционных максимумов при $\sqrt{x^2 + y^2} \ll d$

Экран наблюдения Э2 параллелен экрану со щелями Э1. На экране Э2 наблюдаются эквидистантные интерференционные полосы, параллельные оси oy . Нулевой максимум наблюдается под углом $\alpha = 0$. Опыт показал, что общее число интерференционных полос равно одиннадцати ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$), максимумы располагаются симметрично относительно нулевого максимума.

Из (2) следует, что при $x = l = 0,5m$ координата y_m максимума наивысшего пятого порядка $y_5 = 0,019m \Rightarrow y_5 \ll x$. Тогда из (1) $\Rightarrow \frac{y_m d}{\sqrt{l^2 + y^2}} \approx \frac{y_m d}{l} = \lambda m$. В этом случае ширина интерференционной полосы:

$$\Delta y_m = y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda l}{d} \quad (4)$$

Измерив ширину полосы ($\Delta y_m = 3,8\text{мм}$), можно определить расстояние между щелями: $d = \frac{\lambda l m}{y_m} = 85\text{мкм}$.

Даже максимумы наивысших порядков (пятый, минус пятый) наблюдаются под малыми углами порядка 2^0 , а в этом случае $\sin \alpha \approx \alpha$. Поэтому из (3) находим углы, под которыми наблюдаются максимумы, $\alpha_m = m\lambda / d$. Угловые расстояния между интерференционными максимумами одинаковы и равны:

$$\Delta \alpha_m = \frac{\lambda}{d} \approx 0,4^0. \quad (5)$$

Интересно рассмотреть наклонное падение света на экран со щелями. Это приводит к кажущемуся уменьшению расстояния между щелями, а, следовательно, к увеличению углов дифракции и ширины интерференционных

полос. Волна «видит» проекцию расстояния между щелями на направление, перпендикулярное к направлению падающего света [5].

Полученные закономерности можно обобщить на случай одномерной дифракционной решетки.

Классический опыт, рассматривающий наклонное падение света на экран со щелями, представлен на рис.5. Э1 и Э2 параллельны друг другу, β – угол падения света на экран Э1.

Разность хода лучей в точке с координатами (x, y) в приближении $\sqrt{x^2 + y^2} \ll d$ равна:

$\Delta = \frac{yd}{\sqrt{x^2 + y^2}} - d \cdot \sin \beta \Rightarrow$ уравнение интерференционных максимумов:

$$\frac{yd}{\sqrt{x^2 + y^2}} - d \cdot \sin \beta = m\lambda . \quad (6)$$

Учитывая, что $\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \sin \alpha$, получим формулу, определяющую интерференционные максимумы дифракционной решетки при наклонном падении света на нее [1]:

$$d(\sin \alpha_m - \sin \beta) = m\lambda \quad (7)$$

Проанализируем полученное выражение. Очевидно, что нулевой максимум наблюдается под углом падения $\alpha_0 = \beta$. Величина $\frac{m\lambda}{d} \ll 1$, следовательно, углы α_m и β близки к друг другу:

$$\sin \alpha_m - \sin \beta = 2 \cdot \sin \frac{\alpha_m - \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha_m + \beta}{2} \approx (\alpha_m - \beta) \cos \beta = \frac{m\lambda}{d} \Rightarrow \alpha_m = \beta + \frac{m\lambda}{d \cos \beta} \quad (8)$$

Угловые расстояния между интерференционными максимумами одинаковы и равны:

$$\Delta \alpha_m = \alpha_{m+1} - \alpha_m = \frac{\lambda}{d \cos \beta} . \quad (9)$$

По сравнению со случаем нормального падения света величина $\Delta \alpha_m$ (5) увеличилась в $1 / \cos \beta$ раз, это эквивалентно тому, что расстояние между щелями стало равно:

$$d' = d \cos \beta \quad (10)$$

Все 11 интерференционных максимумов расположены на одинаковых угловых расстояниях друг от друга симметрично относительно угла β . Ширина интерференционных максимумов Δy_m на экране Э2, равна:

$$\Delta y_m = y_{m+1} - y_m = l(\operatorname{tg} \alpha_{m+1} - \operatorname{tg} \alpha_m) = \frac{l \sin(\alpha_{m+1} - \alpha_m)}{\cos \alpha_{m+1} \cdot \cos \alpha_m} \approx \frac{l(\alpha_{m+1} - \alpha_m)}{\cos^2 \beta} = \frac{\lambda l}{d \cos^3 \beta} \quad (11)$$

При падении пучка света на решетку под углом 30° ширина интерференционной полосы на Э2, расположенном на $l = 0,5$ м возрастает примерно в 1,5 раза.

Для исследования наклонного падения света на щели (или плоскую дифракционную решетку) разработчиками стенда предлагается повернуть экран со щелями Э1, не поворачивая пучок света и экран наблюдения Э2 (рис.6). Возникает вопрос, можно ли заменить наклонное падение пучка на щели (рис.5) наклоном плоскости щелей Э1 (рис.6)?

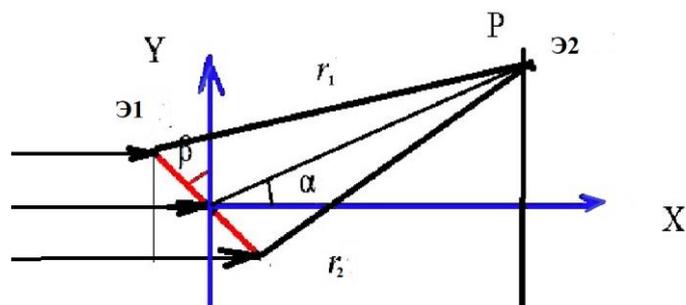


Рис. 5. Наклонное падение

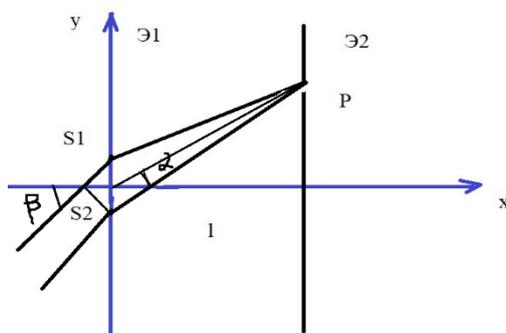


Рис. 6. Наклон экрана со щелями относительно света на экран со щелями пучка

Для построения линий интерференционных максимумов найдем разность хода в этом случае и приравняем ее целому числу длин волн. В приближении $\sqrt{x^2 + y^2} \ll d$ она будет равна:

$$\Delta = r_2 - r_1 + d \cdot \sin \beta \approx \sqrt{\left(x - \frac{d}{2} \cdot \sin \beta\right)^2 + \left(y + \frac{d}{2} \cdot \cos \beta\right)^2} - \sqrt{\left(x + \frac{d}{2} \cdot \sin \beta\right)^2 + \left(y - \frac{d}{2} \cdot \cos \beta\right)^2} + d \cdot \sin \beta$$

$$\frac{-xd \cdot \sin \beta}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{yd \cdot \cos \beta}{\sqrt{x^2 + y^2}} + d \cdot \sin \beta = m\lambda \quad (12)$$

$$d(\sin \alpha_m \cdot \cos \beta - \cos \alpha_m \sin \beta) + d \cdot \sin \beta = m\lambda$$

Также условие максимумов можно записать так:

$$\sin(\alpha_m - \beta) + \sin \beta = \frac{m\lambda}{d} \quad (13)$$

На рис. 7 и 8 построены линии интерференционных максимумов для обоих случаев, согласно уравнениям (6) и (12), соответственно. Согласно уравнению (6) и построенному графику рис. 7 нулевой максимум в случае наклонного падения пучка света наблюдается в направлении падающего пучка – под углом β . Угловые расстояния между максимумами одинаковы

и увеличены в $1 / \cos \beta$ раз относительно случая нормального падения света на щели. Положительные и отрицательные максимумы симметричны относительно нулевого.

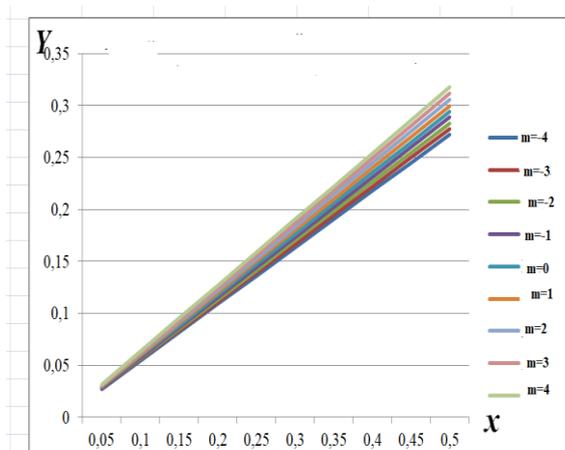


Рис.7. Линии максимума интерференции в случае наклонного падения лучей

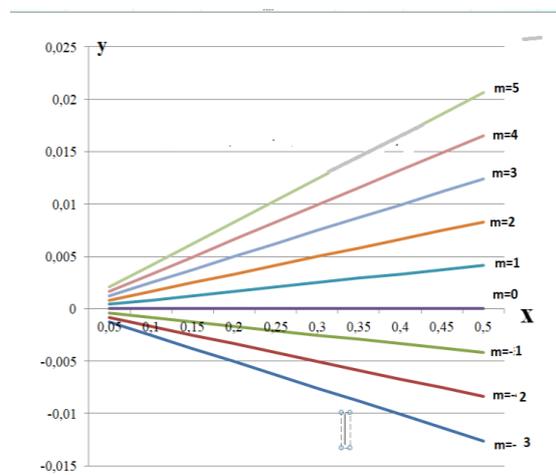


Рис.8. Линии максимума в случае наклона экрана

При наклоне решетки нулевой порядок также наблюдается направлении падающего пучка, под углом $\alpha_0 = 0$. Это следует из уравнения (12) и видно из рис. 8.

Величина $\frac{m\lambda}{d} \ll 1 \Rightarrow \sin(\alpha_m - \beta) \approx -\sin \beta, \Rightarrow \alpha_m$ мал $\Rightarrow \sin \alpha_m \approx \alpha_m; \cos \alpha_m \approx 1$ и $\sin(\alpha_m - \beta) = \sin \alpha_m \cdot \cos \beta - \cos \alpha_m \cdot \sin \beta \approx \alpha_m \cos \beta - \sin \beta = m\lambda$

В этом случае направления на максимумы:

$$\alpha_m = \frac{m\lambda}{d \cdot \cos \beta} \quad (14).$$

Линии максимумов интенсивности в обоих случаях симметричны относительно нулевого максимума, но в первом случае нулевой максимум наблюдается под углом β к оси x , а во втором – совпадает с ней. Угловые расстояния между интерференционными максимумами одинаковы в обоих случаях: $\Delta \alpha_m = \frac{\lambda}{d \cos \beta}$.

Ширина интерференционной полосы в случае предлагаемой разработчиками схемы с наклоном решетки существенно отличается от ширины полосы при наклонном падении света на решетку:

$$\Delta y_m = y_{m+1} - y_m = l(\operatorname{tg} \alpha_{m+1} - \operatorname{tg} \alpha_m) = \frac{l \sin(\alpha_{m+1} - \alpha_m)}{\cos \alpha_{m+1} \cdot \cos \alpha_m} \approx l(\alpha_{m+1} - \alpha_m) = \frac{\lambda l}{d \cos \beta} \quad (15)$$

Таким образом, поворот пучка света относительно экрана со щелями Э1 или поворот Э1 относительно пучка, абсолютно идентичны, если одновременно поворачивать экран Э2, сохраняя его параллельность с Э1. Предлагаемая разработчиками установка не предусматривает поворот экрана Э2.

Интерференционная картина зависит от взаимного расположения щелей, угла падения света на щели и позиции экрана наблюдения. Это требует от разработчиков аккуратности при разработке схем. Лабораторный комплекс предназначен для закрепления теоретического материала, а в теории в большинстве пособий по физике [1–4] схема наклонного падения света на щели (решетку) реализуется согласно рис. 5. Уравнение максимумов интерференции при этом $d(\sin \alpha_m - \sin \beta) = m\lambda$, а нулевой порядок наблюдается под углом β . Если же использовать конструкцию, предлагаемую на рис.6, то уравнение, определяющее направление на интерференционные максимумы будет $\sin(\alpha_m - \beta) + \sin \beta = \frac{m\lambda}{d}$, а нулевой порядок под углом $\alpha_0 = 0$. В этом случае необходимо проводить анализ полученных результатов и их отличие от классических опытов по интерференции света.

Список используемых источников

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики: пер. с англ. М.: Наука, 1973, 720 стр., ISBN.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Оптика: М.: Наука, 1980 г., 752 стр., ISBN.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. Учебное пособие.: М.: Наука, 1982 г., 496 стр., ISBN.
4. Андреев А. Д., Колгатин С. Н., Черных Л. М. Физика. Волновая оптика. Учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2017, 48 с.
5. Ландсберг Г. С. Оптика: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957 г., 759 с.

СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.93
ГРНТИ 49.43.29

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО МОНИТОРИНГА В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. Т. Алдамжаров, И. Б. Грачев, И. С. Ковалев, Б. Р. Рақымжан

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Существующая система технического обслуживания и ремонта в современных условиях по ряду показателей перестала соответствовать предъявляемым требованиям. Поэтому идет разработка перспективных средств радиоэлектронного мониторинга с целью сокращения времени обеспечения запасными частями за счет своевременного реагирования на технические сбои и неисправности вооружения.

вооружение, радиоэлектронный мониторинг, информационные технологии, эксплуатационные данные, интегрированная логистическая поддержка

В настоящее время в соответствии с [1, 2, 3] в силовых ведомствах Республики Казахстан все мероприятия по обеспечению имуществом, техникой, запасными частями, оборудованием и др. осуществляет уполномоченный орган через систему государственного оборонного заказа. Непосредственно оказание услуг осуществляет уполномоченная организация. На рис. 1 приведена модель оказания услуг.

Департамент технической политики (ДТП) определяет бюджет для каждого из ведомств. На основе заявок от подразделений главное управление (ГУ) формирует общую заявку (ОЗ) в рамках выделенного бюджета (существует вероятность того, что заявка от подразделения может быть отклонена из-за недостаточного финансирования) и направляется в ДТП.

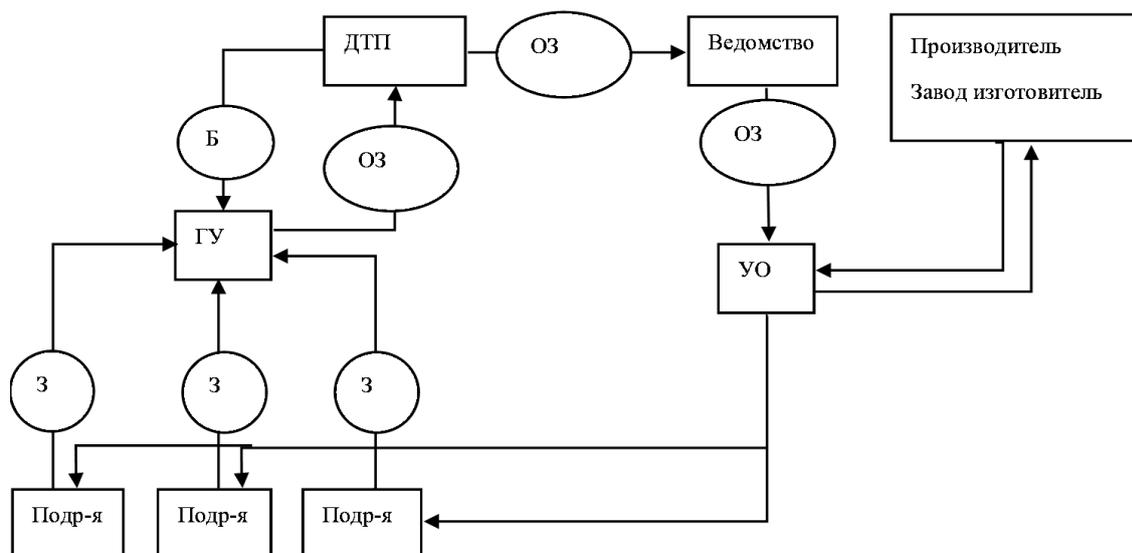


Рис. 1. Схема обеспечения запасными частями для подразделений РЭМ

ДТП отправляет общую заявку в соответствующее ведомство Республики Казахстан. В свою очередь ведомство собирает все заявки от различных департаментов и распределяет их между Уполномоченными организациями (УО). УО, которые соответствуют требованиям и способны выполнить заявки, заключают договор с ГУ об оказании услуг от имени УО. При необходимости УО может обратиться к заводу изготовителю (ЗИ) и заключить с ним контракт на оказание услуг. После всех этих процедур происходит обеспечение необходимыми услугами или запасными частями.

В подразделениях схему можно представить в следующем виде (см. рис. 2).

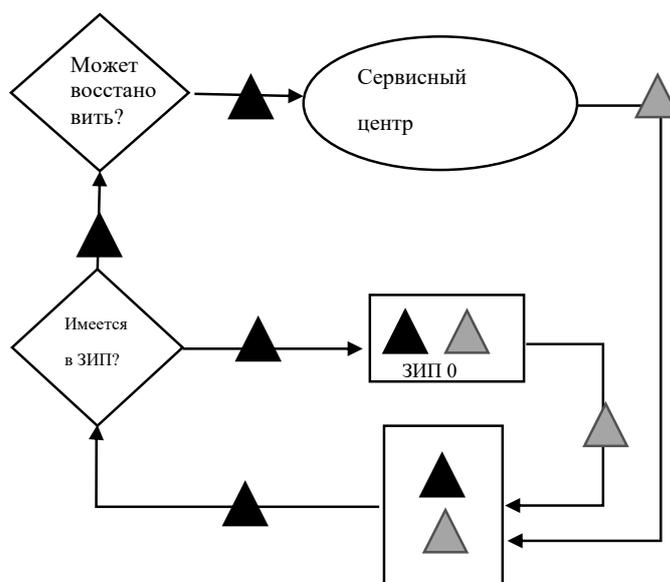


Рис. 2. Схема обеспечения запасными частями подразделений

Пути повышения эффективности обеспечения запасными частями средств радиоэлектронного мониторинга за счет совершенствования системы их технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

Переход на техническое обслуживание с периодическим контролем (ТОПК) позволяет снизить эксплуатационные затраты благодаря:

- сокращению объемов требуемых запасных частей (ЗИП);
- уменьшению трудозатрат по техническому обслуживанию за счет установления оптимальных режимов ТО;
- сокращению времени ТО (уменьшение простоев вооружения и военной техники (ВВТ)).

Но при этом необходимо подчеркнуть, что использование интегрированной-логистической поддержки является наиболее эффективным при применении для образцов ВВТ вида ТОПК. Только в этом случае достигается максимальная эффективность таких систем. Процесс постоянного улучшения видов ТО и эксплуатации ВВТ в целом, при использовании современных программно-аппаратных решений, должен опираться на передовые достижения в области информационных технологий.

В настоящее время в ведомствах Республики Казахстан для поддержания работоспособных образцов ВВТ применяется единая система технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), включающая в себя:

- подсистему ТО;
- подсистему ремонта;
- подсистему контроля.

В настоящее время в соответствии с руководящими документами в ведомствах Республики Казахстан действует единая система комплексного планово-предупредительного (ППТО) ТОиР, основанная на обязательном совмещении по месту и времени работ на составных частях образцов ВВТ. Вид технического обслуживания каждой составной части определяется в зависимости от величины наработки (пробега) или календарных сроков с учетом условий эксплуатации, а также фактического состояния [4]. При ее применении существует высокая вероятность выполнения большого объема работ по обслуживанию бездефектных образцов ВВТ, состояние которых на момент проведения ППТО не требует ремонта, но обслуживается с целью гарантировать заданную вероятность безотказной работы в межремонтный интервал. Как показывает практика, ППТО не сокращает частоту выхода из строя образцов ВВТ, а приводит к снижению уровня надежности, увеличению времени простоя и росту затрат на проведение ремонтов, особенно в плане закупки ЗЧ. Для минимизации этой негативной тенденции, в системе ТО и Р образцов ВВТ необходимо делать больший акцент на ТОПК.

Для оперативного обеспечения ЗЧ по принципу «точно вовремя» образцов ВВТ необходимо, чтобы система ТОиР соответствовала возможности оперативно оценить фактическое состояние образца ВВТ, определить

место возникновения неисправности или дефекта, выполнить наблюдение за его изменением во времени и прогнозировать дальнейшее развитие с целью предсказания момента возникновения отказа, для своевременного его устранения. Это и является сутью ТОПК. Идея ТОПК состоит в минимизации отказов путем применения методов (диагностики и мониторинга) и средств (контрольно-измерительной аппаратуры) отслеживания и распознавания технического состояния агрегатов образца ВВТ по совокупности их эксплуатационных характеристик. По результатам анализа технических параметров агрегатов образца ВВТ, определяется необходимость проведения мероприятий по ТОиР и планируются сроки и объемы их проведения [1]. Для обработки огромного количества диагностируемой информации применяются специальное программное обеспечение (ПО). Данное ПО предназначено для хранения, систематизации и анализа диагностической информации, а также позволяет создавать диагностическую модель обследуемого объекта, составлять алгоритмы его диагностики, выполнять обработку данных и прогнозировать тенденции их развития. Зная фактический тренд изменения диагностируемого параметра, уровень его предельного значения и время изготовления ЗЧ для образцов ВВТ, заранее можно спрогнозировать момент подачи сигнала на подготовку ЗЧ. В итоге к моменту возникновения потребности в ЗЧ, при отказе диагностируемого агрегата образца ВВТ, необходимый комплект ЗЧ будет находиться на ремонтной базе «точно вовремя». При этом нет необходимости держать большой объем ЗЧ на складах, рассчитанный на спрос за время комплектования заказа, подачи заявки, ее выполнения и поставки от производителя образца ВВТ, особенно в случае его зарубежного расположения, что актуально для СРЭМ.

Предложение по применению информационного взаимодействия участников системы ТО и Р СРЭМ по фактическому состоянию.

Затраты, возникающие на разных производственных стадиях ЖЦ СРЭМ и связанные с поддержанием их работоспособного состояния за весь период эксплуатации, могут быть равны затратам на приобретение или в несколько раз их превышать. Для их снижения и повышения эффективности эксплуатации необходимо применять ИСУ ТОиР в рамках концепции CALS-технологии. ИСУ ТОиР могут быть связаны через ИИС с другими участниками ЖЦ СРЭМ для выполнения комплекса мероприятий, объединенных понятием «Интегрированная логистическая поддержка» (ИЛП). ИЛП предназначена для регламентированного подхода к организации ЖЦ потребителя и поставщика изделия с целью обеспечить простоту и дешевизну их эксплуатации и поддержки. Она включает логистический анализ, планирование ТОиР, интегрированные процедуры поддержки материально-технического обеспечения, меры по обеспечению персонала электронной эксплуатационной и ремонтной документацией [5].

Анализ показывает, что для автоматизации управления ТОиР в гражданских сферах применяют два подхода к внедрению ИСУ ТОиР.

Первый подход: используется несколько программных продуктов, каждый из которых автоматизирует свою сферу деятельности. Этому подходу соответствуют ЕАМ-системы, разработанные специально для управления процессами ТОиР.

Второй подход: для автоматизации всех служб предприятия используется один универсальный программный продукт. Данному подходу соответствуют ERP-системы, в составе крупнейших из которых имеются модули управления ТОиР.

Для наглядности описания информационного взаимодействия участников системы ТОиР СРЭМ по фактическому состоянию и технологии оперативного обеспечения ЗЧ в ней разработана схема см. рисунок 3.

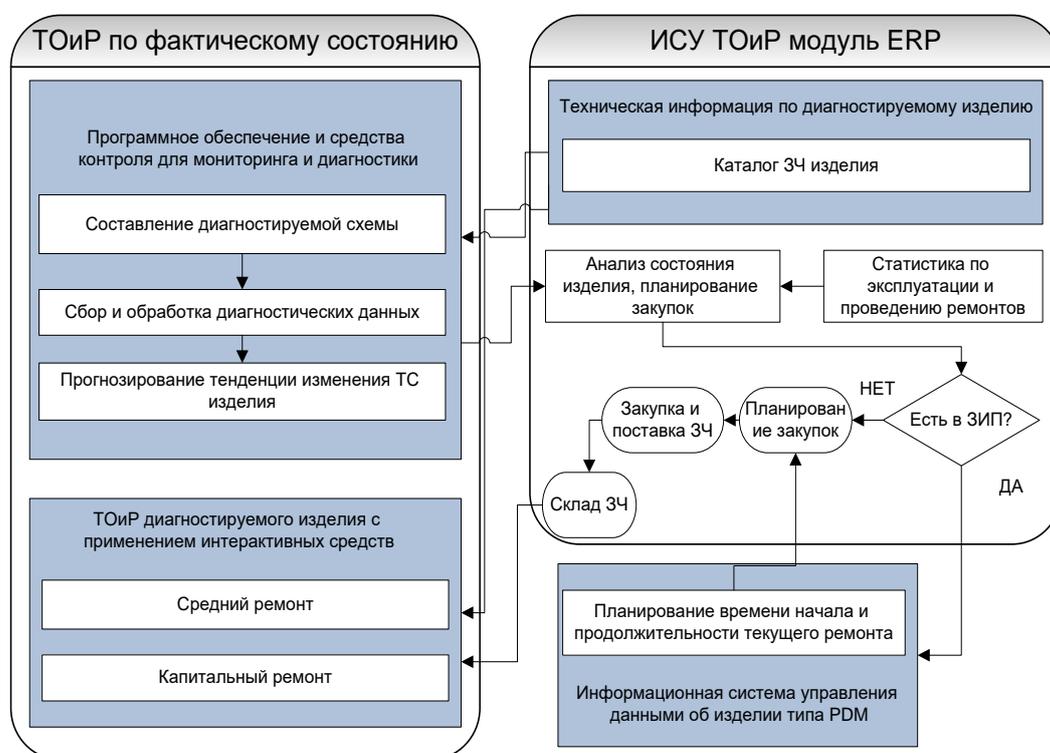


Рис. 3. Схема информационного взаимодействия участников систем снабжения ЗЧ и ТОиР по фактическому состоянию

Таким образом, применение ИЛП на существующих образцах вооружения и ее внедрение на перспективных образцах позволяет сократить затраты на техническую эксплуатацию за счет более полного использования потенциала работоспособности объектов ЧПРЭМ. Это достигается путем максимального использования ресурсов работоспособности конструкции и комплектующих изделий каждого экземпляра вооружения. Организация связи с поставщиком вооружения или сервисным центром в этом случае

позволяет оперативно корректировать ТО на основе анализа предотказных состояний образцов.

Список используемых источников

1. ГОСТ 18322-2016. Межгосударственный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. (введен в действие Приказом Росстандарта 28.03.2017. № 186-ст).

2. Приказ Минобороны РК от 25.01.2004 г. № 415дсп «Руководство по техническому обеспечению связи и автоматизированных систем управления Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан». Астана, 2004 г. 118 с.

3. Постановление правительства Республики Казахстан от 29.11.2019 г. № 896 «об утверждении Правил оборота вооружения и военной техники».

4. Алексеенко А. Я., Адерихин И. В. Эксплуатация радиотехнических систем. М.: Воениздат, 1986. 233 с.

5. Шалумов А. С, Никишкин С. И., Носков В. Н., Введение в CALS-технологии. Учебное пособие. Ковров: КГТА, 2002. 137 с.

УДК 004.588
ГРНТИ 47.01.05

МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ УЧЕБНО- ТРЕНИРОВОЧНЫХ КАРТ И АЛГОРИТМОВ

**В. А. Александров, А. Н. Григорчук, В. А. Гриднев, Д. А. Груздев,
Р. С. Знобищев**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются методики подготовки специалистов в области инфокоммуникационных технологий и систем специальной связи с помощью учебно-тренировочных карт (УТК) или алгоритмов. Предложенные методики подготовки специалистов с помощью УТК или алгоритмов позволяют повысить качество усвоения учебного материала и уровень практических навыков при эксплуатации телекоммуникационного оборудования и сетей связи специального назначения. Статья может быть полезна руководящему составу и педагогическим работникам образовательных организаций, а также студентам.

подготовка специалистов, инфокоммуникационные технологии, сети связи специального назначения, учебно-тренировочные карты, алгоритмы

Процесс подготовки специалиста в вузе надо рассматривать, как единый процесс обучения и воспитания [1].

В современных условиях существует острая потребность, прежде всего, в хорошо подготовленных специалистах в области инфокоммуникационных технологий и систем специальной связи, обладающих всеми необходимыми военно-профессиональными качествами, глубокими знаниями, твердыми практическими навыками и морально-психологической устойчивостью.

Одним из важных направлений при подготовке студентов военного учебного центра в области инфокоммуникационных технологий и систем специальной связи является применение в учебном процессе современных средств обучения, которые повышают качество усвоения учебного материала, совершенствуют систему профессиональной подготовки специалистов иногда сокращают учебное время на усвоение учебных программ. Таким средством обучения специалистов являются учебно-тренировочные карты (УТК) [2].

Процесс трансформации знаний в навыки и умения выглядит следующим образом: знания – начальные умения – простые навыки – сложные навыки – сложные умения [3].

Для обеспечения трансформации знаний в навыки и умения в военном учебном центре используются УТК.

УТК обладают определенными преимуществами и позволяют:

- освоить в более короткие сроки правила эксплуатации нового оборудования и средств связи;
- упростить процесс восприятия сложных элементов оборудования за счет его расчленения на простые (пошаговые) действия с целью последовательного (поэтапного) освоения изучаемой сложной задачи;
- продуктивно использовать учебное время за счет сокращения ресурса, выделенного на усвоение учебного материала [2];
- обеспечить возможность оперативной объективной оценки качества выполненных процессов и действий;
- обеспечить возможность фиксации допущенных ошибок в ходе выполнения учебных задач (действий);
- обеспечить возможность повторения действий до безошибочного уровня их выполнения;
- полную безопасность обучения, предоставить обучаемому возможность самостоятельно принимать решения и действовать в процессе обучения.

УТК помогает формировать у обучаемых необходимый уровень знаний и на их основе правильные двигательные навыки.

Она помогает выявлять ошибочные действия и развивать правильные навыки самостоятельной работы, систематизировать знания и последующие действия обучаемого. Пошаговое изучение материала от простого к сложному позволяет быстрее усвоить изучаемый материал и сформировать устойчивые двигательные навыки.

Формирование правильных знаний и действий осуществляется по этапам:

- первый этап – формирование мотивационной направленности на конкретную деятельность;
- второй этап – изучение материала УТК, его повторение и отработка практических действий с обязательным комментарием вслух всех выполняемых действий;
- третий этап – уверенное воспроизведение изученного учебного материала и демонстрации правильных действий по УТК. Если материал обучаемыми воспроизведен уверенно, без ошибок, то студентов допускают к следующему этапу;
- четвертый этап – допуск обучаемых к работе на технике или средствах связи. В случае уверенного выполнения задачи по УТК студент допускается к самостоятельной работе. В случае неуверенных действий или допущения ошибок студент не допускается к самостоятельной работе и возвращается на предыдущий этап [4].

В случае освоения четвертого этапа может работать самостоятельно на средствах связи.

В итоге у обучаемого за счет быстрого освоения программы появляется дополнительное время, которое может быть направлено на работу с другими операторскими функциями, тем самым расширяется диапазон возможного использования и применения военной техники.

В современных системах военного назначения для обеспечения обмена данными в целях управления войсками используются большие объемы информационных потоков. Поэтому к человеку-оператору предъявляются высокие требования в отношении скорости действий, их точности и надежности [1].

Повышение эффективности и качества подготовки специалистов связи возможно не только при использовании УТК. Для достижения этой цели могут применяться также и алгоритмы обучения, которые, как и УТК, позволяют сократить и повысить уровень практических навыков у обучаемых.

Применение алгоритмов позволяет упорядочить последовательность действий у обучаемых и обеспечить поэтапное повышение уровня их практических навыков в работе на телекоммуникационном оборудовании и системах специальной связи. Алгоритм имеет более расширенную функцию контроля действий обучаемых, что позволяет получить точную информацию о правильности действий каждого студента и определить ошибки в ходе тренировки навыков и отработке учебных задач. Причем ошибки, которые допускает обучаемый, регистрируются в программе и предоставляется возможность их устранить путем повторного прохождения обучения. Алгоритм является более точной процедурой подготовки студентов по сравнению с УТК, так как реализуется на ПЭВМ и имеет электронную оболочку, которую можно настроить посредством фильтров под определенные задачи подготовки обучаемых. Алгоритм также более сложен по порядку его применения по сравнению с УТК, так как это уже система, которая требует дополнительной настройки ПЭВМ, программного обеспечения для реализации алгоритма и каждого рабочего места.

Алгоритм представляет собой последовательность действий (команд), которые следует поэтапно выполнить для получения результата поставленной задачи, в данном случае для повышения уровня практических навыков (путем отработки нормативов и учебных задач).

Свойства алгоритма:

- дискретность (разбиение алгоритма на конечное число действий, на шаги);
- понятность (каждый шаг алгоритма должен быть понятен обучаемому);
- результативность (получение результата за определенное количество часов подготовки);

– массовость (использование алгоритма для решения однотипных задач);

– точность (указание последовательности этапов обучения).

Исполнитель алгоритма – это человек, живое существо или автоматическое устройство, способное к восприятию и выполнению данных команд (система, способная выполнить действия, предписываемые алгоритмом).

Исполнителя характеризуют:

– среда (т. е. место обитания обучаемого);

– система команд (исполнитель может выполнять команды только из определенного, заданного списка);

– элементарные действия (после вызова команды исполнитель совершает соответствующее элементарное действие);

– отказы в ходе работы (если команда вызывается при недопустимом для нее состоянии среды).

Система команд исполнителя (СКИ) – перечень команд, которые понимает и может исполнить исполнитель.

От назначения самого алгоритма зависит выбор средств и методов записи алгоритма (зависит прежде всего, а также от того, кто будет исполнять алгоритм. Способы и методика описания алгоритмов (формы представления алгоритма):

– словесный способ (письменно или устно);

– графический способ (стрелки, блок-схемы);

– описание алгоритмов с помощью программ.

Программа – алгоритм, записанный на языке программирования.

Алгоритм, предназначенный для исполнения заданий на компьютере, записывается на языке программирования (языке, понятном ЭВМ).

Процесс разработки алгоритма (плана действий) для решения задачи – это алгоритмизация.

Основные алгоритмические структуры (типы алгоритмов):

– линейный алгоритм (следование, когда команды выполняются строго одна за одной);

– алгоритм с повторением (циклический, когда одни и те же действия выполняются несколько раз при определенном условии);

– разветвляющийся алгоритм (ветвление, когда в алгоритме содержится какое-либо условие и в результате проверки которого происходит переход на один из двух возможных шагов).

Выбор и применение алгоритмов проводит преподаватель в процессе подготовки специалистов в зависимости от условий выполнения задач. Он таким образом определяет сложность и структуру выполняемого условия. Требования программы обучения студентов определяет сложность структуры алгоритма. На начальном этапе подготовки специалистов, как правило

будет применяться простая структура алгоритма, которая будет выполняться поэтапно без формул и разветвления. При усложнении процесса подготовки в структура алгоритмов могут быть заложены формулы, вычисления и разветвляющийся процесс. Такой алгоритм будет более сложным. Сложный алгоритм позволяет использовать более широкие функции контроля за процессом подготовки студентов и позволяет охватить больше задач по совершенствованию уровня практических навыков у специалистов.

Настройка программного обеспечения на высокий уровень контроля за процессом подготовки военных специалистов позволяет получить детальную информацию о действиях обучаемых, находящихся на своем рабочем месте и определить их ошибки, которые допускают студенты в процессе обучения. В результате прохождения алгоритма обучаемым, преподаватель получает профиль развитости всех уровней профессиональных навыков. При чем преподаватель контролирует обучаемых в режиме реального времени со своего рабочего места и может оказывать помощь в виде рекомендаций.

Таким образом, повышение качества подготовки специалистов в области инфокоммуникационных технологий и сетей связи специального назначения в ВУЦ возможно, как правило при внедрении в учебный процесс современных средств обучения таких как УТК и алгоритмы, которые позволяют оптимизировать обучение студентов на разных уровнях подготовки за счет поэтапного изучения сложных средств связи и совершенствования у них уровня практических компетенций.

Список используемых источников

1. Ахутин В. М., Зараковский Г. М., Королев Б. А. и др. Инженерная психология в военном деле / под общ. ред. Б. Ф. Ломова. М.: Воениздат, 1983. 224 с.
2. Александров В. А., Брыдченко А. В., Ванюгин Д. С., Глушко А. В., Гриднев В. А., Лукин К. И., Титова О. В. Военные средства и комплексы канала образования. Учебно-тренировочная карта: учеб.-метод. пособие. СПб.: СПбГУТ, 2022. 66 с.
3. Дьяченко М. И., Осипенко Е. Ф., Мерзляк Л. Е. Психологические основы деятельности командира / под ред. Ген. Армии И. Г. Павловского. М.: Воениздат, 1977. 295 с.
4. Александров В. А., Гриднев В. А., Груздев Д. А. Формирование профессионально-важных качеств специалистов в военном учебном центре // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Том 4. С. 532–536.

УДК 654.01
ГРНТИ 50.51.02

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Х. Б. Альбадр, В. В. Сазонов

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Информационные системы специального назначения создаются и функционируют в различных условиях для достижения уникальных целей. Распорядительный метод работы должностных лиц органов управления систем специального назначения позволяет учесть больше особенностей и включить всю систему управления в планирование информационных систем.

информационные системы специального назначения, планирование, распорядительный метод работы

Известно [1], что информационное обеспечение управления войсками (силами, оружием) выполняется информационной системой (совокупность распределенных в пространстве технических средств и обслуживающего персонала), решающей следующие вопросы:

- доставка информации от одного пункта управления к другому (решается системой связи (СС));
- обработка, преобразование и использование полученной информации (решается системой обработки информации (СОИ)).

Для решения данных вопросов на начальном этапе управления необходимо выполнить планирование информационной системы специального назначения. Планирование информационной системы можно определить как процесс (управленческая функция) уточнения (декомпозиции) целей, задач и детальной программы ее достижения, оформленной в виде совокупности документов.

Этапы планирования информационной системы включают в себя [2]:

- уяснение задачи и оценка обстановки (идентификация целей, оценка существующих СС и СОИ на соответствие текущим требованиям);
- выработка замысла решения (разработка архитектуры СС и СОИ, выбор технологий, методы и стратегии оптимизации, сроки и ресурсы);
- завершение работы по принятию решения;
- оформление и доведение документов планирования.

Представленные этапы не имеют четких границ для всех условий организации планирования информационных систем [3]. Например, уяснение задачи и оценка обстановки осуществляются практически на всех этапах операции

(боевых действий); замысел и решение могут уточняться и корректироваться практически на всех этапах планирования; постановка задач подчиненным может осуществляться не только после завершения работы по принятию решения, но и значительно раньше – после выработки замысла. Планирование информационной системы должно начинаться задолго до начала первого этапа (в смысле подготовки планирующих документов). Кроме того, в динамически изменяющейся обстановке некоторые этапы могут совмещаться. Все это еще раз свидетельствует о множестве особенностей процесса планирования информационных систем (СС и СОИ) специального назначения.

Цель данной статьи – раскрыть особенности, влияющие на элементы планирования информационных систем специального назначения.

Работа органа планирования может основываться на методах параллельной и последовательной работы или их комбинации. Метод последовательной работы применяется в мирное время и при наличии достаточного количества времени, поскольку нижестоящий штаб планируется после завершения планирования вышестоящего штаба и получения от него приказов. В условиях ограниченного времени при планировании и постановке задач, как правило, применяется метод параллельной работы. Это означает, что работу нижестоящего штаба можно планировать без необходимости завершения планирования вышестоящего штаба, а только для принятия некоторых важных решений и получения от него первоначальных распоряжений.

В современных условиях даже метод параллельной работы не всегда приводит к желаемым результатам. Это особенно справедливо при корректировках документов планирования на каждые сутки операции (боевых действий). В этих и ряде других случаев наиболее применимым может оказаться распорядительный метод работы. Сущность этого метода заключается в том, что старший начальник, приняв решение по назревшим вопросам, стремится в кратчайший срок довести до исполнителей боевые задачи и незамедлительно включить в работу всю систему управления, как показано на рисунке 1.

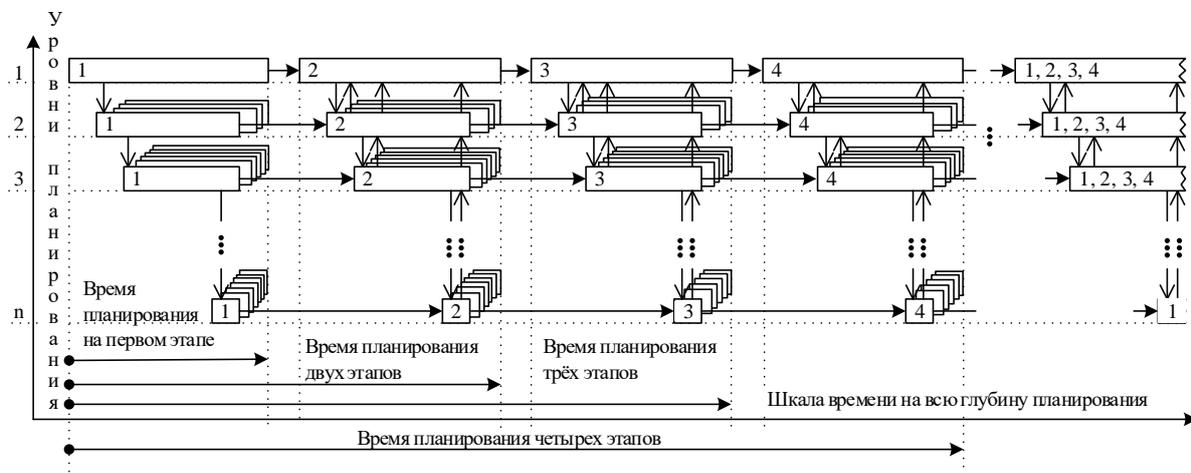


Рис. 1. Графическое представление распорядительного метода планирования информационных систем специального назначения

На всех n уровнях иерархии планирования и этапах планирования информационных систем (СС и СОИ) специального назначения имеет место большое количество особенностей.

В основном, при централизованном планировании управление осуществляется от первого (высокого) до n (нижнего) уровней, участвующих в организации информационных систем, влечет за собой большие временные затраты и сложности спрогнозировать конечные условия использования. Эти вопросы можно решить, используя иерархический подход в планировании информационных систем специального назначения, распределяя функции планирования между органами различных уровней иерархии (рис. 1).

Ресурс органов различных уровней иерархии участвующих в планировании информационных систем специального назначения ограничен и требует четкой детализации по подсистемам, по функционалу и по разрабатываемым документам. В современных условиях эффективность использования ресурсов органами различных уровней иерархии зависит от степени использования новых информационных технологий.

Условия, в которых осуществляется процесс планирования, может отличаться (мирное и военное время). При планировании в мирное время разрабатывается несколько вариантов плана. Но они корректируются при непосредственной подготовке к боевому применению, потому что при планировании в мирное время можно принимать решения с высоким уровнем детализации, но во время проведения различных операций (боевых действий) эти решения будут корректироваться в соответствии с условиями обстановки.

Цели и решаемые задачи варьируются в зависимости от зоны операции (боевых действий), если зона незнакома, это потребует глубокого анализа исходных данных, задействование максимального ресурса планирования и разработки соответствующих документов.

Раскрытые выше особенности элементов планирования информационных систем специального назначения должны быть обоснованы и своевременны при соблюдении всех ограничений.

Список используемых источников

1. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. Боговик А. В., Игнатов В. В. СПб.: ВАС, 2006. 183 с.

2. Боговик А. В., Загорулько С. С., Ковалев И. С., Котенко И. В., Масановец В. В. Теория управления в системах военного назначения. Учебник. / Под редакцией И. В. Котенко. М.: МО, 2001. С. 1–320.

3. Гвоздева Т. В., Баллод Б. А. Проектирование информационных систем: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2009. 508 с.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33

**ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ФИЗИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ
ЗАЩИЩЕННОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В ИНТЕРЕСАХ
ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**А. И. Аникеев¹, Д. Н. Васильев², А. Н. Григорчук¹, А. К. Сагдеев²,
А. В. Семин¹**

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Составной частью инфотелекоммуникационной сети специального назначения является мультисервисная сеть передачи данных, обеспечивающая предоставление абонентам органов военного управления услуги доведения данных. В статье рассматривается обобщенная структура физической топологии защищенной мультисервисной сети передачи данных и комплекс средств инфокоммуникаций для построения узлов защищенной мультисервисной сети.

ИТКС СН, мультисервисная сеть, передача данных, комплекс средств инфокоммуникаций

Защищенная мультисервисная сеть передачи данных (ЗМС ПД), как сеть передачи данных, состоит из множества узлов (объектов) ЗМС ПД, связанных между собой с использованием открытых и закрытых СПД, к которым подключаются абоненты (АС ВН) [1]. Исходя из соображений компромисса между стоимостью оборудования, ресурсов связи и показателями технической готовности, в основу физической топологии ЗМС ПД положена трехкаскадная структура, приведенная на рисунке 1.

В соответствии с представленной схемой в общей физической топологии ЗМС ПД выделяются:

Коммутирующий каскад – включает множество полностью связанных узлов ЗМС ПД (узлы уровня коммутации) с максимальной пропускной способностью направлений связи между узлами.

Агрегирующий (промежуточный) каскад – включает множество узлов ЗМС ПД, обеспечивающих резервирование направлений связей между узлами уровня доступа (УД) и узлами уровня коммутации (УК).

Линейный каскад – включает множество конечных узлов доступа ЗМС ПД (УД), не предназначенных для прохождения транзитной нагрузки от других УД.

Примечание: Абонентские системы (АС ВН) могут подключаться к узлам ЗМС ПД любого уровня (УК, УА, УД).

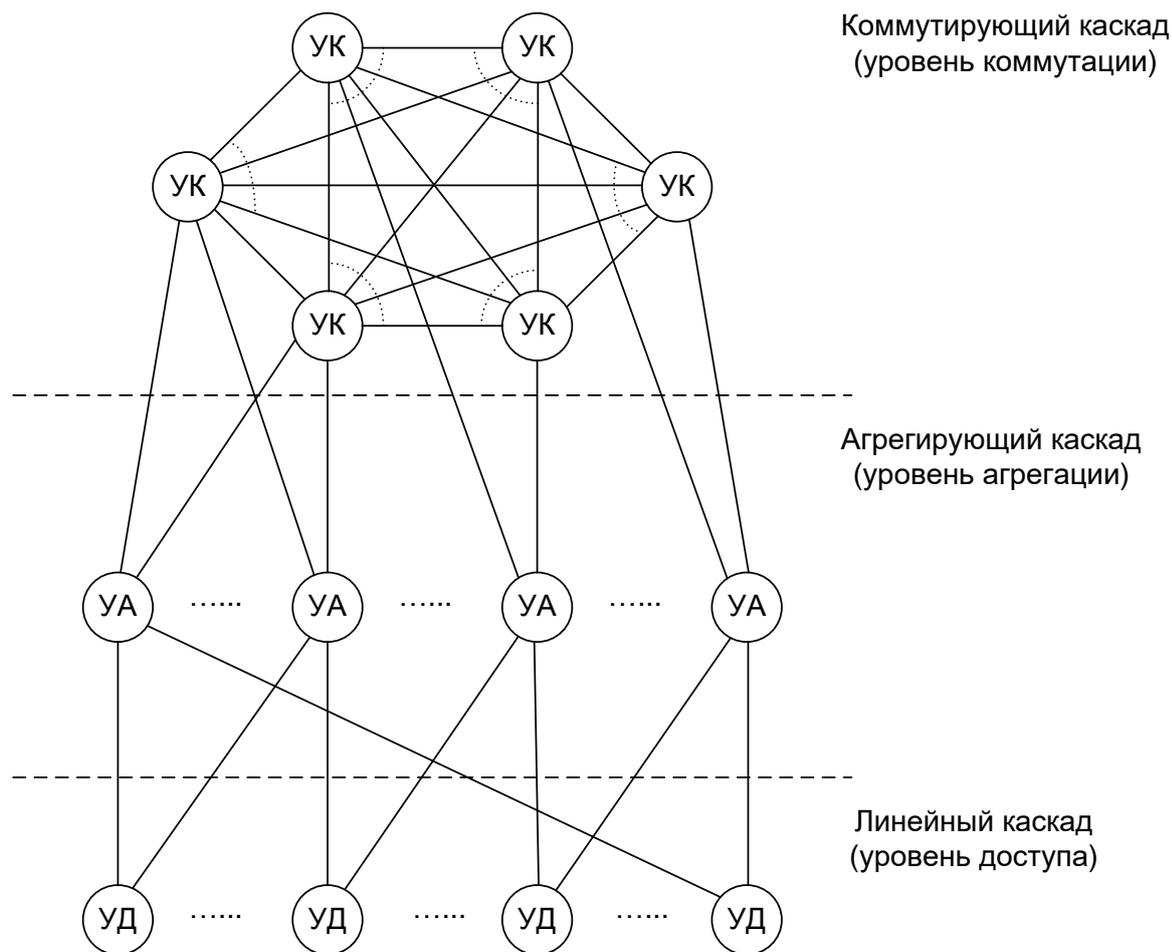


Рис. 1. Модель физической топологии ЗМС ПД

Для построения узлов (объектов) ЗМС ПД соответствующих уровней (УК, УА, УД) используются комплекс средств инфокоммуникаций (КСИК) в следующей комплектации [2-3]:

КСИК-К – комплектация узла коммутации (уровень коммутации).

КСИК-А – комплектация узла агрегации (уровень агрегации).

КСИК-Д – комплектация узла доступа (уровень доступа).

С учетом выделения в ЗМС ПД открытого и закрытого сегментов, КСИК (всех вариантов комплектации) включает в своем составе:

Закрытый сегмент КСИК – аппаратно-программные средства узла ЗМС ПД, обеспечивающие реализацию функций и услуг, относящихся к закрытому сегменту ЗМС ПД.

Открытый сегмент КСИК – аппаратно-программные средства узла ЗМС ПД, обеспечивающие реализацию функций и услуг, относящихся к открытому сегменту ЗМС ПД.

Ключевым элементом архитектуры КСИК всех типов комплектации являются аппаратно-программный комплекс «Маршрутизатор доступа» (АПК МД), с использованием которых строятся локальные подсети открытого и закрытого сегментов КСИК и обеспечивается маршрутизация трафика для

передачи в пределах объекта и между объектами. Физический уровень передачи данных обеспечивается протоколами Ethernet 100/1000 FX (для закрытого сегмента) или Ethernet 100/1000 TX (для открытого сегмента) [4–5].

Для обеспечения требуемых показателей надежности в каждом из сегментов КСИК-К установлены по два АПК МД, один из которых является основным, а второй – резервным (функционирует при возникновении отказа основного АПК МД). Обеспечение синхронизации конфигураций и автоматическое переключение на резервный АПК МД осуществляется по протоколу VRRP [6].

При этом для маршрутизации IP-пакетов в закрытом сегменте маршруты передачи явно задаются администратором, а в открытом сегменте дополнительно используется динамическая маршрутизация по протоколам BGP и OSPF.

Список используемых источников

1. Гордийчук Р. В., Ракоед А. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н. Анализ влияния современных и перспективных технологий построения сетей связи на ИТКС ВН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

2. Штеренберг И. Г., Штеренберг С. И., Сагдеев А. К., Виноградова О. М. Разработка блока обнаружения и коррекции ошибок для устройства диагностирования каналов передачи цифровой информации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки, 2020. № 1. С. 15–24.

3. Багрецов С. А., Лаута О. С., Михаил И. И. Сагдеев А. К. Методика рационального выбора состава резервных каналов связи в интересах повышения устойчивости информационно-телекоммуникационной сети с учетом результатов воздействия противника // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2021. № 1. С. 126–135.

4. Васильев Д. Н., Гордийчук Р. В., Сагдеев А. К., Слюсарь В. А. Модель интегрированной информационно-телекоммуникационной системы военного назначения как объекта контроля // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 442–445.

5. Куранда А. И., Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С. Модель информационно-телекоммуникационной сети военного назначения, интегрированной с ССОП ЕСЭ РФ, как объекта контроля защищенности от технической компьютерной разведки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 810–814.

6. Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С., Слюсарь В. А. Формирование системы сетевого контроля при взаимодействии инфотелекоммуникационной сети специального назначения с сетями связи общего пользования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 820–824.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33

**СЛУЖБА ГАРАНТИРОВАННОГО ДОВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
ЗАЩИЩЕННОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В ИНТЕРЕСАХ
ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**А. И. Анিকেев¹, Р. В. Гордийчук², А. Н. Григорчук¹, А. К. Сагдеев²,
А. В. Семин¹**

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Составной частью инфотелекоммуникационной сети специального назначения является мультисервисная сеть передачи данных, обеспечивающая предоставление абонентам органов военного управления услуги доведения данных. В статье рассматривается такой элемент защищенной мультисервисной сети передачи данных как, служба гарантированного доведения информации и ее возможности.

ИТКС СН, мультисервисная сеть, передача данных, служба гарантированного доведения информации

Служба гарантированного доведения информации (ГДИ) защищенной мультисервисной сети передачи данных (ЗМС ПД) обеспечивает предоставление абонентам следующих услуг доведения информации (заданного объема и контролем доведения):

- индикация статуса абонента получателя (доступен, недоступен);
- доведение адресных сообщений до заданного абонента;
- доведение многоадресных сообщений до группы абонентов;
- досылка недостающего фрагмента сообщения после сбоя передачи;
- контроль достоверности сообщений абонентом отправителем;
- контроль достоверности сообщений абонентом получателем;
- трансляция отправителю результатов функционального контроля (средствами автоматизированной системы военного назначения (АС ВН)) полученного сообщения;
- прогнозирование времени доведения сообщения;
- предупреждение отправителя об отклонении от ожидаемого времени доведения сообщения [1].

Под сообщением понимается набор данных объемом от 1 Килобайта до 5 Гигабайт. Сообщение службы имеет специальные атрибуты и связанные с ними свойства.

Служба ГДИ предназначена для обработки указанных сообщений и обеспечивает ВВХ в соответствии с атрибутами, установленными абонентом.

Доведение сообщений осуществляется с обеспечением требуемых показателей своевременности (ВВХ), достоверности и безопасности информации в адресном пространстве службы.

Служба ГДИ базируется на использовании услуг доведения информации, предоставляемых сетевой службой ЗМС ПД [2–3].

Основными функциями, реализуемыми службой ГДИ ЗМС ПД, обеспечивающими предоставление услуг, являются:

- доведение информационных сообщений службы по основному и резервным маршрутам (одному или более) для обеспечения требуемых ВВХ и характеристик достоверности;

- сегментация сообщений большого объема и параллельное доведение отдельных сегментов сообщения с использованием двух и более маршрутов службы;

- доведение информационных сообщений с учетом меток конфиденциальности (отражающих уровень секретности информации) и срочности (отражающих приоритет передачи сообщения);

- антивирусный контроль передаваемой информации с использованием сертифицированных средств антивирусной защиты;

- контроль целостности сообщений абонентом-отправителем на основе информационной обратной связи. Принятое сообщение доводится отправителю (по независимому маршруту) для верификации (посимвольного сравнения с ранее переданным сообщением);

- прогнозирование времени доведения сообщений до указанного адресата (с учетом состояния готовности и степени загрузки ресурсов связи).

Абонентами ЗМС ПД и ГДИ являются ДЛ и приложения (функционирующие в составе АС ВН), участвующие в информационном обмене. Абоненты ЗМС ПД классифицируются по следующим признакам:

- по составу услуг передачи данных: выделяются абоненты сетевой службы (только для приложений АС ВН) и абоненты ГДИ;

- по типу прикладного интерфейса доступа: абоненты, использующие интерфейс оператора, абоненты, использующие программный интерфейс приложений АС ВН;

- по степени секретности передаваемой в АС ВН информации: абоненты, обрабатывающие негрифованную информацию, абоненты, обрабатывающие грифованную информацию [4].

Абонентские средства, обеспечивающие предоставление доступ к услугам ЗМС ПД из состава АС ВН, могут включать:

– комплексы технических средств, подключаемые к ЗМС ПД (в открытом или закрытом сегменте) по протоколам Ethernet 100/1000 с установленным программным обеспечением обмена данными в сетях по протоколу IPv4;

– комплексы технических средств, подключаемые к ЗМС ПД в закрытом сегменте по интерфейсу Ethernet 100/1000 с установленным программным обеспечением обмена данными в сетях по протоколу IPv4, а также программным обеспечением доступа к услугам службы ГДИ [5].

В зависимости от требований технической готовности и ВВХ подключение АС ВН к ЗМС ПД может осуществляться с использованием:

- одного физического интерфейса;
- двух (основного и резервного) физических интерфейсов.

В составе средств обеспечения эксплуатации ЗМС ПД может, при необходимости, устанавливаться программное обеспечение для доступа к услугам ГДИ в режиме работы ДЛ-оператора.

Список используемых источников

1. Гордийчук Р. В., Ракоед А. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н. Анализ влияния современных и перспективных технологий построения сетей связи на ИТКС ВН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

2. Штеренберг И. Г., Штеренберг С. И., Сагдеев А. К., Виноградова О. М. Разработка блока обнаружения и коррекции ошибок для устройства диагностирования каналов передачи цифровой информации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 15–24.

3. Багрецов С. А., Лаута О. С., Михаил И. И. Сагдеев А. К. Методика рационального выбора состава резервных каналов связи в интересах повышения устойчивости информационно-телекоммуникационной сети с учетом результатов воздействия противника // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2021. № 1. С. 126–135.

3. Васильев Д. Н., Гордийчук Р. В., Сагдеев А. К., Слюсарь В. А. Модель интегрированной информационно-телекоммуникационной системы военного назначения как объекта контроля // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 442–445.

4. Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С., Слюсарь В. А. Формирование системы сетевого контроля при взаимодействии инфотелекоммуникационной сети специального назначения с сетями связи общего пользования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 820–824.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33

**СЕТЕВАЯ СЛУЖБА ЗАКРЫТОГО СЕГМЕНТА ЗАЩИЩЕННОЙ
МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ,
ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В ИНТЕРЕСАХ
ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**А. И. Аникеев¹, А. Н. Григорчук¹, С. Л. Добровольский²,
В. А. Зизевский¹, А. К. Сагдеев²**

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Составной частью инфотелекоммуникационной сети специального назначения является мультисервисная сеть передачи данных, обеспечивающая предоставление абонентам органов военного управления услуги доведения данных. В статье рассматривается топология образования виртуальных каналов, особенности маршрутизации в закрытом сегменте защищенной мультисервисной сети передачи данных.

ИТКС СН, мультисервисная сеть, передача данных, маршрутизация

Аппаратура, обеспечивающая функционирование защищенных мультисервисных сетей (ЗМС), должна обеспечивать шифрование и имитозащиту сетевых пакетов, включая служебную информацию заголовка IP, в том числе IP-адреса в пространстве адресов сетевой службы закрытого сегмента защищенной мультисервисной сети передачи данных (ЗС ЗМС ПД) [1]. Соответственно, для передачи зашифрованного IP-пакета по адресу назначения, к данному (зашифрованному) пакету надстраивается новый (внешний) служебный заголовок, содержащий адреса встречной аппаратуры (в пространстве адресов сетевой службы ЗС ЗМС ПД), обеспечивающий расшифрование исходного пакета и доведения его до получателя в закрытом сегменте ЗМС ПД. Указанный механизм последовательной обработки пакета в аппаратуре отправителя, сетевой службе открытого сегмента защищенной мультисервисной сети передачи данных (ОС ЗМС ПД) и аппаратуре получателя, основанный на использовании согласованных адресов и других служебных параметров, включая параметры, определяющие ключи для шифрования и расшифрования, называется виртуальным каналом. Соответственно, основной характеристикой сетевой службы ЗС ЗМС ПД является топология виртуальных каналов.

С учетом резервирования направлений связи общие принципы определения топологии виртуальных каналов ЗМС ПД включают следующее:

– между всеми узлами ЗМС ПД уровня коммутации (УК) обеспечивается полная связность по всем типам аппаратуры (между каждой парой однотипных ШАС, относящихся к разным узлам ЗМС ПД уровня коммутации, должен быть определен виртуальный канал);

– каждый узел ЗМС ПД уровня агрегации (УА) связывается двумя виртуальными каналами (по каждому типу аппаратуры) с двумя узлами ЗМС ПД УК. При этом один узел УК является основным для данного узла уровня УА, а другой – резервным;

– каждый узел ЗМС ПД уровня доступа (УД) связывается виртуальным каналом (по каждому типу аппаратуры данного узла) с двумя различными узлами ЗМС ПД УА. При этом один узел УА считается основным для узла УД, а другой резервным. Резервный узел УА подключен по основному виртуальному каналу к тому же узлу УК, что и основной узел УА по основному виртуальному каналу. Все узлы УД одного основного узла УА должны быть подключены к одному и тому же резервному узлу УА. В отдельных случаях допускается подключение по виртуальному каналу узла УД только к одному узлу;

– узел УД ЗМС ПД допускается подключать непосредственно к узлу УК по правилам подключения, определенным для узлов УА;

– между узлами УА, подключенными по основному виртуальному каналу к одному и тому же узлу УК, допускается обеспечивать полную связность по всей однотипной аппаратуре. Соответствующие виртуальные каналы позволяют сократить количество узлов перешифрования на транзите при взаимодействии абонентов узлов УА и/или подключенных к ним узлов УД (если такое взаимодействие необходимо), а также обеспечить при некоторых типах отказов [2–3].

Без учета использования на каждом объекте двух и более типов специальной аппаратуры, а также реализованного в комплексе средств инфокоммуникаций (КСИК) ЗМС ПД способа подключения к специальной аппаратуре, пример формирования фрагмента частной топологии виртуальных каналов для одного типа аппаратуры приведен на рисунке 1.

Одним из требований схемы маршрутизации в ЗС ЗМС ПД, продиктованным необходимостью снижения сложности эксплуатации ЗМС ПД, является минимизация числа элементов сети, выполняющих обработку маршрутной информации. Для обеспечения возможности гибкого управления маршрутизацией в сетевой службе ЗС ЗМС ПД основные точки маршрутизации должны находиться в аппаратно-программном комплексе маршрутизатора доступа (АПК МД).

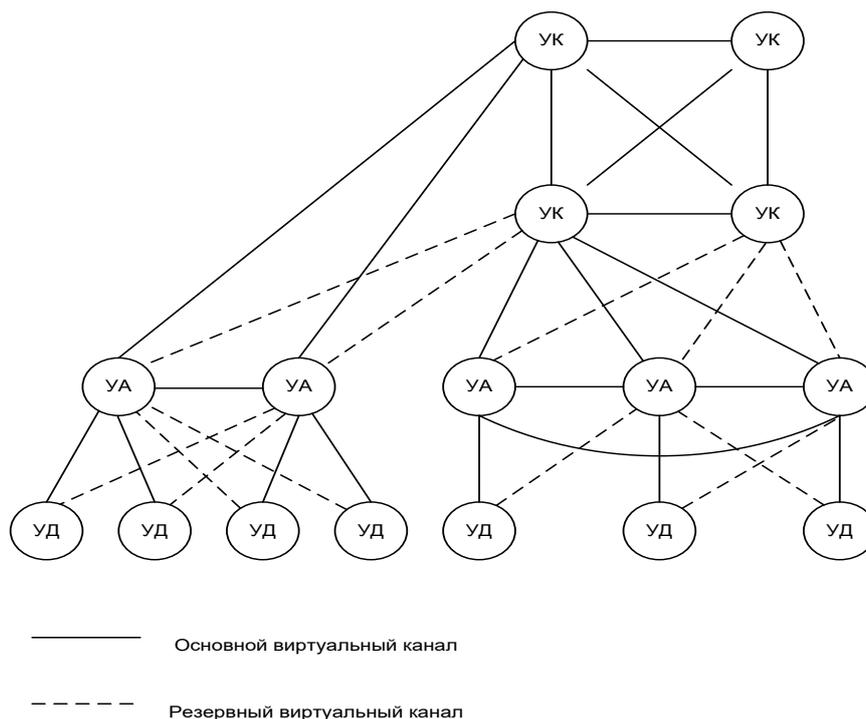


Рис. 1. Пример построения топологии виртуальных каналов ЗМС ПД

Схема маршрутизации может быть реализована на основе стандартных GRE-тоннелей, однако, в связи с тем, что в ЗМС ПД реализуются механизмы параллельной доставки по основному и резервным маршрутам, в целях обеспечения прозрачности и совместимости с абонентским оборудованием вместо стандартных GRE-тоннелей используются MRE-тоннели [4].

В отличие от GRE-туннеля, MRE-туннель может использовать несколько (два и более) альтернативных маршрутов между точками начала и окончания туннеля и обеспечивает повышение вероятности доставки пакетов по туннелю [5].

Создаваемые туннели полностью повторяют топологию виртуальных каналов, при этом количество таких туннелей не зависит от количества специальной аппаратуры на объектах. Как и в случае с виртуальными каналами создаются как основные, так и резервные туннели.

Между АПК МД любых двух взаимодействующих узлов сетевой службы ЗС ЗМС ПД создается только один MRE-туннель [6].

С учетом резервирования АПК МД на взаимодействующих узлах в каждом АПК МД (основном и резервном) создаются два туннеля: один с основным взаимодействующим АПК МД, другой с резервным взаимодействующим АПК МД внешнего объекта ЗМС ПД. Схема MRE-туннелей между узлами ЗМС ПД с резервированием АПК МД в сетевой службе ЗС ЗМС ПД приведена на рисунке 2.

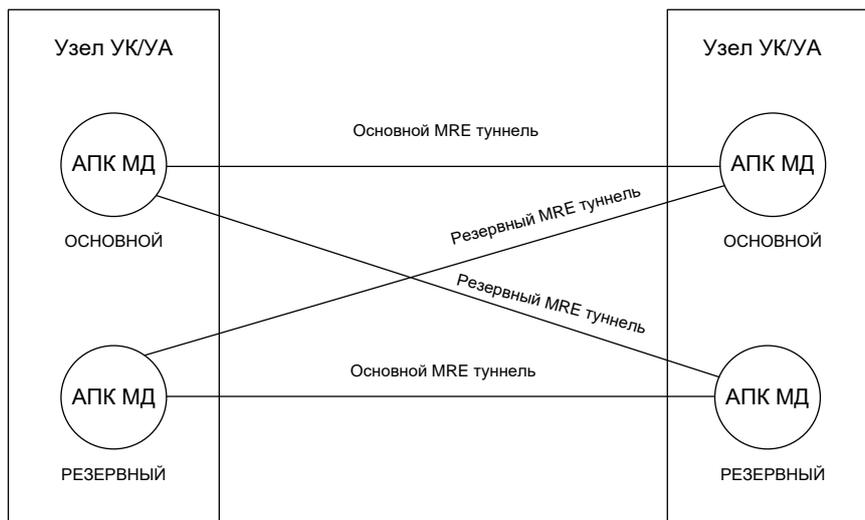


Рис. 2. Туннели между узлами ЗМС ПД с резервированием АПК МД сетевой службы ЗС ЗМС ПД

Список используемых источников

1. Гордийчук Р. В., Ракоед А. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н. Анализ влияния современных и перспективных технологий построения сетей связи на ИТКС ВН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

2. Штеренберг И. Г., Штеренберг С. И., Сагдеев А. К., Виноградова О. М. Разработка блока обнаружения и коррекции ошибок для устройства диагностирования каналов передачи цифровой информации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 15–24.

3. Багрецов С. А., Лаута О. С., Михаил И. И., Сагдеев А. К. Методика рационального выбора состава резервных каналов связи в интересах повышения устойчивости информационно-телекоммуникационной сети с учетом результатов воздействия противника // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2021. № 1. С. 126–135.

4. Васильев Д. Н., Гордийчук Р. В., Сагдеев А. К., Слюсарь В. А. Модель интегрированной информационно-телекоммуникационной системы военного назначения как объекта контроля // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. , XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 442–445.

5. Куранда А. И., Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С. Модель информационно-телекоммуникационной сети военного назначения, интегрированной с ССОП ЕСЭ РФ, как объекта контроля защищенности от технической компьютерной разведки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 810–814.

6. Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С., Слюсарь В. А. Формирование системы сетевого контроля при взаимодействии инфотелекоммуникационной сети специального назначения с сетями связи общего пользования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 820–824.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33

УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ НА ТРАНСПОРТНОМ УРОВНЕ ЗАЩИЩЕННОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В ИНТЕРЕСАХ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. И. Аникеев¹, А. Н. Григорчук¹, С. Л. Добровольский²,
В. А. Зизевский¹, А. К. Сагдеев²

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Составной частью инфотелекоммуникационной сети специального назначения является мультисервисная сеть передачи данных, обеспечивающая предоставление абонентам органов военного управления услуги доведения данных. В статье рассматривается управление потоками на транспортном уровне в закрытом сегменте мультисервисной сети передачи данных.

ИТКС СН, мультисервисная сеть, передача данных, транспортный уровень

В рамках базового набора услуг сетевой службы закрытого сегмента защищенной мультисервисной сети передачи данных (ЗС ЗМС ПД) предполагается, что функции, связанные с управлением потоками информации, реализуются с использованием стандартных протоколов транспортного уровня (ТСР) в абонентских системах (АС ВН) [1]. В ряде случаев указанный протокол может обеспечивать низкую эффективность, что выражается, например, крайне низкой скоростью передачи информации, хотя реальная пропускная способность канала может быть значительной. В составе сетевой службы ЗС ЗМС ПД (в аппаратно-программном комплексе маршрутизатора доступа (АПК МД)) реализован транспортный шлюз (ТСР-Прогу), обеспечивающий повышение эффективности использования приложениями АС ВН широкополосных каналов связи с большой временной задержкой передачи пакетов (спутниковые каналы) и ошибками [23].

Схема взаимодействия приложений АС ВН с использованием данного шлюза приведена на рисунке 1. На стороне каждого из абонентов, между которыми осуществляется обмена данными, в составе АПК МД настраивается режим проксирования (посредничества) ТСР-соединений.

Для каждого входящего соединения между шлюзами ЗМС ПД одновременно открывается несколько служебных соединений обмена данных по

протоколу TCP. Входящий шлюз распределяет поступающие от абонентов данные по указанным (служебным) соединениям, а шлюз со стороны получателя выполняет обратную операцию.

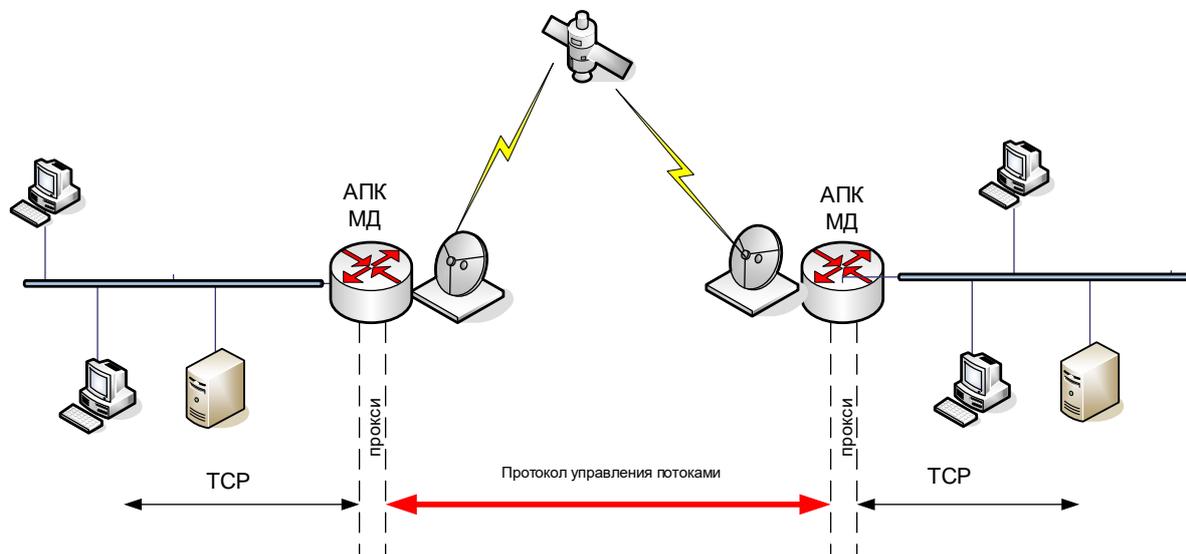


Рис. 1. Схема взаимодействия АС ВН с использованием транспортного шлюза АПК МД

Для обеспечения возможности использования транспортного шлюза между каждой парой объектов ЗМС ПД в пограничных АПК каждого из объектов настраивается множество необходимых для проксирования TCP-соединений [4].

Функционирование шлюза осуществляется прозрачно для приложений АС ВН. При этом для идентификации необходимых для проксирования TCP-соединений могут использоваться фильтры, содержащие:

- IP-подсеть отправителя;
- IP-подсеть получателя;
- диапазон TCP-портов получателя;
- значение DSCP.

Для каждого IP-адреса назначения TCP-соединения в TCP-Проху узла ЗМС ПД определяется IP-адрес TCP-Проху взаимодействующего с ним узла ЗМС ПД в рамках сетевой службы ЗС ЗМС ПД.

IP-адреса начала и окончания туннелей выбираются из пространства создаваемых в АПК МД loopback-интерфейсов, чтобы обеспечить независимость от используемой аппаратуры.

Для корректного функционирования туннелей необходимо обеспечить наличие в аппаратуре статических маршрутов в соответствующие IP-адреса узлов, окончания туннелей. При этом:

– все маршруты в пространство IP-адресов сетевой службы ЗС ЗМС ПД на всех АПК МД всех узлов ЗМС ПД задаются только с использованием MRE-туннелей;

– все маршруты задаются статически. Могут задаваться основные и резервные маршруты. Для резервных маршрутов должен устанавливаться меньший приоритет использования;

– задаваемые маршруты могут иметь множество альтернативных следующих (на маршруте) адресов (nexthop), проходящих через различные типы аппаратуры.

Для всех задаваемых маршрутов может быть задействован механизм контроля активности (IP-SLA), однако так как контроль активности осуществляется для каждого туннеля, то контроль активности маршрутов следует применять только для точек «за окончанием туннеля» [5-6]. Конфигурация маршрутов на множестве MRE-туннелей осуществляется следующим образом.

1. В каждом узле коммутации (УК) задаются:

– маршруты в IP-подсети других узлов УК ЗМС ПД через туннели между ними;

– резервные маршруты к IP-подсети узла $УК_N$, через туннель с узлом $УК_M$, выбранным резервным для маршрутизации.

2. В каждом узле агрегации (УА) задаются:

– default-маршрут через туннель с основным узлом УК, к которому он подключен;

– резервный default-маршрут через туннель с резервным узлом УК, к которому он подключен;

– маршруты к IP-подсетям других узлов УА (подключенных к этому же узлу УК) через туннели между ними;

– маршруты к IP-подсетям узлов доступа (УД), подключенных к данному узлу УА через туннели между ними;

– резервные маршруты к IP-подсетям узлов УД, через резервные для узлов УД туннели.

3. В каждом узле УД задаются:

– default-маршрут через туннель с основным узлом УА, к которому он подключен;

– резервный default-маршрут через туннель с резервным узлом УА, к которому он подключен.

Пример задания маршрутов, конфигурируемых в различных АПК МД для сетевой службы ЗС ЗМС ПД, приведен на рисунке 2.

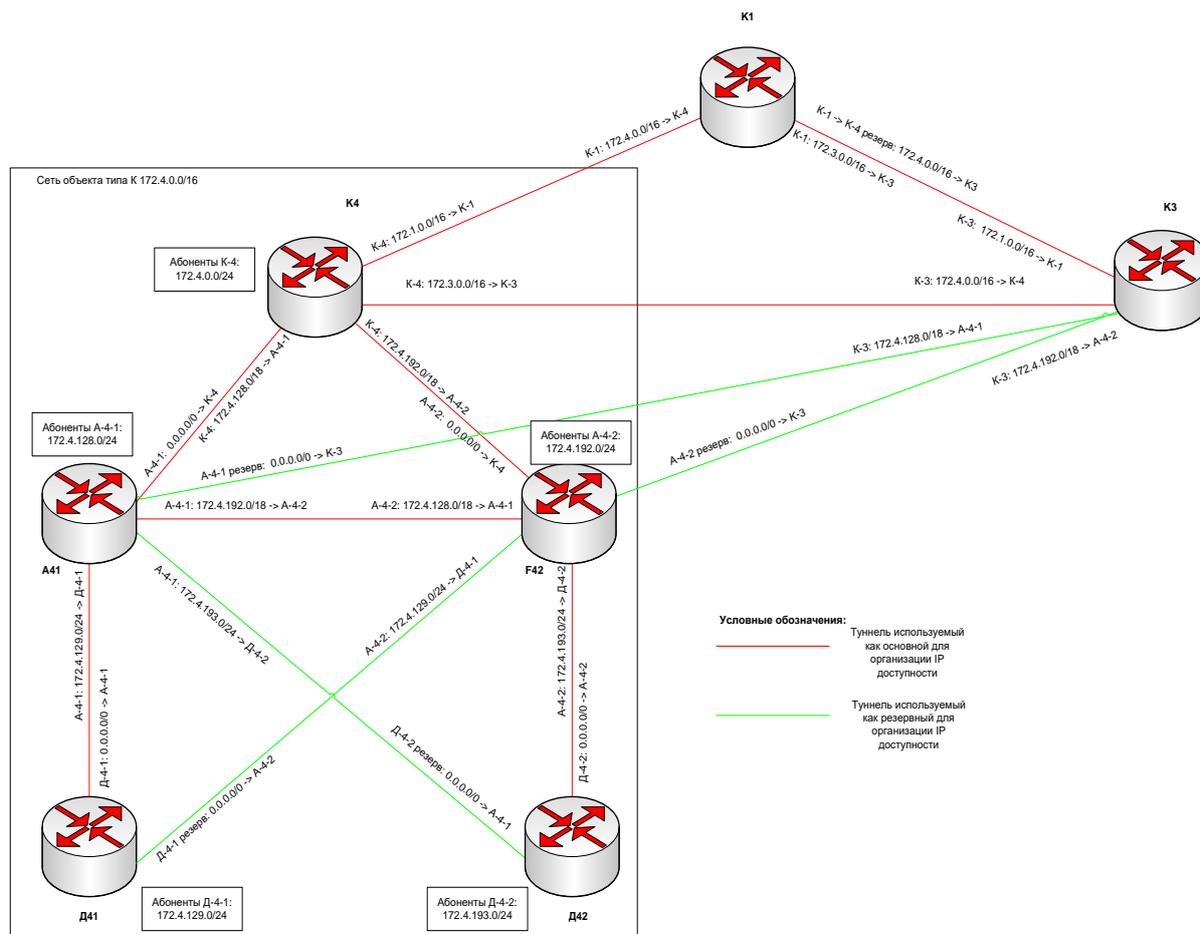


Рис. 2. Примеры конфигурации маршрутов для АПК МД объектов разного уровня

Список используемых источников

1. Гордийчук Р. В., Ракоед А. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н. Анализ влияния современных и перспективных технологий построения сетей связи на ИТКС ВН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

2. Штеренберг И. Г., Штеренберг С. И., Сагдеев А. К., Виноградова О. М. Разработка блока обнаружения и коррекции ошибок для устройства диагностирования каналов передачи цифровой информации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 1. С. 15–24.

3. Багрецов С. А., Лаута О. С., Михаил И. И. Сагдеев А. К. Методика рационального выбора состава резервных каналов связи в интересах повышения устойчивости информационно-телекоммуникационной сети с учетом результатов воздействия противника // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2021. № 1. С. 126–135.

4. Васильев Д. Н., Гордийчук Р. В., Сагдеев А. К., Слюсарь В. А. Модель интегрированной информационно-телекоммуникационной системы военного назначения как

объекта контроля // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. , XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 442–445.

5. Куранда А. И., Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С. Модель информационно-телекоммуникационной сети военного назначения, интегрированной с ССОП ЕСЭ РФ, как объекта контроля защищенности от технической компьютерной разведки // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 810–814.

6. Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С., Слюсарь В. А. Формирование системы сетевого контроля при взаимодействии инфотелекоммуникационной сети специального назначения с сетями связи общего пользования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 820–824.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАЩИЩЕННОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В ИНТЕРЕСАХ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. И. Анিকেев¹, А. Н. Григорчук¹, А. Н. Дробяскин², А. К. Сагдеев²,
А. В. Семин¹

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Составной частью инфотелекоммуникационной сети специального назначения является мультисервисная сеть передачи данных, обеспечивающая предоставление абонентам органов военного управления услуги доведения данных. В статье рассматриваются такие характеристики защищенной мультисервисной сети передачи данных как, задачи, перечень телекоммуникационных услуг и функций сетевой службы.

ИТКС СН, мультисервисная сеть, передача данных

Защищенная мультисервисная сеть передачи данных (ЗМС ПД) предназначена для предоставления абонентам услуг доведения данных между органами военного управления (ОВУ) и подразделениями ВС РФ всех уровней управления, осуществляющими сбор, обработку и передачу информации в интересах планирования и применения оружия повышенной потенциальной опасности (ОППО), в том числе высокоточного оружия (ВТО).

Абонентами (отправителями и получателями данных) ЗМС ПД являются ДЛ ОВУ и автоматизированные системы военного назначения (АС ВН).

ЗМС ПД обеспечивает предоставление абонентам услуг обмена данными с требуемыми показателями качества на основе ресурсов сетей связи и передачи данных, доступных для использования на объектах ВС РФ.

Задачами ЗМС ПД являются:

– обеспечение связности источников и потребителей информации в интересах взаимодействия потребителей услуг по принципу «каждый-с-каждым»;

– обеспечение возможности обработки информации, содержащей сведения, составляющие государственную тайну, в том числе криптографической защиты информации при передаче по открытым каналам связи;

– обеспечение вероятностно-временных характеристик и других показателей качества предоставляемых услуг для различных групп потребителей, в том числе относящихся к тракту боевого управления;

– эффективное распределение и использование ресурсов связи (каналов связи, транспортных сетей), технических средств и шифровальной аппаратуры связи (ШАС) в интересах всех потребителей услуг.

Предоставление услуг доведения информации абонентам осуществляется в открытом и закрытом сегментах ЗМС ПД. Соответственно, подключение абонентов для предоставления услуг обмена информацией, содержащей сведения, составляющие государственную тайну, осуществляется в закрытом сегменте ЗМС ПД [1].

Подключение абонентов для предоставления услуг обмена несекретной информацией, при необходимости, осуществляется в открытом сегменте ЗМС ПД.

Услугами ЗМС ПД являются:

– услуги передачи данных по протоколам стека ТСР/ІР с обеспечением качества обслуживания, повышение вероятности доведения ІР-пакетов за счет использования многомаршрутной передачи, избыточности на сетевом уровне, оптимизации передачи данных в зависимости от характеристик ресурсов связи;

– услуги гарантированного доведения информации (в виде сообщений) с обеспечением заданных ВВХ и требований по вероятности необнаруженной трансформации.

ЗМС ПД предоставляет АС ВН услуги гарантированного доведения боевой информации (в виде сообщений) объемом от 1 кбайт до 5 Гбайт, с обеспечением заданных ВВХ и требований по вероятности необнаруженной трансформации. При этом обеспечиваются (в соответствии с категорией срочности):

– передача информации;

– предоставление прогноза времени доведения;

– контроль прохождения информации;

– предоставление информации о доступности ресурсов для передачи сообщений и готовности получателей.

Предоставление абонентам телекоммуникационных услуг осуществляется в рамках реализации в составе ЗМС ПД:

– сетевой службы (в открытом и закрытом сегменте);

– службы гарантированного доведения информации (ГДИ) – только в закрытом сегменте.

Сетевая служба базируется на использовании ведомственных и арендованных ресурсов связи, доступных на объектах ЗМС ПД.

Служба ГДИ базируется на использовании телекоммуникационных услуг обмена данными по протоколу IP, предоставляемых сетевой службой ЗМС ПД [2].

Сетевая служба ЗМС ПД обеспечивает предоставление услуги доведения (передачи) данных (дейтаграмм) по протоколу IPv4 в едином адресном пространстве с учетом требований политики безопасности:

- между абонентами (АС ВН) в пределах объекта;
- между абонентами (АС ВН) на разных (стационарных и подвижных) объектах.

Основными функциями, реализуемыми сетевой службой ЗМС ПД, являются:

- подключение АС ВН к узлам ЗМС ПД;
- криптографическая защита трафика при передаче по открытым каналам связи;
- буферизация сетевого трафика в оконечных и промежуточных узлах ЗМС ПД;
- индикация класса приоритетности абонентского трафика;
- диспетчеризация очередей трафика в сетевых устройствах с учетом класса обслуживания;
- статическая и динамическая маршрутизация сетевого трафика абонентов;
- параллельная передача трафика по основному и резервному (резервным) направлениям;
- контроль пакетных ошибок на основе решающей обратной связи;
- многопоточная передача данных на транспортном уровне;
- исправление пакетных ошибок с использованием циклического кода;
- структурно-функциональное резервирование элементов службы;
- балансировка телекоммуникационной нагрузки на ресурсах связи;
- межсетевое экранирование на сетевом и транспортном уровнях.

В процессе приема от отправителя и доведения до получателя IP-пакетов осуществляются [3]:

1. Идентификация IP-пакетов на принадлежность к заданным классам трафика.

2. Доставка IP-пакета:

- в уникальный адрес при существовании в сети хотя бы одного маршрута доведения пакетов;
- с учетом требований АС ВН к ВВХ соответствующего класса приоритетности трафика;
- с учетом прав доступа на основе адресной и другой служебной информации заголовка IP-пакета;
- с учетом метки конфиденциальности IP (BSO), отражающей степень секретности информации, содержащейся в IP-пакете.

Нотификация (при возможности) абоненту (в виде сообщений протокола ICMP) об ошибках, возникших в процессе доставки IP-пакета.

Список используемых источников

1. Гордийчук Р. В., Ракоед А. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н. Анализ влияния современных и перспективных технологий построения сетей связи на ИТКС ВН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

2. Васильев Д. Н., Гордийчук Р. В., Сагдеев А. К., Слюсарь В. А. Модель интегрированной информационно-телекоммуникационной системы военного назначения как объекта контроля // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 442–445.

3. Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С., Слюсарь В. А. Формирование системы сетевого контроля при взаимодействии инфотелекоммуникационной сети специального назначения с сетями связи общего пользования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 820–824.

УДК 004.492.2
ГРНТИ 81.93.29

РАЗРАБОТКА ВЕБ-САЙТА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО СУБД POSTGRESQL, ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ SQLI

Д. Л. Беляев, Д. Р. Филиппов

Академия Федеральной Службы Охраны России, г. Орел

Статья посвящена проблеме создания веб-сайта на базе данных PostgreSQL для обучения способам защиты от SQL-инъекций. В статье приведены практические рекомендации по созданию ресурса, протестированы обращения к базе данных, имитирующие SQL-инъекции, описаны методы защиты от них.

СУБД PostgreSQL, SQL-инъекции, веб-сайт, защита от инъекций

В настоящее время СУБД PostgreSQL получает все более широкое распространение благодаря включению ее в дистрибутив российской операционной системы Astra Linux и использованием ее в составе информационных ресурсов. Процесс создания информационных ресурсов, устойчивых к проведению компьютерных атак, таких как SQL-инъекции и межсайтовое выполнение сценариев XSS, предполагает изучение уязвимых мест на основе специального web-приложения [1].

Однако все известные площадки для исследования уязвимостей web-сайтов функционируют на основе СУБД MySQL или MariaDB. Актуальность разработки веб-сайта, использующего PostgreSQL, для изучения атак типа SQL-инъекции на веб-ресурсы и методов их предотвращения обусловлена отсутствием в настоящее время подобных web-приложений, которые помогли бы специалистам по информационной безопасности лучше понимать и предотвращать различные типы атак. Для того, чтобы повысить безопасность разрабатываемых продуктов на основе БД PostgreSQL, необходимо наличие специальной среды для тестирования методов защиты от SQL-инъекции.

Большинство веб-приложений строятся на основе трех основных компонентов (рис. 1): клиентской части, серверной части и базы данных. Клиентская часть отвечает за взаимодействие с пользователем, отображение интерфейса и обработку пользовательского ввода. Серверная часть обрабатывает запросы от клиента и управляет базой данных. База данных хранит все данные, необходимые для работы приложения.

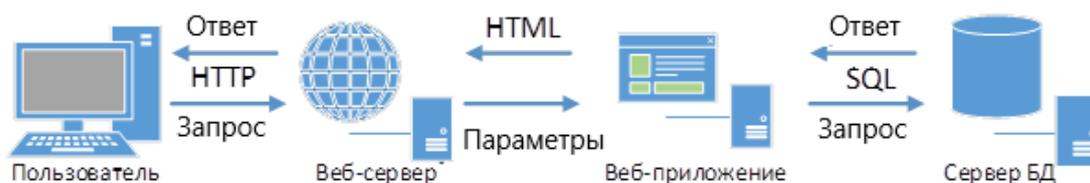


Рис. 1. Взаимодействие пользователя с веб-ресурсом

Существует множество способов настройки веб-приложения, но все они в конечном итоге сводятся к этим трем основным компонентам. Различные способы настройки могут включать использование различных технологий, языков программирования, фреймворков и архитектурных подходов, но все они должны обеспечивать взаимодействие между клиентом, сервером и базой данных.

Любой веб-ресурс подразделяется на две части – одна часть отвечает за внешний вид ресурса, его стилистику, дизайн, расположение элементов, в то время как другая часть обрабатывает запросы пользователя, строит взаимодействие с базой данных.

Внешняя часть – макет, содержимое определяется с помощью языка разметки HTML, с его помощью прописывается физическая структура документа. Так же необходимо упомянуть про CSS – это язык, который позволяет описать стиль элементов, определенных в HTML, позволяя изменять шрифт, цвет, макет, простые анимации и другие поверхностные элементы. Чтобы реализовать взаимодействие пользователя, используется JavaScript, чтобы, например, реализовать действие по нажатию кнопки пользователем.

Серверная часть – прослушивает запросы от пользователя, обращает к базе данных. В настоящем веб-ресурсе для реализации таких функций используется язык программирования Python, в частности фреймворк Flask, использовались следующие библиотеки.

Каждое HTTP-сообщение несет в себе информацию, из которой наибольший интерес представляет HTTP-запрос к серверу. Методы сообщают серверу, что нужно сделать с запрашиваемым ресурсом. Так, например, метод “GET” – указывает, что пользователь хочет получить с сервера, а метод “POST” соответственно, что записать на сервер. Метод, который позволяет получить данные с сервера, является уязвимым к SQL-инъекциям. Злоумышленник вводит специальный запрос в форму, или ссылку, параметры которых передаются методом “GET”, таким образом обращаясь к серверу базы данных и получая информацию, к которой у него нет доступа.

В разрабатываемом веб-сайте такая атака реализована следующим образом: функция `auth()` обрабатывает запросы на страницу аутентификации. Если метод запроса является GET, то функция получает имя пользователя и пароль из формы, вычисляет хеш-сумму от комбинации имени пользователя и пароля, и выполняет запрос к базе данных для проверки соответствия имени пользователя и хеш-суммы. Если проверка проходит успешно, то

функция выполняет запрос к базе данных для получения информации о пользователе, создает объект `UserLogin` на основе полученной информации, выполняет вход пользователя в систему и перенаправляет его на страницу магазина. Если проверка не проходит, то функция перенаправляет пользователя на главную страницу.

```
@app.route('/auth', methods=('GET', 'POST'))
def auth():
    if request.method == 'GET':
        login = request.form['email']
        passwd = request.form['password']
        pg_passwd = password + login
        md5_hash = hashlib.md5()
        encoded = bytes(pg_passwd, encoding='utf-8')
        md5_hash.update(encoded)
        full_hash = 'md5' + md5_hash.hexdigest()
        conn1 = get_db_connection()
        cur1 = conn1.cursor()
        cur1.execute("SELECT EXISTS (SELECT * FROM pg_shadow WHERE username = '" + login
+ "' AND passwd = '" + full_hash + "');")
        result = cur1.fetchone()
        flash(result)
        print(result)
        if result[0] == True:
            cur1.execute("SELECT * FROM pg_shadow WHERE username = '" + login + "';")
            user = cur1.fetchone()
            cur1.close()
            conn1.close()
            user_login = UserLogin().create(user)
            login_user(user_login)
            return redirect(url_for("shop"))
        else:
            cur1.close()
            conn1.close()
            return redirect(url_for("index"))
        cur1.close()
        conn1.close()
    return render_template('index.html')
```

Приведенный выше код является уязвим к SQL-инъекциям, ввиду открытого запроса к базе данных:

```
("SELECT EXISTS (SELECT * FROM pg_shadow WHERE username = '" + login + "' AND passwd = '" + full_hash + "');")
```

Из-за того, что используются не параметризованные запросы, то есть переменные `login` и `passwd` открыты и записываются сразу из поля ввода пользователя, хакер может провести SQL-инъекцию. В настоящее время

SQL-инъекция – одна из самых серьезных угроз кибербезопасности. По данным международного сообщества Common Weakness Enumeration (CWE), в списке распространенных типов уязвимостей Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses за 2023 год [2] атака типа SQL-инъекции заняла третье место, поднявшись с 6 места в 2022 году.

В итоге при запуске веб-ресурса страница для входа выглядит следующим образом (рис. 2):

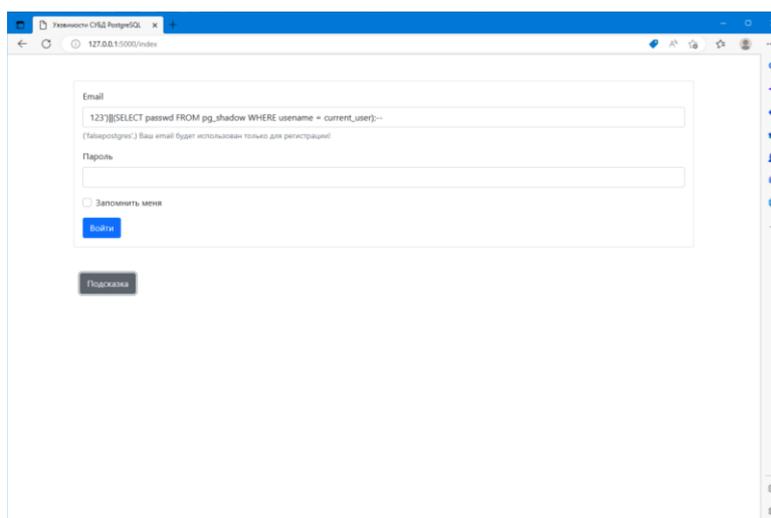


Рис. 2. Выполнение SQL-инъекции

Ввиду уязвимости сайта, указанной выше, на этапе входа пользователя уже можно использовать SQL-инъекцию для получения данных для авторизации. Вводом запроса к БД, вместо электронной почты пользователя в поле “Email”:

```
123') || (SELECT passwd FROM pg_shadow WHERE username = current_user);--
```

В ходе использования инъекции хакер получает хэш пароля и логина суперпользователя – md53175bce1d3201d16594cebf9d7eb3f9d (рис. 3).

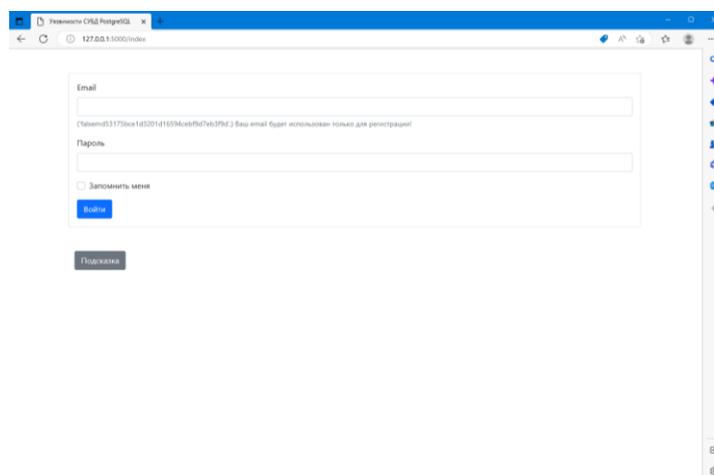


Рис. 3. Результат выполнения

Для получения пароля одним из вариантов является использование ОС Kali Linux, а именно утилита hashcat, используя которую методом подбора (рис. 4):

```
(kali@kali)-[~]
└─$ hashcat -m 0 -a 0 Desktop/password_for_db.txt Desktop/rockyou.txt --show
80a19f669b02edfbc208a5386ab5036b:passwordadmin
```

Рис. 4. Результат использования утилиты

После использования полученных данных, а также SQL-инъекции для определения пользователя получаем, что логин – admin, пароль соответственно – password. Конечно, использованные данные в примере являются достаточно простыми для их взлома методом подбора, несмотря на то, что СУБД Postgres использует уже устаревший алгоритм хеширования md5 в совокупности с “солью” – логин пользователя вскрыть данный хэш крайне проблематично, скорее почти невозможно, не только методом подбора по словарю, но и другими способами, доступными в утилите hashcat.

Используя полученные ранее данные о пользователе, хакер авторизуется на сайте (рис. 5):

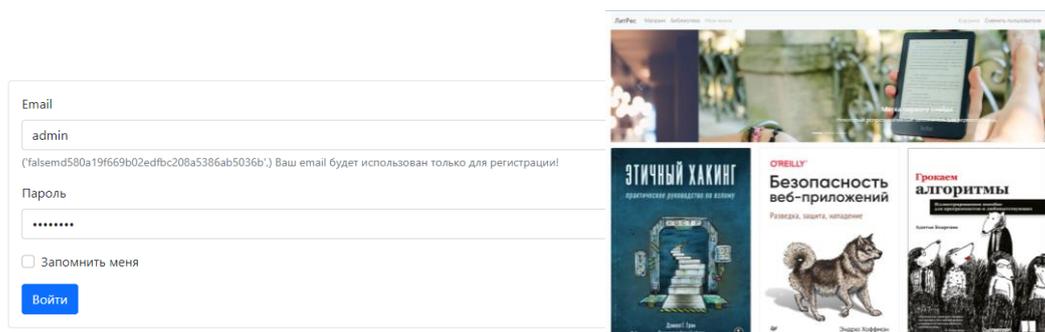


Рисунок 5. Авторизация и главное окно сайта

Таким образом, используя демонстрационный веб-ресурс, было продемонстрировано использование SQL-инъекции. Конечно, указанную атаку можно предотвратить, используя лишь параметризованные запросы к базе данных, это позволяет библиотеке работы с базой данных обрабатывать значения параметров правильным образом и защищаться от SQL-инъекций.

Список используемых источников

1. Список наиболее опасных программных ошибок (The 2023 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses). Режим доступа. URL: The 2023 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses (https://cwe.mitre.org/top25/archive/2023/2023_top25_list.html) (дата обращения: 22.03.2023).

2. SQL-инъекция и как ее предотвратить (kaspersky.ru). Режим доступа. URL: [SQL-инъекция и как ее предотвратить (kaspersky.ru)] (SQL-инъекция и как ее предотвратить (kaspersky.ru)) (дата обращения: 20.03.2023).

УДК 004.056.55
ГРНТИ 50.39.15, 50.41.15

УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЕЙ МНОГОУРОВНЕВЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ OPENVPN

Д. Л. Беляев, Ю. С. Шатёрных

Академия Федеральной Службы Охраны России, г. Орел

Статья посвящена вопросам обеспечения разведзащищенности инфокоммуникационной сети. Для сокрытия структуры телекоммуникационной сети предлагается маскировать информацию об участниках сетевого взаимодействия посредством создания многослойной виртуальной частной сети на основе технологии OpenVPN.

виртуальная частная сеть, разведзащищенность, криптотуннель

В современных технологиях, применяемых для защиты информационного взаимодействия, основное внимание уделяется обеспечению конфиденциальности, целостности и доступности информации и недостаточное внимание уделяется подходам, обеспечивающим сокрытие параметров информационных систем. Несмотря на достаточно развитые способы обеспечения безопасности инфокоммуникационного взаимодействия, такие как межсетевое экранирование, включая трансляцию адресов по протоколу NAT, создание виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN) и другие, существует большое количество признаков, выявляемых как простым анализом сетевого трафика, так и мониторингом статистических характеристик пакетов в сети, обнаружения уникальных особенностей, связанных с использованием VPN. Например, в традиционных VPN на основе протоколов IPsec данные сетевого уровня, включая служебные поля IP, TCP/UDP, полезную нагрузку, инкапсулируются в новые зашифрованные пакеты, содержащие коды имитозащиты, обеспечивающие конфиденциальность, целостность и подлинность данных [1]. Однако, чтобы обеспечить правильную маршрутизацию пакетов, формируются новые заголовки, которые могут быть подвергнуты анализу злоумышленником.

В телекоммуникационных сетях, использующих VPN, возможны:

- установление принадлежности объекта к конкретной инфокоммуникационной сети;
- идентификация головного офиса и филиалов, отдельных абонентов сети;
- определение IP-адреса машины, используемой для управления сетью или передачи ключевой информации;

– определение регламента работы, время начала и окончания массовых сеансов связи, соответствующих проведению совещаний с использованием видеоконференций.

Демаскирующими признаками являются:

1. Параметры пакетов, определенные протоколы и порты, используемые в криптомаршрутизаторах, произведенных известными коммерческими компаниями.

2. Открытые данные, передаваемые во время процедуры установления сеансов и соединений. Например, при установлении подключений по протоколам SSL/TLS из сообщений Client Hello и Server Hello может быть определен идентификатор ресурса.

3. Флаги QoS и DSCP в заголовках зашифрованных пакетов IPSec (ESP), косвенные признаки приложений, сгенерировавших или получивших данные.

4. Характеристики трафика: размер пакетов и интервалы между ними.

5. Дополнительная информация в заголовках пакетов, такая как метки времени или сетевые отпечатки. Анализ значений TTL (Time To Live) позволяет установить наличие шлюзов в сети.

Возможным вариантом решения данной проблемы является использование инкапсуляция данных 2 или 3 уровня ЭМВОС, передаваемых с использованием технологий VPN в дополнительные туннели, организуемые при помощи OpenVPN. Многослойная инкапсуляция позволяет повысить безопасность сети и улучшить показатели разведзащищенности.

Основным преимуществом многослойной частной сети является обеспечение высокого уровня приватности и безопасности, поскольку доступ к сети имеют только уполномоченные устройства или пользователи. Это позволяет защитить служебную информацию и предотвратить несанкционированный доступ. Многослойная частная сеть будет иметь несколько уровней безопасности, каждый из которых выполняет определенные функции защиты, такие как шифрование данных, аутентификация пользователей, контроль доступа и другие меры безопасности.

В настоящее время предпочтительной реализацией безопасных сетевых расширений, гибких методов аутентификации на основе сертификатов клиентов, смарт-карт и/или учетных данных имени пользователя/пароля с возможностью контролировать доступ с помощью политик межсетевых экранов, применяемых к виртуальному туннельному интерфейсу, является технология OpenVPN в операционной системе Astra Linux. Архитектура OpenVPN напоминает клиент-серверное взаимодействие в SSL VPN, но не является прокси-сервером веб-приложений и не работает через веб-браузер [2]. В OpenVPN поддерживаются стойкие симметричные шифры, по умолчанию применяется параметр grasshopper, соответствующий алго-

ритму «Кузнечик» с длиной ключа 256 бит. Этот алгоритм обеспечивает высокий уровень безопасности и является одним из самых надежных шифров для обеспечения конфиденциальности.

Задача скрытия структуры инфокоммуникационной сети решается при помощи разработки алгоритма, позволяющего переключать в случайной последовательности несколько серверов OpenVPN, через которые следует трафик, то есть позволяет создавать виртуальные частные сети с динамическими подключениями. Серверы, использующие стандартный порт OpenVPN – UDP 1194, пропускают инкапсулированный трафик, не позволяя выделить его принадлежность. Изменение соединений может производиться либо посредством предварительных настроек в конфигурационных файлах на всех узлах многослойной VPN-сети, либо посредством управляющих команд, передаваемых через защищенные соединения. Маршруты прохождения инкапсулированных пакетов представлены на рисунке 1.

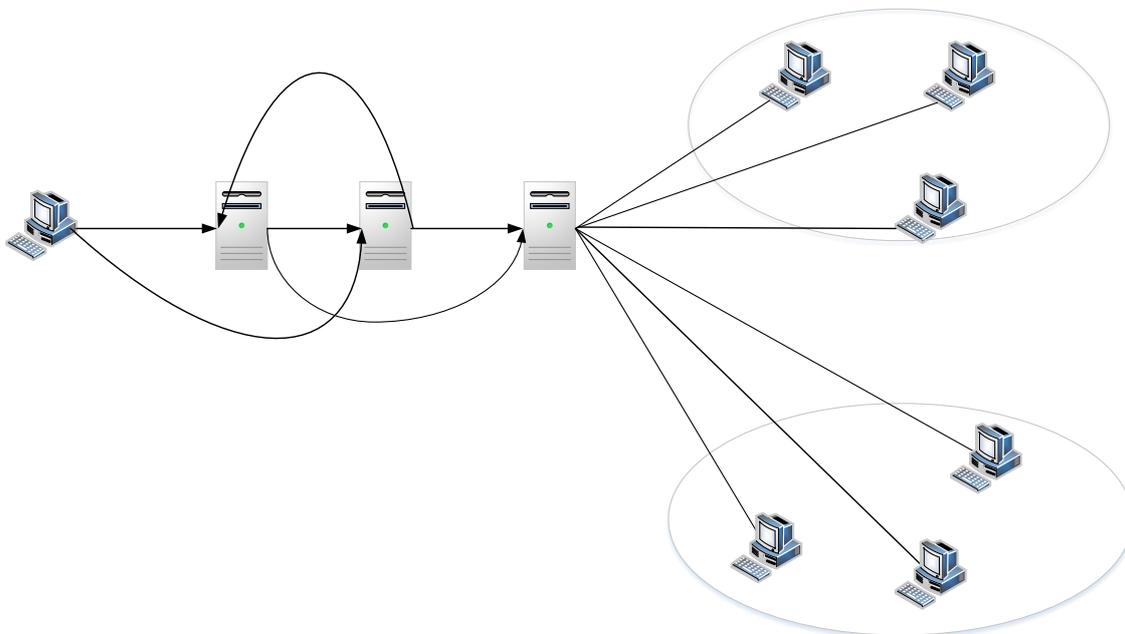


Рис. 1. Схема передачи трафика в проектируемой VPN-сети

Центральный компьютер служит узлом координатором, который передает управляющие команды на другие узлы, принимает подключения, осуществляет ретрансляцию трафика. Всю информацию об участниках взаимодействия узел координатор заносит в свою базу данных (БД), благодаря чему как рядовые узлы, так и серверы могут производить динамическую смену IP-адресов.

В состав узла-координатора будут входить:

- модуль аутентификации;
- модуль создания таблиц в БД;
- модуль взаимодействия с БД.

Способность динамически добавлять новые узлы VPN в сеть без изменения настроек на существующих узлах делает управление сетью более гибким и масштабируемым, что позволяет всем узлам легко общаться друг с другом. Создание динамических подключений OpenVPN и изменение маршрутов прохождения трафика вносит неопределенность в отношении узлов, входящих в состав системы связи, влияя на такие характеристики как время вскрытия и вероятность вскрытия за заданное время.

Использование многослойной виртуальной частной сети позволит повысить разведзащищенность инфокоммуникационной сети.

Список используемых источников

1. Беляев Д. Л., Дадаев И. И. Формирование криптотуннелей IPSec в операционных системах Astra Linux. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 423–426.

2. Фролов А. Руководство по установке и настройке OpenVPN. // Habr [сайт]. URL: <https://habr.com/en/post/233971/> (дата обращения 23 ноября 2023 г.).

УДК 621.391
ГРНТИ 49.43.29

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. В. Билан, Д. О. Федосеев, А. В. Щукин

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Рассматривается сеть передачи данных специального назначения, особенностью функционирования которой является редкий информационный обмен, сопровождающийся резким всплеском трафика. Функционирование происходит с помощью сети радиосвязи, в условиях применения противником средств радиоэлектронного подавления. В статье решается задача рациональной маршрутизации пакетов в сети передачи данных с помощью модификации широко известного алгоритма Дейкстры с учетом наложенных ограничений. При этом участки составного маршрута являются разнородными, так как имеют различные характеристики (вероятность ошибки на бит и скорость передачи информации).

сеть передачи данных, среднее время доставки пакетов, маршрутизация пакетов, алгоритм Дейкстры

Концептуальными документами Минобороны России определены основные направления развития единой системы связи как технической основы системы управления войсками на период до 2030 года, предусматривающие создание технической основы перехода на многоуровневый сетцентрический принцип управления в наземном, воздушном, морском и космическом эшелонах.

В связи с этим главным направлением информационно-технического взаимодействия комплексов средств автоматизации, установленных на узлах связи и подвижных объектах различных эшелонов, является создание единой сети передачи данных как части информационно-телекоммуникационной системы управления Вооруженных Сил Российской Федерации за счет перехода к новым, более совершенным формам их построения и развития на основе применения современных инфокоммуникационных технологий (рисунок 1).

На подвижные объекты различных эшелонов в настоящий момент устанавливается аппаратура передачи данных нового поколения, которая способна передавать информацию в режиме пакетной коммутации по составным маршрутам доведения. Поэтому для действующих образцов комплексов средств автоматизации существует техническая возможность

осуществления реконфигурации информационной сети радиосвязи с использованием метода пакетной коммутации по составным маршрутам в случае деградации штатной структуры сети.



Рис. 1. Схема информационно-технического взаимодействия комплексов средств автоматизации подвижных объектах различных эшелонов

В общем случае в сетях передачи данных (ПД) обмен информацией производится с помощью пакетов. Для продвижения пакетов по каналам связи (КС) сети используются протоколы маршрутизации, указанные на рисунке 2.

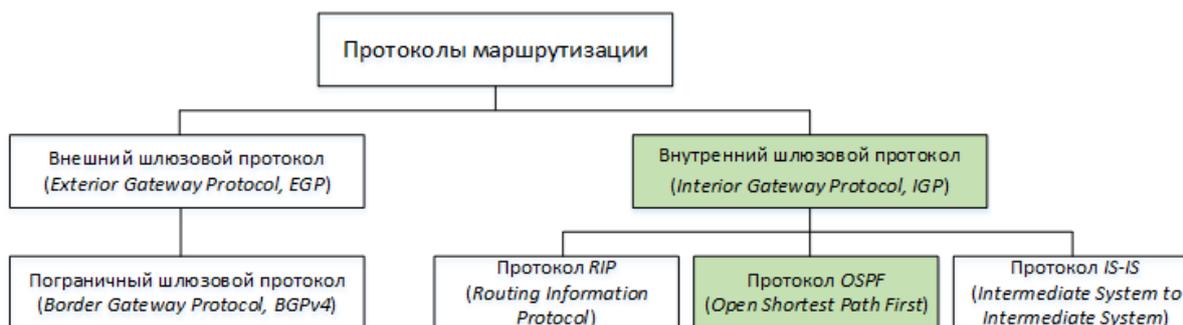


Рис. 2. Классификация протоколов маршрутизации

Для решения задачи уменьшения среднего времени доставки пакета по сети рассматривается протокол динамической маршрутизации, основанный на технологии отслеживания состояния канала (протокол *OSPF*). В основе работы данного протокола лежит алгоритм Дейкстры, который находит кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных. Данный алгоритм является одним из основных и широко применяемых алгоритмов для решения задач на графах, включая поиск кратчайшего пути во многих

приложениях, таких как маршрутизация сетевых пакетов, планирование маршрутов в транспортных системах, оптимизация процессов и т.д. Однако в классическом виде он имеет ряд недостатков, таких как:

1. Сложность работы с большими графами.
2. Невозможность обработки ребер с отрицательным весом.
3. Неоднозначность пути с равными весами ребер.
4. Низкая эффективность обновления приоритетов вершин в очереди с приоритетом.
5. Недоступность некоторых вершин в несвязном графе.
6. Зацикливание при попытке обработки циклов в графе.

Для устранения влияния этих недостатков довольно продолжительное время проводятся работы по исследованию модификации алгоритма Дейкстры, они остаются актуальными и востребованными по настоящее время. Цель данных работ – расширения возможностей алгоритма, учет дополнительных ограничений и повышение эффективности решения задач в области информационных технологий.

В общем случае классический алгоритм Дейкстры описывается следующим образом [1, 2]. Пусть нужно найти кратчайший путь от вершины s до вершины t . Для этого будем присписывать вершинам временные пометки, причем пометка вершины дает верхнюю границу длины пути от s к этой вершине. Эти пометки (их величины) постепенно уменьшаются с помощью некоторой итерационной процедуры, и на каждом шаге итерации точно одна из временных пометок становится постоянной. Последнее указывает на то, что пометка уже не является верхней границей, а дает точную длину кратчайшего пути от s к рассматриваемой вершине. Алгоритм этой процедуры выглядит так:

Пусть $l(x_i)$ – пометка вершины x_i .

Шаг 1. Присвоение начальных значений.

Положить $l(s) = 0$ и считать эту пометку постоянной.

Положить $l(x_i) = \infty$ для всех $x_i \neq s$ и считать эти пометки временными.

Положить $p = s$.

Шаг 2. Обновление пометок.

Для всех $x_i \in \Gamma(p)$, пометки которых временные, изменить пометки в соответствии со следующим выражением:

$$l(x_i) \leftarrow \min[l(x_i), l(p) + c(p, x_i)]$$

Шаг 3. Превращение пометки в постоянную.

Среди всех вершин с временными пометками найти такую, для которой $l(x_i^*) = \min[l(x_i^*)]$

Шаг 4. Считать пометку вершины x_i^* постоянной и положить $p = (x_i^*)$.

Шаг 5. Если надо найти лишь путь от s к t . Если $p = t$, то $l(p)$ является длиной кратчайшего пути. Алгоритм закончен.

Если $p \neq t$, перейти к шагу 2.

Если требуется найти пути от s ко всем остальным вершинам. Если все вершины отмечены как постоянные, то эти пометки дают длины кратчайших путей. Алгоритм закончен.

Если некоторые пометки являются временными, то перейти к шагу 2.

Согласно исследованиям [3-6], этот алгоритм успешно функционирует в сетях, где каналы связи являются однородными и используется пакетная коммутация. Однако его применение для оптимизации распределения маршрутов с целью минимизации общего времени задержки одного пакета по маршруту не полностью соответствует реальности по следующим обстоятельствам.

Передача пакетов по виртуальным маршрутам предусматривает их последовательную передачу через все промежуточные узлы коммутации. Поэтому, если нам известна функция распределения вероятности длин сообщений между парой узлов коммутации в сети, целесообразно передавать информацию по маршрутам, которые обеспечивают минимальное среднее время задержки. Учитывая, что оптимальные маршруты для разных длин сообщений могут различаться, необходимо выбрать такой маршрут, который обеспечит минимальное среднее время доставки сообщений, учитывая функцию распределения вероятности их длины [7].

Таким образом, из множества маршрутов $M = \{m_1, \dots, m_k\}$ между парой узлов коммутации сети необходимо выбрать такой маршрут, который обладает минимальным средним временем доставки сообщений, учитывая распределение их длин. Для определения наилучшего маршрута, нам необходимо рассмотреть выражение, в котором минимальным будет являться результат выражения:

$$t_{\Sigma}^i + (\bar{l} - 1)t_{max}^i \xrightarrow{M=\{m_i, (i=1, k)} min,$$

где t_{Σ}^i – время передачи одного пакета сообщения по всем участкам виртуального маршрута, t_{max}^i – максимальное время передачи пакета по виртуальному маршруту; \bar{l} – средняя длина сообщения, определяемое выражением:

$$\bar{l}_{ij} = M_{ij}[l] = \sum_{k=1}^N P(l_k) \cdot l_k \quad (1)$$

Рассмотрим два произвольных маршрута $m_1(t_{\Sigma}^1; t_{max}^1)$ и $m_2(t_{\Sigma}^2; t_{max}^2)$, ($m_1, m_2 \in M$), для которых справедливо выражение:

$$t_{\Sigma}^1 + (\bar{l} - 1)t_{max}^1 < t_{\Sigma}^2 + (\bar{l} - 1)t_{max}^2 \quad (2)$$

Тогда среднее время доведения сообщений различной длины, с учетом функции распределения вероятности их длин для первого маршрута будет определяться выражением:

$$\bar{T}_1 = \sum_{i=1}^N [P(l_i)(t_{\Sigma}^1 + (\bar{l} - 1) \cdot t_{max}^1)] = t_{\Sigma}^1 + t_{max}^1 \cdot \sum_{i=1}^N (P(l_i)(\bar{l} - 1)) = t_{\Sigma}^1 + (\bar{l} - 1) \cdot t_{max}^1$$

Для второго маршрута:

$$\bar{T}_2 = \sum_{i=1}^N [P(l_i)(t_{\Sigma}^2 + (\bar{l} - 1) \cdot t_{max}^2)] = t_{\Sigma}^2 + (\bar{l} - 1) \cdot t_{max}^2$$

По условию (2):

$$t_{\bar{L}}^1 + (\bar{l} - 1)t_{max}^1 < t_{\bar{L}}^2 + (\bar{l} - 1)t_{max}^2 \Rightarrow \bar{T}_1 < \bar{T}_2 \quad (3)$$

Обобщая (3) для любых пар маршрутов $m_i, m_j, m_i, m_j \in M$, получим доказательство утверждения.

При создании таблиц маршрутизации для передачи сообщений по сети радиосвязи необходимо учитывать математическое ожидание длины сообщений в каждом ij направлении для определения оптимального маршрута доставки [8]. В этом случае метрикой сети будет являться среднее время доставки сообщений среднестатистической длины.

Один из способов модификации алгоритма Дейкстры заключается в учете трех значений временных пометок $W(x_i) = \langle w_1, w_2, w_3 \rangle$ на этапе определения вершин. Такой подход позволяет более точно формировать виртуальные маршруты доставки сообщений по сети радиосвязи с учетом известной функции распределения длины сообщений:

- 1) w_1 – максимум по времени передачи пакета по линии связи на маршруте – t_{max}^{ij} ;
- 2) w_2 – общее время передачи пакета по всем линиям связи, в том числе линию связи с максимальной задержкой – T^{si} ;
- 3) w_3 – время передачи всего сообщения до вершины x_i – t_c .

Следовательно, алгоритм формирования рациональных маршрутов передачи сообщений по сети передачи данных с известной функцией распределения длин сообщений можно представить так: (рисунок 3).

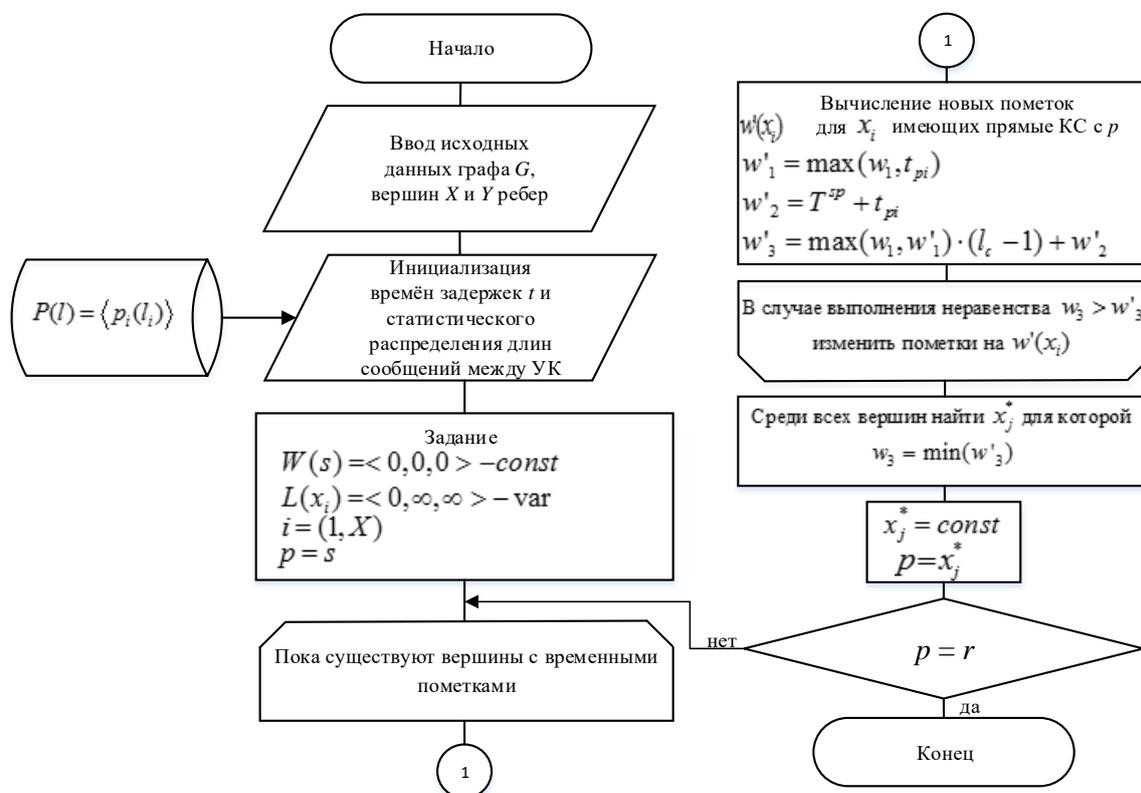


Рис. 3. Модифицированный алгоритм Дейкстры поиска наилучшего маршрута

Пусть у нас имеется сеть связи, представленная неориентированным графом G . Эта сеть состоит из X вершин, Y ребер и для каждого канала связи известны времена задержек t_{ij} в процессе доставки пакетов по ним. Кроме того, мы знаем функцию распределения длин сообщений между каждой парой узлов коммутации и некоторую величину $l_c = \bar{l}_{ij} - 1, (i, j \in |X|)$. Задача заключается в нахождении пути от вершины $s \in X$ графа к вершине $r \in X$ такой, чтобы $\bar{t}_{sr} \rightarrow \min$.

Алгоритм отыскания оптимальных маршрутов передачи пакетов по сети передачи данных будет описываться так:

Шаг 1. Принять пометку вершины s $W(s) = \langle 0, 0, 0 \rangle$ и полагать ее постоянной. Для других вершин $x \neq s$ принять $L(x_i) = \langle 0, \infty, \infty \rangle, (i = \overline{1, |X|})$ и считать эти пометки временными. За данную рассматриваемую вершину с постоянной меткой примем вершину p , то есть положим $p = s$.

Шаг 2. Для вершин x_i , которые имеют непосредственную связь с вершиной p и чьи метки являются временными, вычисляем новые пометки $W'(x_i)$ по следующему правилу: $w'_1 = \max(w_1, t_{pi}); w'_2 = T^{sp} + t_{pi}; w'_3 = \max(w_1, w'_1) \cdot (l_c - 1) + w'_2$

В случае, если $w_3 > w'_3$, то происходит изменение пометки на $W'(x_i)$.

Шаг 3. Во множестве вершин, имеющих временные метки, найти такую x_j^* , для которой выполнялось бы условие $w_3 = \min(w_3^i), (i = \overline{1, |X|})$.

Шаг 4. Полагаем пометку вершины x_j^* постоянной и считаем $p = x_j^*$

Шаг 5. В случае $p = t$, то текущая вершина p полагается искомой, и, соответственно, $w_3(p)$ является длиной самого короткого пути от s к t . В ином случае, то есть при $p \neq t$, переходим к шагу 2.

В случае, когда $i, j \in |X|: \bar{l}_{ij} = \text{const}$, то выполнение алгоритма продолжается до тех пор, пока все вершины не будут иметь постоянные пометки. Таким образом, получим совокупность рациональных (по критерию минимального среднего времени доставки сообщений) маршрутов от вершины s до всех других вершин графа G .

В целом, алгоритм маршрутизации информационных потоков в радиосети специального назначения является ключевым компонентом для обеспечения эффективной передачи данных и надежной работы системы. Этот алгоритм позволяет более оптимально использовать ресурсы радиосети, а также учитывать различные потоки данных с разными приоритетами. Это способствует устойчивости и безопасности передачи информации в радиосети специального назначения. Результатом рассмотренного в статье подхода является сокращение средней задержки пакетов при передаче сообщения в сети ПД на 10–15 процентов [9].

Список используемых источников

1. Хренов В. В. Модификация алгоритма Дейкстры для поиска кратчайшего пути // Актуальные исследования. Информационные технологии, 2023. № 13(143). С. 12–17.
2. Кристофидес Н. Теория графов Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 432 с.
3. Потапов С. Е., Цимбал В. А., Тоискин В. Е. Исследование адаптивного механизма управления передачей информации по протоколу ТСР в условиях динамики параметров каналов связи // Материалы конф. «Информационные технологии в управлении» / ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». СПб., 2016. С. 269–275.
4. Потапов С. Е. Исследование процесса передачи информации по виртуальным маршрутам в радиосети системы связи с подвижными объектами // Теория и техника радиосвязи, 2019. № 3. С. 11–23.
5. Цимбал В. А., Потапов С. Е. Модифицированный алгоритм определения оптимальных маршрутов доставки многопакетных сообщений в сетях передачи данных с коммутацией пакетов // Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий : материалы всерос. научн. конф., Москва, 29-31 мая 2019 г. М. : Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2019. С. 117–121.
6. Дудин И. С., Потапов С. Е. Адаптивные алгоритмы маршрутизации пакетов в сетях связи автоматизированных систем управления // Стратегическая стабильность, 2022. № 3 (100). С. 42–44.
7. Пономарев Д. Ю. Моделирование и оптимизация распределения трафика в телекоммуникационных сетях: дис. ... доктора техн. наук: 05.12.13 / Пономарев Дмитрий Юрьевич. Новосибирск, 2019. 314 с.
8. Цимбал В. А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход: монография. М.: Вузовская книга, 2014. 144 с.
9. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 6-е изд. СПб.: Питер, 2023. 992 с.

УДК 355.233.23
ГРНТИ 47.01.05

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ВАЖНЫХ КАЧЕСТВ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. В. Глушко, В. А. Гриднев, И. Г. Стахеев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются проблемы совершенствования подготовки специалистов в области телекоммуникаций путем формирования и развития профессионально-важных качеств. Предлагаются методы совершенствования подготовки специалистов в области телекоммуникационных технологий с учетом формирования ПВК, а также поэтапное их развитие в ходе обучения в военном учебном центре. Формирование и развитие ПВК производится в процессе профессиональной подготовки специалистов в рамках воспитательной и индивидуальной воспитательной работ. Предложенный вариант формирования и развития ПВК студента может быть полезен при подготовке специалистов руководящему составу и педагогическому работникам ВУЦ.

формирование и развитие профессионально-важных качеств специалистов в области телекоммуникационных технологий, воспитательная работа, индивидуальная работа, социально-психологические и профессионально-психологические качества личности

В настоящее время актуальной проблемой является качественная и всесторонняя подготовка специалистов в области телекоммуникаций, потребность в которых очень высока в условиях проведения боевых действий.

Современные методы ведения боевых действий предъявляют требования к системе управления войсками и как следствие к системе связи. Исходя из указанных требований и осуществляется подготовка военных специалистов связи в военном учебном центре (ВУЦ).

В современных условиях существует острая потребность, прежде всего, в хорошо подготовленных специалистах для войск связи, обладающих всеми необходимыми военно-профессиональными качествами (морально-психологической устойчивостью, целеустремленностью и направленностью на выполнение задачи, глубокими знаниями, твердыми практическими навыками) [1].

Выполнение этой не простой задачи в условиях снижения образовательного уровня в системе среднего общего образования происходит сложно и вызывает большую нагрузку на педагогический состав ВУЦ, которому приходится компенсировать эти проблемы. Для решения выше указанной задачи по подготовке специалистов ВУЦ необходимым условием является поэтапное формирование и развитие профессионально-важных

качеств (ПВК) у будущих специалистов. Формирования и развитие ПВК у специалистов связи происходит поэтапно в течении всего периода подготовки студентов к прохождению службы в ВС РФ. С целью разностороннего подхода к проблеме подготовки военных специалистов учитываются подходы инженерной психологии в военном деле.

Рассматриваются основные проблемы современной военной инженерной психологии – психологическая структура деятельности воина-оператора, прием, хранение и переработка информации, моторная и мыслительная деятельность воина, работающего с техникой, и т.д., а также психологический профотбор и профориентация, психология боевого дежурства и т. д. [2].

На начальном этапе формирования ПВК необходимо проведение воспитательной работы, в которую входят основные направления:

- патриотическое воспитание;
- духовно-нравственное воспитание;
- формирование научного мировоззрения;
- подготовка к семейной жизни;
- трудовое воспитание;
- экологическое воспитание;
- физическое воспитание.

Также в дополнение к воспитательной работе проводится индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальная воспитательная работа — это система мер целенаправленного психолого-педагогического воздействия куратора и преподавателей на личность студента в целях формирования, и развития необходимых качеств и свойств, то есть ПВК.

Она является методом углубленного изучения личности студента и позволяет куратору в беседе со студентом конкретизировать проблему и определить нужное направление решения проблемы.

Ключевой формой воспитания является систематическая и целенаправленная индивидуальная работа преподавательского состава, проводимая в течение всего периода обучения на основе изучения динамики формирования профессионально важных качеств и индивидуально-личностных особенностей каждого студента [3].

С целью повышения результативности образовательного процесса, воспитательной и военно-политической работы, формирования профессиональных, социальных качеств личности студента за каждой учебной группой закрепляется ответственный офицер (куратор) из числа профессорско-преподавательского состава ВУЦ [3].

Для поэтапного формирования и развития ПВК у студентов предлагается план формирования и развития ПВК, по которому куратор группы осуществляет свою работу со студентами. Этот план представлен в таблице 1.

Для определения направления индивидуальной воспитательной работы со студентом необходимо знать социально-психологические особенности

его личности и психологический портрет, которые позволят устранить или минимизировать проблемы в развитии у студента.

Для изучения социально-психологических и психологических особенностей личности студента в плане сформированы три блока качеств, по которым выводится оценки по развитию ПВК у студента за каждое качество, блок качеств и средний балл за все ПВК как у студента, так и за группу. Это позволяет провести сравнительный анализ развития ПВК как студентов в группе, так и сравнить учебные группы на курсе. В каждом блоке представлены определенные качества и оценка их развития. Эти данные позволяют контролировать развитие конкретного ПВК у каждого студента, своевременно принимать решение по его развитию и оценивать результативность воздействия на образовательный процесс.

Во 1-м блоке представлены социально-психологические качества личности студента, которые характеризуют его направленность (совокупность устойчивых мотивов, взглядов, убеждений, потребностей и устремлений, ориентирующих человека на человека на определенную задачу, характеризуется достижением поставленной цели); социальный уровень (статус) в коллективе (уровень признания или значимости личности т е положение в учебной группе); доброжелательность (открытость характера и готовность поделиться и духовным, и материальным); взаимовыручка (способность помогать друг другу, оказавшись в беде, в сложной жизненной ситуации, поддерживать все чем возможно); нормативность поведения и культура речи (соблюдение всегда и везде правил и законов, нормативности речи); участие в общественных делах группы (принимать активное участие в общих делах группы, которые объединяют коллектив); честность и принципиальность (основаны на принципах, ценностях и взглядах, т. е. придерживаются правильных принципов); трудолюбие (стремление и умение добросовестно, увлеченно и с чувством выполнять задачу); характер (совокупность основных, наиболее устойчивых психических свойств человека, обнаруживающихся в его поведении); самостоятельность (способность полагаться на себя в решении проблем и эмоционально не зависеть от других); способности к обучению (способность человека к целенаправленному освоению знаний). В конце блока выводится итоговая оценка, которая характеризует социально-психологический портрет студента.

В 2-м блоке представлены профессионально-психологические качества студента, которые характеризуют его исполнительность (способность точно выполнять приказы и задачи командира); дисциплинированность (исполнение всех предъявляемых требований в срок с докладом о результатах); ответственность (способность сознательно и беспрекословно выполнять приказы, и нести за это ответственность); целеустремленность (это и сосредоточенность действий, мыслей и чувств на непреклонном движении и достижении поставленной цели); решительность (это индивидуальное качество воли человека, связанное со способностью и умением (навыком) самостоятельно и своевременно принимать ответственные решения и упорно

одного единственно правильного на основе анализа различных данных); посещаемость занятий (стремление к познанию изучаемого контента и высокую заинтересованность студента в будущей карьере); успеваемость (степень успешного усвоения знаний, умений и навыков, установленных учебной программой, с точки зрения их полноты, глубины и прочности).

За второй блок в целом выводится итоговая оценка, которая характеризует уровень сформированности и развития профессионально-психологических качеств личности студента, его способности успешного (не успешного) выполнения учебной программы.

В 3-м блоке представлена дисциплинарная практика в отношении студента, которая характеризуется поощрениями (вниманием к нормативным и позитивным действиям, и поступкам студента, путем объявления благодарности, вручения грамоты, ценных подарков и т. д.) оценкой поступка и практической его ценностью, стимулирует закрепление нормативных действий; взысканиями (мерой ответственности за дисциплинарный проступок, характеризующий нарушение норм и правил поведения).

В первом блоке изучения социально-психологических качеств личности учитывается уровень развития каждого ПВК у студента. В случае слабой выраженности одного или группы качеств у куратора формируется материал для подготовки и проведения коррекционных мероприятий, который будет использован в ходе индивидуальной беседы.

Одним из важных свойств личности военного специалиста является направленность, то есть глубоко мотивированная целеустремленность, зная которую командир может предвидеть поведение подчиненного и выбрать эффективные способы воздействия на него. Направленность выражается в целях и мотивах поведения воина, его потребностях, интересах, идеалах, установках, жизненной позиции в целом. Данное свойство личности может быть неустойчивым (всецело зависеть от ситуации) или устойчивым (длительно определять линию поведения) [4].

Во втором блоке изучения профессионально-психологических качеств личности студента важными являются эмоционально-волевые качества. Они определяют способность военного специалиста в сложных боевых условиях не уходить в депрессию, а принимать верное решение.

Блок «Дисциплинарная практика» позволяет контролировать практические действия каждого студента, учитывая его поощрения и взыскания. Он характеризует стиль поведения обучаемых в процессе обучения и оценивает направление дисциплинарной практики, ее действенность на процессе формирования ПВК.

За все ПВК, указанные в таблице, выводится итоговая оценка, которая характеризует уровень развития необходимых качеств у каждого студента и в целом за учебную группу. Оценка по каждому ПВК позволяет оценить уровень его сформированности и развития, а также сделать вывод и принять

меры к устранению проблем, если они есть. Наличие такой таблицы позволяет наглядно проанализировать ситуацию сформированности и развития ПВК перед индивидуальной воспитательной работой со студентами и выработать необходимые рекомендации. И в ходе индивидуальной беседы выявить явные проблемы, провести разбор сложившейся ситуации и выдать рекомендации по устранению выявленных причин.

Таким образом, формирование и развитие ПВК в ходе процесса обучения и воспитания студентов оказывает эффективное влияние на качество подготовки специалистов в ВУЦ.

Список используемых источников

1. Александров В. А., Гриднев В. А., Груздев Д. А. Формирование профессионально-важных качеств специалистов в военном учебном центре // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 527–532.

2. Ахутин В. М., Зараковский Г. М., Королев Б. А. Инженерная психология в военном деле. Подобр. ред. Б. Ф. Ломова. М.: Воениздат, 1983. 224 с.

3. Положение о ВУЦ при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» ВУЦ.ПСП.-2021 (утверждено ректором СПбГУТ).

4. Дьяченко М. И., Осипенко Е. Ф., Мерзляк Л. Е. Психологические основы деятельности командира. Под ред. Ген. Армии И. Г. Павловского. М.: Воениздат, 1977. 295 с.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

**А. В. Глушко, А. А. Поляков, А. К. Сагдеев, Д. С. Самаркин,
И. А. Скрыков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Основными задачами системы технической разведки являются получение характеристик объекта разведки и принятие решения о принадлежности объекта разведки к определенному классу. Повысить достоверность ведения технической разведки можно путем использования наиболее информативных признаков, однако противник пытается сократить количество разведывательных признаков.

ИТКС СН, технические средства разведки, разведывательные признаки

Повысить достоверность распознавания объектов при ведении технической разведки можно выбором режима разведки, обеспечивающим увеличение априорной информации (табл. 1). Содержательную часть априорной информации можно повысить использованием наиболее информативных признаков [1]. Редукция признаков на существенные и несущественные может осуществляться различными методами [2]. Реализация этой меры повышения достоверности распознавания ведет к усложнению ТСР, к необходимости увеличения ресурса ЭВМ.

В условиях эффективного противодействия (например, проведения специальных операций или реализации программ ПД ТСР), количество разведывательных признаков сокращается, информативность их низка и уменьшается со временем (стареет априорная информация). В этом случае достоверность распознавания можно повысить объединением ТСР в систему. Это увеличивает объем текущей информации об объекте (выборка больше) [3].

Объединение ТСР в систему и последовательный «просмотр» объектов разведки всеми ТСР увеличивает объем текущей информации об объекте (его описание) и временные затраты на вскрытие всего множества объектов:

$$A = \{A_i\}, i = \overline{1, N}.$$

Компромисс при обеспечении требований по достоверности принимаемых решений и временным затратам достигается при следующем режиме работы: объекты разведки «предъявляются» технической разведке группами, все ТСР одновременно, но независимо измеряют характеристики каж-

дого объекта, а решение о принадлежности (вскрытии) объекта к определенному классу принимается по результатам обработки информации о всей группе. В этом случае необходимо, чтобы вся информация от ТСР передавалась в специальные центры обработки (этап принятия решения) с целью идентификации объектов с использованием всей поступающей информации, в том числе и о составе группы объектов.

На этом этапе принятия решения возможен информационный обмен между ТСР априорной информацией. Выбор правила принятия решения центром обработки разведанных зависит от входной информации. Если ТСР принимают решения по процедуре «идеального наблюдателя», то входную информацию на центрах обработки можно представить множеством $\{\{h_{ijt}\}, \{K_{ijt}\}\}$, где h_{ijt} – подмножество гипотез о принадлежности j -го описания t -м ТСР к i -му классу, $j = \overline{1, S}$; $i = \overline{1, N}$; $t = \overline{1, T}$; K_{ijt} - подмножество чисел соответствующих классов, в пользу которых ТСР приняли решение.

ТАБЛИЦА 1. Режимы работы технической разведки

Режимы работы системы	Информационный выигрыш	Количество перерабатываемой информации	Количество объектов	Эффект применения
1. Каждый из объектов распознается одновременно всеми автоматами системы	Возрастает количество информации о распознаваемых объектах	$I_1(A, X) = H(A) - H(A) \bigcup_{t=1}^T X$	$n = 1$	Минимизируется либо время распознавания, либо вероятность ошибки
2. Каждый из объектов распознают одновременно не более $[T/n + 1]$ автоматов	Возрастает количество информации о распознаваемых объектах и используется информация о порядке их предъявления	$I_1(A, X) \leq I_2(A, X)$ $I_2(A, X) \leq n \cdot H(A)$	$n < T$	Уменьшается и минимизируется $\min P_{\text{расп}}$
3. Каждый автомат распознает свой объект	Используется информация о порядке предъявления объектов	$I_3(A, X) = T \cdot I_1(A, X)$ $I_3(A, X) \geq \sum_{t=1}^T (A, X)$	$n = T$	$\min P_{\text{расп}}$
4. Каждый автомат распознает не более $[T/n + 1]$ объектов		$I_1(A, X) \leq I_2(A, X) \leq n \cdot H(A)$	$T < n$	

В центре обработки оценки вероятностей гипотез сравниваются и окончательное решение принимается в пользу того класса, которому соответствует максимальная вероятность гипотезы по всем ТСР:

$$\max_{j,t} \hat{h}_{ijt} = \max_{\{i\}} P_{\text{вскр}}^j = \max_{\{i\}} P_{\text{обн}}^j \cdot \max_{\{i\}} P_{\text{мо}}^j \cdot \max_{\{i\}} P_{\text{расп}}^j.$$

Такой критерий принятия решения справедлив для оптимального взвешенного голосования и максимальной уверенности. Отличие их только в количестве ТСР, учитываемых при принятии решения. В соответствии с правилом оптимального голосования в принятии решения о распознавании объекта не принимают участие те ТСР, которые могут снизить достоверность принимаемого решения. Правило применимо при разовых просмотрах групп объектов. Правило максимальной уверенности занимает промежуточное положение между видами голосования [4]. Достоинством этого правила принятия решения является то, что низкоэффективные ТСР принципиально не могут увеличить вероятность ошибки распознавания, а с ростом количества ТСР ошибка распознавания стремится к нулю. Поэтому в центрах обработки разведданных преимущественно используется правила максимальной уверенности и оптимального голосования.

Если центры обработки разведданных не обеспечивают достоверного распознавания, то необходим еще один уровень обработки разведданных. В этом случае учитывается информация от всех центров обработки разведданных, что эквивалентно увеличению объема текущей информации при решении задачи распознавания. Окончательное решение об объекте разведки, на основании входной информации, принимается центром управления и обработки. Правила принятия решения аналогичны правилам принятия решения в центрах обработки разведданных [5].

Анализ алгоритмов функционирования ТСР, их взаимосвязи, приведенных выше с целью обоснования достоверности принимаемых решений при заданных временных требованиях, позволяет сделать следующие выводы:

- структура системы ТР включает три уровня иерархии: ТСР; центры обработки разведданных; центр управления и обработки;
- наиболее вероятными правилами принятия решения являются: на уровне ТСР – процедура идеального наблюдателя; на центрах обработки разведданных и центре управления и обработки - процедура максимальной уверенности или оптимального взвешенного голосования;
- между центрами обработки и ТСР, центрами обработки и центром управления и обработки существует информационная взаимосвязь. В интересах управления существуют командные связи между уровнями иерархии;
- средства разведки, в общем случае, сгруппированы в четыре подсистемы: космическая; воздушная; наземная и морская техническая разведка; каждая подсистема, в общем случае, может включать T средств разведки;

– каждое техническое средство реализует все подпроцессы разведки и функционирует независимо.

Совпадение структуры, полученной в процессе анализа со структурой, приведенной в зарубежной литературе, говорит о том, что ТР развитых стран базируется на современных теоретических основах. Иерархическая структура, разветвленность уровней иерархии ТР позволяют утверждать, что в зависимости от условий и времени решения разведывательных задач она может «самоорганизовываться» на основе взаимосвязи алгоритмов функционирования с целью обеспечения гарантированного решения [6].

Список используемых источников

1. Назарова О. Ю., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В., Шилина А. Н. Совершенствование методики количественной оценки угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем и сетей // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2021. № 2. С. 77–84.

2. Новак А. В., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А. Методика мониторинга информационно-телекоммуникационной сети военного назначения во время техносферной борьбы // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 4. С. 367–370.

3. Новак А. В., Пащенко М. С., Сагдеев А. К., Суюндукова А. А. Разработка системы мониторинга и радиоконтроля информационной безопасности испытаний // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 4. 478–483.

4. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Математическая модель конфликта информационно-телекоммуникационных систем специального назначения в киберпространстве // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 07. С. 78–82.

5. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Алгоритм корреляции структурно резервированной информационно-телекоммуникационной сети с учетом применения противником средств и методов противодействия // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2022. № 2. С. 13–24.

6. Добровольский С. Л., Малинин О. Д., Сагдеев А. К., Самаркин Д. С. Оценка чувствительности модели информационно-телекоммуникационной сети военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 757–761.

УДК 654.026
ГРНТИ 049.01.05

УПРАВЛЯЕМОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С. С. Грищенко, А. Н. Иванов, Д. В. Субботин

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматривается влияние интеграции технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в систему управления транспортными сетями связи военного назначения на методы оценки и повышения их управляемости. Представлены ключевые этапы цикла управления, внедрения автоматизации в процессы мониторинга и анализа поступающих данных, а также использования прогностического подхода.

транспортные связи военного назначения, управляемость, искусственный интеллект и машинное обучение, система управления

В современных условиях транспортные сети военного назначения (ТрССВН) как критически важный элемент системы связи выполняют важнейшую задачу по обеспечению современными услугами должностных лиц в системе управления войсками (силами, оружием), находящимся в зоне ее функционирования, при этом для эффективного управления ресурсами и объектами ТрССВН необходима система управления, способная в реальном масштабе времени вырабатывать управляющие воздействия и анализировать обратную связь от управляемых объектов сети [1]. Таким образом, система управления обеспечивает реализацию требования по управляемости сети как способности сетевой инфраструктуры адаптироваться к изменяющимся условиям обстановки, обеспечивая при этом ее устойчивое, безопасное и эффективное функционирование.

В контексте развития ТрССВН, характеризующегося ростом степени их сложности и динамичным внедрением современного телекоммуникационного оборудования, управляемость становится ключевым свойством, обеспечивающим способность сети адаптироваться к потребностям должностных лиц – пользователей услугами связи. Таким образом, разработка и внедрение новых методов оценки показателей управляемости с учетом требований, предъявляемым к системе связи, сможет обеспечить эффективность управления телекоммуникационными ресурсами, способствуя улучшению общей производительности сетевой инфраструктуры.

В рамках разработки и применения методов оценки показателей управляемости ТрССВН стоит отметить, что сложная динамическая система является управляемой, если при определенном наборе входных переменных

она может быть переведена из любого начального состояния в любое желаемое состояние за конечное время [2]. Это определение согласуется с интуитивным пониманием контроля, имея возможность привести систему к желаемому состоянию через соответствующие манипуляции нескольких входных переменных. Несмотря на то, что теория управления является математически высокоразвитой отраслью техники, фундаментальные вопросы, связанные с управляемостью сложных систем, возникающих в природе и технике, имеют сложности в разрешении. Трудность заключается в том, что необходимо управлять двумя независимыми факторами, каждый со своим собственным уровнем неизвестности [3]:

1. Архитектура ТрССВН включает в себя не только физические компоненты (узлы и линии связи), но и логическую структуру, определяющую взаимодействие компонентов между собой. С точки зрения управляемости архитектура обеспечивает эффективную передачу данных и команд управления по всей сети, а также поддерживает требуемый уровень устойчивости. Это достигается за счет внедрения редундантности, использования защищенных протоколов передачи данных, а также создания адаптивных механизмов реагирования на изменения обстановки.

2. Динамические правила взаимодействия компонентов ТрССВН во времени, включающие процессы передачи, обработки и хранения информации. Эти правила устанавливают механизмы для динамической адаптации сети к изменяющимся условиям эксплуатации, позволяя автоматически переконфигурировать маршруты прохождения информации в случаях обнаружения угрозы или отказов компонентов ТрССВН. Ключевым элементом в данном случае является интеллектуальное программное обеспечение управления сетью, способное анализировать текущее состояние сети, прогнозировать потенциальные угрозы и принимать решения о переконфигурации ТрССВН в масштабе времени, близком к реальному.

В рамках решения этих вопросов интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения в систему управления ТрССВН потенциально позволит сократить цикл управления сетью и повысить показатели управляемости за счет автоматизации сетевых процессов.

На этапе мониторинга и сбора данных система управления с ИИ непрерывно получает информацию о трафике, производительности, состоянии оборудования и безопасности. Современные инструменты ИИ позволяют анализировать большие объемы данных (*Big Data*) в масштабе времени, близком к реальному, используя алгоритмы машинного обучения. Это позволит прогнозировать потенциальные проблемы, прежде чем они приведут к сбоям, перерывам связи или ухудшению качества обслуживания.

Основываясь на анализе полученных данных, система управления с ИИ принимает решения о необходимости корректировки работы ТрССВН в ча-

сти изменения настроек оборудования, перераспределения трафика и ресурсов, запуск работы системы восстановления. После реализации необходимых изменений система управления с ИИ анализирует результаты, оценивает их эффективность и при необходимости корректирует для достижения требуемого результата.

Таким образом, завершая цикл управления, ИИ использует обратную связь от реализованных изменений для непрерывного обучения и улучшения своих алгоритмов, при этом интеграция ИИ и машинного обучения в цикл управления ТрССВН открывает новые подходы к оценке показателей и повышению управляемости, а также к управлению сетевой инфраструктурой в части автоматизации процессов мониторинга и своевременного реагирования на потенциальные изменения и угрозы.

Список используемых источников

1. Копытко В. К., Шептура В. Н. К вопросу об инновационном развитии системы связи группировки войск (сил) на театре военных действий // Вестник Академии военных наук, 2011. №. 3. С. 88–94.

2. Юйхуэй Х. и др. Иерархический метод определения управляемости процесса спуска космического аппарата // Проблемы экоинформатики, 2022. С. 89–96.

3. Управляемость сложных сетей – перевод статьи Controllability of complex networks// Хабр: [сайт]. 2013. URL: <https://habr.com/ru/articles/201284/> (дата обращения: 26.03.2024).

УДК 654.026
ГРНТИ 049.01.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

С. С. Грищенко, А. Н. Иванин, Д. В. Субботин

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Активное развитие методов машинного обучения все чаще находит свое отражение в области телекоммуникации и связи. Не исключением является исследование путей реализации таких технологий в интересах обеспечения устойчивости оптических транспортных сетей связи, функционирующих в условиях недоверенного окружения. Прогресс в теории машинного обучения и разработка эффективных алгоритмов позволяют на сегодняшний день обрабатывать огромное количество данных. Это способствует значительному повышению точности прогнозов и сокращению времени идентификации состояний сети вплоть до реальных масштабов времени, что критически важно для оперативного управления сетями.

устойчивость, оптические транспортные сети связи, машинное обучение

Причины внедрения искусственного интеллекта в оптические транспортные сети связи в целях обеспечения устойчивости

Оптические транспортные сети связи (ОТСС) предназначены для переноса разнородного типа трафика в интересах множественных систем управления (МСУ). Под «множественными» понимаются системы управления (СУ) различных органов исполнительной власти объектами управления (ОУ), каждый из которых предъявляет индивидуальные требования к системе связи, технической основой которой являются сети связи различных уровней иерархии, рис. 1.

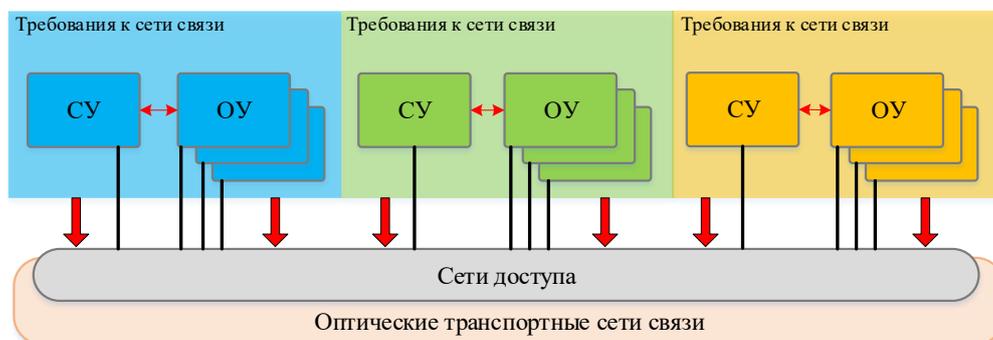


Рис. 1. Роль и место ОТСС, функционирующих в интересах МСУ

Таким образом, ОТСС должны отвечать постоянно ужесточающимся разнородным требованиям в смысле способности выполнять свои функции по переносу разнородного типа трафика, источниками которого являются распределенные МСУ в условиях постоянно расширяющегося спектра деструктивных воздействий, в том числе и угроз информационной безопасности (УИБ). Учитывая специфику данных угроз в сочетании с поэтапным характером их реализации, видится актуальным:

– исследование механизмов защиты ОТСС на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ), дающих возможность заблаговременного обнаружения УИБ на ранних этапах их реализации (до момента наступления отказа в обслуживании) в целях расширения временного горизонта принятия решения по выбору и применению способов противодействия;

– увеличение множества контролируемых параметров сети и выявление неявных взаимосвязей множества состояний применяемого оборудования и сложной топологической структуры ОТСС с этапами реализации УИБ для более эффективного управления сетевыми ресурсами и оперативного обнаружения атак.

Множество методов машинного обучения как разновидность ИИ применяемых в ОТС

Искусственный интеллект – это область информатики, которая изучает создание умственно-активных машин, способных выполнять различные задачи [1]. Как показано на рис. 2, основной разновидностью ИИ является машинное обучение (МО), в состав которого входит огромное множество различных методов, содержащие алгоритмы, позволяющие решать разные задачи.

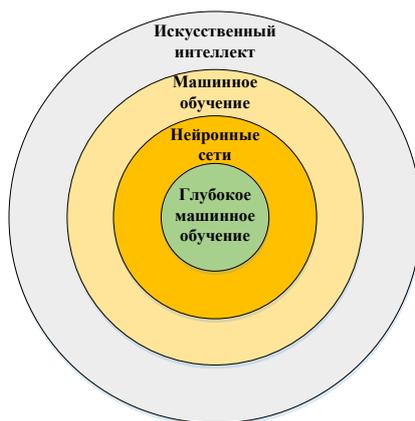


Рис. 2. Иерархия искусственного интеллекта

На сегодняшний день спектр решаемых методами МО задач, представленный на рисунке 3 очень богат. Так, на рис. 3а представлены основные методы МО, находящие свое применение в различных сферах, представленных на рис 3б.



Рис. 3. (а, б). Методы машинного обучения и решаемые задачи

Методы МО могут решать различные сложные задачи путем итеративного обучения на основе входных данных и обратной связи с окружающей средой. Активно исследуются вопросы использования методов обучения с учителем и без учителя [2] в оптических сетях связи при решении задач классификации и кластеризации. Также проводятся работы [3] по исследованию генетических алгоритмов, которые применяются в задачах коммутации и распределении потоков. В [4] представлены оценки моделей МО, применяемых в интересах управления оптическими сетями, а также рассматриваются вопросы [5] применения МО для прогнозирования качества передачи информации (QoT) в ходе мониторинге различных параметров: коэффициента ошибки BER и отношении оптический сигнал/шуму ($OSNR$). Стоит отметить, что сложность мониторинга (в режиме реального времени) разнообразных показателей качества ОТСС, представленных в таблице 1, также может быть снижена за счет применения рассмотренных подходов [6].

ТАБЛИЦА 1. Контролируемые параметры оптических линий связи

Параметр	Описание	Параметр	Описание
CD	Хроматическая дисперсия	$UBE-FEC$	Неисправных ошибок после FEC
DGC	Дифференциальная групповая задержка	$BER-POST_FEC$	Частота ошибок после FEC
$OSNR$	Отношение оптический сигнал/шум	OPR	Принятая оптическая мощность
PDL	Потери, зависящие от поляризации	OPT	Переданная оптическая мощность
$Q-factor$	Q -Фактор	OFT	Оптическая частота на передаче
$BE-FEC$	Ошибки до FEC	OFR	Оптическая частота на приеме
$BER-FEC$	Частота ошибок до FEC	LOS	Потери сигнала

Актуальные исследования проводятся в области обеспечения безопасности ОТСС на примере сочетания когерентного приемника с МО, что поз-

воляет организовать мониторинг целостности оптического волокна до возникновения разрывов [7], или анализа оптического спектра для выявления преднамеренного вредоносного сигнала (шума) [8].

Интеграция МО в ОТСС

Вариант интеграции МО в ОТСС [9] представлен на рис. 4 и включает в себя функциональные элементы (ФЭ), которые несут ответственность за сбор и предварительную обработку данных из ОТСС, подготавливая их для последующего использования агентами МО.

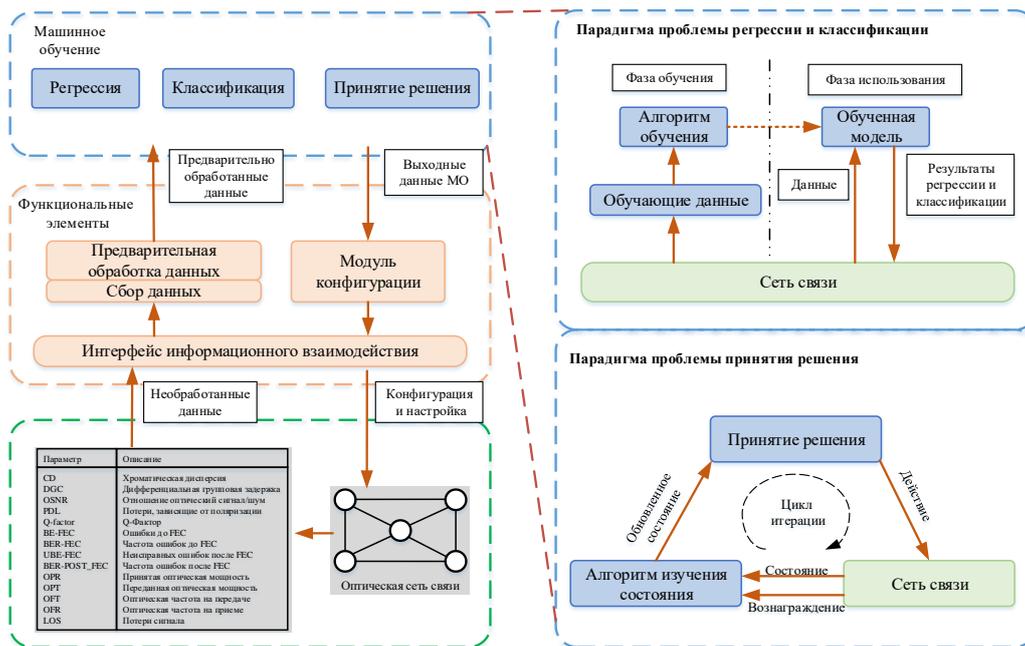


Рис. 4. Архитектура интеграции машинного обучения в ОТССН

Представленный вариант интегрирования систем МО позволяет обеспечивать автоматизированное и эффективное управление сетевыми ресурсами и противодействие УИБ. Такие системы позволяют оперативно реагировать на изменяющиеся условия, обеспечивая устойчивую работу ОТСС.

Проблемы внедрения методов машинного обучения в ОТСС и создание цифровых двойников.

Одной из основных проблем в области применения МО на ОТСС является идентификация множества состояний сети, основываясь на реальных, динамически-изменяющихся во времени показателях. Адекватное понимание и описание множества возможных состояний сети является фундаментом для обеспечения устойчивости за счет своевременной адаптации стратегий управления.

Сложности формирования адекватных и репрезентативных обучающих выборок наряду с ограниченными вычислительными ресурсами в проекции на дорогостоящие натурные стенды также затрудняют внедрение МО. Перспективным

видится использование цифровых двойников (ЦД) [10] в контексте ОТСС, которые расширяют возможности для валидации и верификации методов МО.

Разработка и подбор эффективных моделей машинного обучения (в смысле подбора гиперпараметров, топологии, выбора классов) зачастую требует предварительных аналитических исследований [11], что не всегда представляется возможным.

Заключение

Интеграция методов МО в ОТСС является не только значимым шагом в развитии технологий связи, но и важным направлением в повышении их устойчивости и безопасности. Внедрение ЦД открывает новые горизонты для мониторинга и тестирования ОТСС, предоставляя возможности для экспериментов и верификации алгоритмов МО в безопасной виртуальной среде. Завершая, следует подчеркнуть, что стремление к интеграции интеллектуальных систем в инфраструктуру ОТСС должно подкрепляться четким пониманием текущих и потенциальных вызовов, что позволит создавать решения, способные не только противостоять угрозам, но и повысить устойчивость ОТСС в целом.

Список используемых источников

1. Рассел С., Норвинг П. Искусственный интеллект: современный подход: пер.с англ. 2-е М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
2. Musumeci F., Rottondi C., Nag A., Macaluso I., Zibar D., M. Ruffini, and Tornatore M., “An overview on application of machine learning techniques in optical networks // IEEE Commun. Surveys Tuts., 2019. Vol. 21. № 2. PP. 1383–1408.
3. Choudhury G., Lynch D., Thakur G., and Tse S. Two use cases of machine learning for SDN-enabled IP/optical networks: traffic matrix prediction and optical path performance prediction // IEEE/OSA J. Optical Commun. Network., 2018. Vol. 10. № 10, PP. D52–D62.
4. Sartzetakis I., Christodoulopoulos K. K., and Varvarigos E. M. Accurate quality of transmission estimation with machine learning // IEEE/OSA J. Optical Commun. Network., 2019. Vol. 11. № 3, PP. 140–150.
5. Pointurier Y. Design of low-margin optical networks // IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2017. Vol. 9. № 1, PP. A9–A17.
6. Furdek Prekratic M., Natalino Da Silva C., Lipp F. Machine Learning for Optical Network Security Monitoring: A Practical Perspective // Journal of Lightwave Technology, 2020, 38(11): 2860–2871.
7. Boitier F. Proactive Fiber Damage Detection in Real-time Coherent Receiver // 2017 European Conference on Optical Communication, Gothenburg, 2017. PP. 1–3.
8. Shariati B., Ruiz M., Comellas J. and Velasco L. Learning from the Optical Spectrum: Failure Detection and Identification // Journal of Lightwave Technology, 2019. Vol. 37. № 2, PP. 433–440.
9. Rentao Gua, Zeyuan Yanga, Yuefeng Ji. Machine Learning for Intelligent Optical Networks: A Comprehensive Survey // Preprint submitted to Journal of Network and Computer Applications, Beijing, 2020.
10. Слепцов М. А. Цифровой двойник для волоконно-оптических сетей связи // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех – 2020). РТУ: М., 2020. с. 48–56.
11. Иванин А. Н., Канаев А. К. О подходах к моделированию функционирования транспортных сетей связи в условиях реализации сетевых и компьютерных атак на основе теории Марковских процессов // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: СПб, 2020. С. 243–249.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И СИСТЕМА РАДИОПОДАВЛЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ КОНФЛИКТА

Д. А. Груздев, А. А. Поляков, А. К. Сагдеев, Д. С. Самаркин,
И. А. Скрыков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Взаимодействие инфотелекоммуникационной системы специального назначения со средствами радиоподавления, а перед этим со средствами технической разведки можно отнести к классу антагонистических конфликтов. Рассмотрены целевые функции, задачи каждого участника конфликта и способы достижения своей цели.

ИТКС СН, система радиоподавления, конфликт

В настоящее время общепринятым можно считать, что конфликт есть объективно существующая форма взаимодействия различных объектов живой и неживой природы, которая определяет их дальнейшее прогрессирующее развитие. Подобные конфликтные взаимодействия характерны реальным условиям функционирования всех типов радиоэлектронных средств и систем (РЭС), вынужденных использовать радиочастотный спектр как ограниченный природный ресурс [1]. Конфликты военного характера по своей физической природе предполагают полную противоположность интересов (целей) конкурирующих сторон. Такой конфликт относится к классу антагонистических. Типичным антагонистическим конфликтом является конфликт между системой связи и системой воздействия на нее. Под системой воздействия будем понимать радиоэлектронное воздействие в форме ведения технической разведки (ТР) и в форме радиоподавления (РП) радиоэлектронных объектов системы связи.

Конфликт, как форма взаимодействия РЭС, будет представлять собой процесс столкновения как минимум двух сложных многоуровневых целенаправленных систем, которые образуют при взаимодействии еще более конфликтную надсистему (или метасистему). При этом отдельные элементы (подсистемы) каждой из противостоящей систем объединены единой генеральной целью системы в целом и не являются полностью самостоятельными, а дополняют и взаимно помогают друг другу. Поэтому противостояние современных радиоэлектронных систем приобретают все характерные черты сложного антагонистического конфликта (конфликтная метасистема) [2].

Построение конструктивной модели конфликтной надсистемы подобного типа сложно и вряд ли осуществимо в принципе. Однако отсутствие

приемлемых вариантов такой модели в известной степени тормозит развитие устойчивых к радиоэлектронному воздействию систем связи, так как серьезно затрудняет задание обоснованных требований к ее основным составляющим (составу аппаратных и комплексов, параметрам и характеристикам станций, способам защиты и т. п.) [3].

Реальным выходом из сложившейся ситуации в настоящее время является использование декомпозиционного подхода, предусматривающего декомпозицию сложной конфликтной надсистемы на составляющие его более простые конфликты, допускающие математическое представление (моделирование).

Ключевой составляющей конфликта в современной радиоэлектронной борьбе (РЭБ) является процесс противоборства РЭС на этапе добывания информации. Этот конфликт можно назвать информационным конфликтом. Его суть заключается в противоборстве систем связи и ТР на этапе добывания ею информации (сведений) о системе связи и ее передаче потребителям. Одним из потребителей разведывательных сведений о системе связи является система РП. Поэтому на втором этапе будем рассматривать конфликт между системой связи и РП. Такая декомпозиция уместна в силу схожести генеральных целей средств ТР и РП, а также временного разделения их процессов, основанных на последовательном действии систем разведки и радиоподавления. При этом нужно отметить, что исход информационного конфликта оказывает существенное влияние (едва ли не решающее) на исход конфликта РП. Кроме того, как комплексы ТР, РП и объекты связи, в свою очередь, являются составными элементами некоторых систем более высокого иерархического уровня.

Конфликтная устойчивость метасистемы зависит от выбора оптимальных стратегий противоборствующих сторон. Оптимизация устойчивых состояний осуществляется на основе оптимального распределения ресурсов. В работе предлагается использовать как «силовую», так и ситуационную стратегию выбора оптимальных вариантов воздействия на сеть связи, а также выбора видов и параметров помех. С другой стороны, предлагается использовать многоуровневый защитный ресурс сети связи, включающий синтез оптимальных структур, топологий сети, выбор оптимального местоположения сетевых узлов связи (УС), а также параметрическую оптимизацию линий и станций сети связи. Поэтому третьим этапом является разработка динамической модели, отражающей процессы смены состояний конфликтующих сторон и оптимизацию параметров каждого состояния [4].

Важным теоретическим инструментом для анализа проблем конфликтов является теория игр, не имеющих себе равных среди других теорий. Теория игр в настоящее время используется главным образом для разработки основных концепций и методологий решения антагонистических проблем, что занимает центральное место на этапе развития любых систем и, в частности, системы связи, ведомственного назначения. Одним из приложений теории игр

является процесс выбора лучшей стратегии на основе принятия решений. Внедрение в этот процесс теории оптимизации является одним из самых значительных и эффективных математических методов. Эта теория обычно рассматривается способом максимизации (или минимизации) функции, описывающей набор целей и влияние ограничений, которым они подвержены.

Очевидно, что ресурс как средств связи (защитный ресурс), так и средств воздействия (ресурс нападения) в силу известных причин носит инерционный и ограниченный характер. В этом случае разрешение конфликта может быть сведено к оптимальному распределению ресурсов воздействия и защиты, соответственно [5]. Кроме того, ограничения могут накладываться и на временные параметры. Тогда задача разрешения конфликта сводится к динамическому управлению параметрами двух противоборствующих систем. Таким образом, антагонистический конфликт систем воздействия и связи можно представить как последовательное решение задач по оптимальному распределению ресурсов воздействия, защиты и динамического управления.

Для таких систем возникают адекватные задачи по разработке и анализу моделей и методов оптимального распределения ограниченных ресурсов в условиях конфликтных ситуаций с полной противоположностью интересов (целей) конкурирующих сторон. Для решения конфликтных задач привлекаются эвристические приемы и методы, роль которых все более возрастает с повышением сложности исследуемой проблемы. Здесь может возникнуть два типа задач:

1. Достижение целей любой ценой (достижение любых целей), что связано с планированием, а значит, расходом сравнительно большого количества ресурсов. Настолько хорошо или плохо спланированы эти мероприятия, настолько малы или велики будут затраты ресурсов. Однако стараясь все же свести затраты к минимуму, задачу достижения поставленной цели сводят к математической минимизации целевой функции при некоторой системе ограничений.

2. При заданном объеме ресурсов требуется так спланировать систему мероприятий по его реализации (распределения ресурса), чтобы обеспечить наибольшую степень достижения целей [6].

Эти задачи относятся к экстремальным оптимизационным задачам при наличии ограничений на переменные (ресурс) или без них. Промежуточное положение занимает задача динамического управления. Эти задачи относятся к задачам математического программирования.

Целевая функция (критерий) отражает цель операции, а ограничения учитывают основные условия, в которых будет проходить операция (допустимая область решения задачи). Если в результате реализации планируемой системы мероприятий (стратегии распределения ресурса) одна сторона встречает противодействие другой, которая имеет противоположные цели (мешает), то необходимо учитывать противодействие этой стороны и степень ее информированности. Очевидно, что в этом случае формальная по-

становка задачи усложняется и приобретает «игровой» тип задач по оптимальному распределению ресурсов. Для формальной постановки задачи достаточно задать платежные функции противодействующих сторон и их возможные способы действия.

Результаты решения зависят от содержательной постановки и уровня иерархии задачи и содержат:

- оптимальное соотношение различных видов средств конкурирующих систем (стратегии распределение ресурсов);
- оптимальные способы функционирования противодействующих сторон (стратегии управления). При формулировке задач игровой модели необходимо обязательно учитывать условие целочисленности, которое существенно влияет на методы решения и точность полученных результатов.

Список используемых источников

1. Горбачева М. А., Сагдеев А. К. Проблемы обеспечения защищенности инфотелекоммуникационной сети военного назначения при ведении информационной войны // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. Ростов-на-Дону: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015. С. 426–429.
2. Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А., Тихомиров Д. А. Применение теории игр для исследования радиоэлектронного конфликта // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 4. С. 518–521.
3. Кощеев А. В., Лашин Ю. Ф., Сагдеев А. К., Халепа С. Л. Вопросы конфликтологии в системах военного назначения // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 1–2. С. 27–31.
4. Назарова О. Ю., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В., Шилина А. Н. Совершенствование методики количественной оценки угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем и сетей // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2021. № 2. С. 77–84.
5. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Обоснование использования боевых кибернетических систем в информационном противоборстве // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 06/2. С. 105–107.
6. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Содержательное описание модели конфликта информационно-телекоммуникационных систем специального назначения в киберпространстве // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 06/2. С. 108–112.

УДК 355/359.07
ГРИТИ 49.47.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ФЕЛЬДЪЕГЕРСКО-ПОЧТОВОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БКУТС

В. В. Загорельский, А. А. Марченков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Ежедневно от Почты России станции ФПС в зоне специальной военной операции принимаются более 1000 почтовых отправок от родных и близких людей общим весом до 7 тонн. В целях организации такого большого объема работы по доставке почтовых отправок сформирован специальный отдел почтовой связи (обработки, экспедирования и перевозки почтовых отправок Москва-300, Москва-400, Москва-500).

В целях организации личной переписки военнослужащих в воинские части группировок было доставлено более 2 млн. маркированных почтовых конвертов. В этих условиях роль фельдъегерско-почтовой связи переоценить сложно, а работа воинских почтальонов воинских частей становится незаменимой.

фельдъегерско-почтовая связь, интерактивные методы обучения, учебный процесс

Сфера военно-профессиональной деятельности студентов, проходящих обучение по программе военной подготовки офицеров запаса, включает организацию боевого применения узлов и станций фельдъегерско-почтовой связи (ФПС), военной техники связи, руководство подразделением при комплексном решении задач в боевой и повседневной деятельности в мирное и военное время. Эти знания студенты получают на занятиях по военно-профессиональным дисциплинам в военном учебном центре. Современные реалии потребовали применения инновационных технологий обучения, позволяющих ускорить подготовку специалистов для войск связи, значительно повысить эффективность учебного процесса. При проведении занятий профессорско-преподавательским составом Цикла фельдъегерско-почтовой связи активно применяется Программно-аппаратный комплекс руководителя и специалиста из состава базового комплекта учебно-тренировочных средств (БКУТС). Данный комплекс является интегрирующей основой интенсивной технологии обучения, обеспечивающей комплексное применение важнейших принципов обучения с ведущей ролью принципа активности. С помощью этого комплекса студенты приобретают практические навыки в эксплуатации различных радиосредств тактического звена управления (рис. 1).



Рис. 1. Работа на электронном тренажере БКУТС

Данные радиосредства (Р-168 5УН-2, Р-168 25У) входят в состав аппаратных ФПС, и все студенты обязаны уметь ими пользоваться. Используя электронные тренажеры БКУТС [1] студенты приобретают практические навыки в работе на УКВ радиостанциях, что экономит ресурс действующих станций.

В повседневной деятельности специалистам ФПС приходится обрабатывать большой объем входящей и исходящей воинской корреспонденции, заполняя при этом много учетных регистрационных форм документов. Поэтому будущие начальники станций ФПС и экспедиторы фельдъегерских отделений должны знать, как это делается и уметь собственноручно их заполнять. На каждом групповом занятии студенты выполняют практические действия по заполнению 6-8 бумажных бланков документов. А если умножить на количество студентов в учебном взводе (в группе офицеров запаса 24, в группе солдат запаса 36 человек), в неделю на две группы уходила пачка бумаги А4. Перевод учетных документов ФПС в электронный вид позволил загрузить эти документы в компьютеры БКУТС и проводить занятия с высокой интенсивностью без материальных затрат (рис. 2).

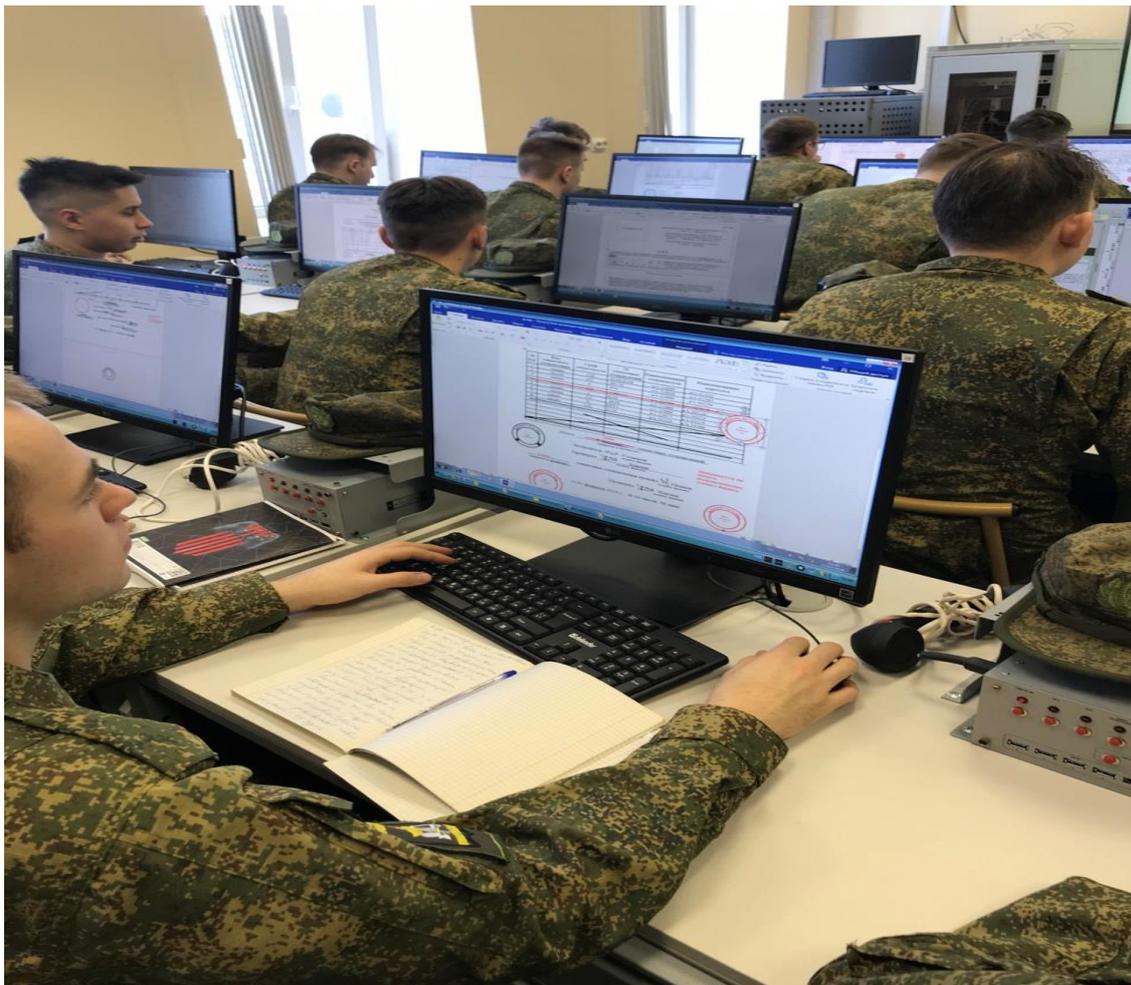


Рис. 2. Групповое занятие по военно-специальной подготовке с использованием БКУТС

Интерактивные методы в обучении необходимо широко использовать при подготовке всех специалистов для войск связи. При использовании данного метода главной целью является направление и координация работы обучаемого, для достижения целей учебного процесса в максимально короткие сроки [2]. В условиях ведения боевых действий использовать электронные способы передачи личной, а подчас и служебной информации не представляется возможным по ряду объективных причин. Поэтому уметь правильно адресовать корреспонденцию, чтобы она дошла до места назначения и в срок, очень важно. Проверять правильность оформления воинских почтовых отправок в подразделении обязан воинский почтальон. Должностей воинских почтальонов и уполномоченных воинской части в частях и подразделениях нет. Выполняют эти обязанности специально обученные военнослужащие. А вот их подготовка ложится на командный состав, и не всегда командиры обладают необходимыми знаниями в организации фельдъегерско-почтовой связи. В цикле ФПС ведется работа по созданию обучающей программы подготовки воинского почтальона (рис. 3).

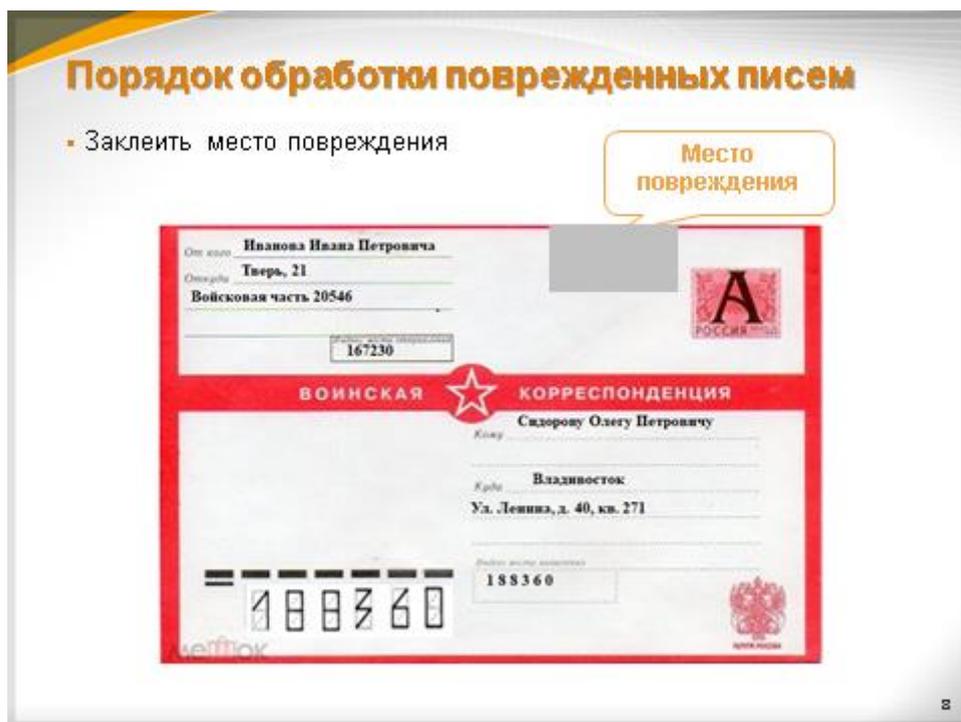


Рис. 3. Фрагмент программы подготовки воинского почтальона

Используя ее, можно в течение короткого времени (2–3 часа) подготовить внештатного воинского почтальона, способного не только проверить правильность оформления воинских почтовых отправлений, но и научить военнослужащих своего подразделения правильно адресовать корреспонденцию. Апробация первых результатов прошла во время учебного сбора студентов на узле ФПС объединения. Специалистами узла дан положительный отзыв на данное направление работы, так как ничего подобного пока в войсках связи нет.

Список используемых источников

1. Программно-аппаратный комплекс руководителя и специалиста из состава базового комплекта учебно-тренировочных средств. Техническое описание. Рязанский радиозавод, 2018.

2. Польской В. С., Польская Г. А. Роль и значение интерактивных занятий для активизации познавательной деятельности обучающихся в вузе // Университетская наука: взгляд в будущее: сб. науч. трудов по материалам междунар. науч. конф., посвященной 83-летию Курского государственного медицинского университета (Курск, 2 февраля 2018 года). Курск: Изд-во КГМУ, 2018. С. 498–500.

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры Проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи, кандидатом технических наук, полковником А. В. Брыдченко.

УДК 004.725
ГРНТИ 49.33.29

ТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, РАЗВЕРТЫВАЕМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ В ХОДЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ЛИКВИДАЦИИ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Р. В. Заикин¹, А. М. Прядкин¹, Д. В. Степынин²

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

² Санкт-Петербургский университета противопожарной службы МЧС России

Вопросы создания наиболее стабильных, надежных, недорогих и простых систем связи остаются актуальными и в наше время. В данной статье рассматриваются возможности, особенности и перспективы использования самоорганизующихся сетей на примере Mesh- и MANET-сетей, а также протоколов, с помощью которых они могут быть реализованы. Также проводится их сравнительная характеристика с целью определения наиболее подходящего протокола для использования в самоорганизующихся сетях и, в частности, в системах связи специального назначения.

системы связи специального назначения, самоорганизующиеся сети, mesh-сети, MANET-сети

В настоящее время большую значимость имеют беспроводные сети связи, применение которых обеспечивает передачу большого количества данных без использования проводов, что и привлекает пользователей, которые заинтересованы в обеспечении безопасной, устойчивой, мобильной и доступной связи.

Для систем связи специального назначения предлагается применять MANET и Mesh-сети [1, 2], которые показывают высокую эффективность, и как следствие являются одним из векторов развития в области беспроводных сетей. Такие сети применяются и в Вооруженных силах, например, в США они используются для обеспечения соединения персональных устройств передачи данных – в основном, защищенных ноутбуков, но при этом, к сожалению, они не получили широкого охвата в Вооруженных силах Российской Федерации, хотя данные топологии отличаются от остальных рядом преимуществ [3]. С каждым днем к сетям связи специального назначения (СССН) предъявляются все большие требования, поэтому вопрос об оптимальном выборе сети связи как никогда актуален.

(Mesh-сеть) – сеть ячеистой структуры, состоящая из беспроводных статичных маршрутизаторов, создающие беспроводную зону покрытия мобильных и стационарных абонентов, имеющих доступ к одному из маршрутизаторов [2].

Ячеистая сеть представляет собой многосвязный граф, состоящий из клиентских устройств и узлов, которые образуют основу сети (рис. 1). Узлы способны автоматически создавать маршруты передачи данных при соединении друг с другом. Они также могут обнаруживать сбои в соседних узлах или появление новых узлов, что приводит к автоматической перестройке маршрутов. Ячеистые сети становятся все более популярными из-за их гибкости: не требуется проводить кабели между узлами, следовательно, топология сети может легко меняться при перемещении, удалении или добавлении узлов. Чем больше узлов установлено, тем сеть становится более масштабируемой и быстрой. Они удобны, где отсутствуют сетевые соединения Ethernet, такие как районы сосредоточения войск (сил) или полевые районы технического и материального обеспечения. Кроме того, они полезны в сетях с ограниченной линией видимости (NLoS), где беспроводные сигналы могут быть затронуты, также технологии mesh – сетей могут оказаться весьма полезными в условиях чрезвычайной ситуации, в случаях, несколько узлов находятся непосредственно в ее зоне, и связываются с другими узлами, которые располагаются вне зоны чрезвычайной ситуации, таким образом обеспечивается устойчивая связь и необходимый и быстрый сбор информации в тяжелых условиях. Например, в лесистой и горной местности может блокировать сигнал от точки доступа. Тем не менее, имея десятки или сотни других узлов, сеть Mesh способна адаптироваться для получения сигнала с минимальными помехами.

Сети Mesh являются адаптивными, позволяя добавлять новые узлы в существующую инфраструктуру без вмешательства администратора. Они автоматически находят наиболее быстрые и наиболее надежные маршруты передачи данных, даже если узлы заблокированы или теряют сигнал. Беспроводные mesh-конфигурации позволяют локальным сетям работать быстрее, так как все устройства являются элементами обмена без применения центрального сервера. Технология Mesh также повышает надежность сети, позволяя клиентам переключаться между точками доступа, если текущая перегружена или недоступна. Все эти возможности создают недорогие, бесшовные и простые решения для создания беспроводных сетей PAN, LAN или WAN, улучшая общую производительность и доступность сети.

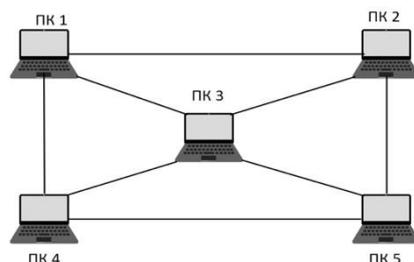


Рис. 1. Mesh-топология

В Mesh-сетях трафик динамически распределяется между узлами для обеспечения оптимальной передачи сигнала к маршрутизатору на границе зоны покрытия. Направление трафика зависит от различных факторов, таких как минимальное количество "хопов" между узлами, их загруженность и приоритеты трафика. Следовательно, Mesh – сеть способна автоматически адаптироваться к различным условиям и оптимизировать маршруты.

MANET (Mobile Ad hoc Network) – это беспроводные, децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств, способных устанавливать соединения между произвольными узлами. Каждое устройство может независимо перемещаться в любом направлении, а, следовательно, часто разрывать и устанавливать соединения с соседними устройствами (рис. 2).

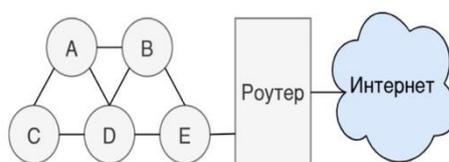


Рис. 2. Структура MANET-сетей

Сети MANET (децентрализованные самоорганизующиеся мобильные сети) обладают следующими преимуществами:

- передача данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика;
- устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети путем добавления новых устройств;
- быстрая реконфигурация в условиях воздействия противника средствами РЭБ и сложной помеховой обстановки (электромагнитной);
- относительная простота и высокая скорость развертывания элементов в системах связи специального назначения.

Сети MANET являются самоорганизующимися, поскольку их узлы выполняют не только функции конечных пользователей, но также работают как ретрансляторы-маршрутизаторы, пересылая пакеты других абонентов и участвуя в поиске оптимальных маршрутов для доставки данных. Таким образом, сети MANET способны к самостоятельной организации и могут содержать тысячи узлов, что делает их удобными для применения в специализированных системах связи. В определенных ситуациях они могут представлять собой альтернативу обычным массовым мобильным сетям, благодаря их независимости и способности обеспечивать связь в обстановке с ограниченной сетевой инфраструктурой. MANET-сети находят применение в условиях повышенного риска, поисково-спасательных операциях, тактических военных действиях, а также в местах скопления войск, например, в боевых и военных операциях. Активное применение в системах связи специального назначения могут найти следующие протоколы самоорганизующихся сетей.

Zigbee – это спецификация сетевых протоколов верхнего уровня, использующих сервисы нижних уровней – уровень управления доступом к среде MAC и физический уровень РНУ, соответствующие стандарту IEEE 802.15.4. Zigbee и IEEE 802.15.4 обеспечивают функционирование беспроводных персональных сетей (WPAN).

Bluetooth – это беспроводная технология, которая позволяет устройствам, таким как ноутбуки, мобильные телефоны и прочие, обмениваться информацией на близких радиочастотах. Bluetooth позволяет устройствам взаимодействовать в пределах около 100 м (для более старых версий протокола) и до 1500 м, начиная с версии Bluetooth 5 и выше (рис. 3).

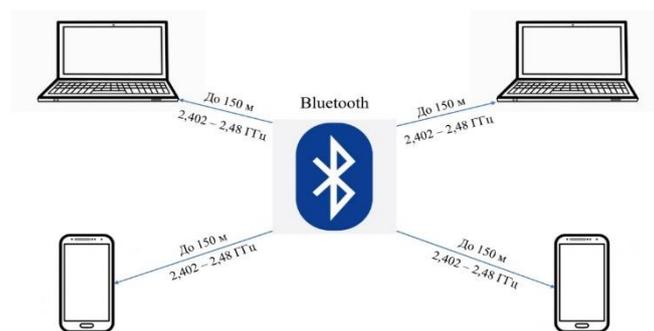


Рис. 3. Дальность действия и частоты, используемые в технологии Bluetooth

UWB (Ultra-Wide Band) – это беспроводная технология связи, разработанная для работы на коротких расстояниях с низким потреблением энергии. Она использует сверхширокополосные сигналы с крайне низкой спектральной плотностью мощности.

Wi-Fi работает как технология беспроводной локальной сети, использующей стандарты IEEE 802.11. Основные диапазоны частот Wi-Fi - 2,4 ГГц, 5 ГГц и 6 ГГц. Wi-Fi может передавать сигналы на значительные расстояния даже при низкой мощности передачи, однако для получения Wi-Fi сигнала с больших расстояний потребуется антенна с хорошим коэффициентом усиления (рис. 4).

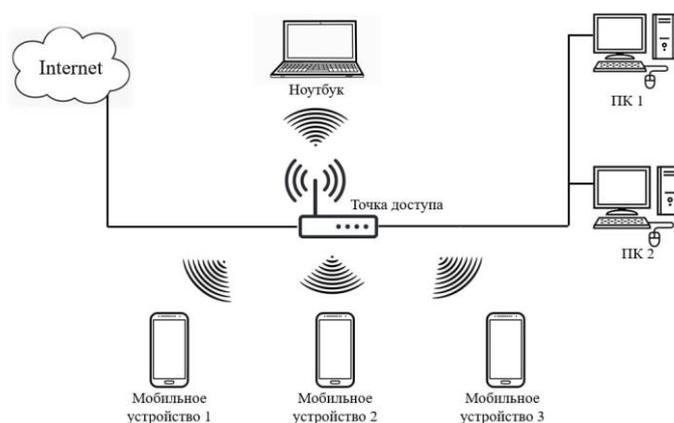


Рис. 4. Принцип работы Wi-Fi

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это телекоммуникационная технология, разработанная для обеспечения универсальной беспроводной связи на большие расстояния для широкого спектра устройств, начиная от рабочих станций и портативных компьютеров и заканчивая мобильными телефонами.

Z-Wave – это запатентованный беспроводной протокол связи, специально разработанный для использования в системах домашней автоматизации. Он предназначен для контроля и управления устройствами в жилых и коммерческих помещениях.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная таблица стандартов беспроводной связи

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	WLAN	до 1 Мбит/с	до 10 м	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3	WLAN	до 2,1 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
Bluetooth v. 3.0	802.11	WLAN	от 3 до 24 Мбит/с	до 100 м	2,4 ГГц
UWB	802.15.3a	WLAN	110—480 Мбит/с	до 10 м	7,5 ГГц
ZigBee	802.15.4	WLAN	от 20 до 250 кбит/с	1—100 м	2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов), 868 МГц (один канал)
WiMax 2	802.16m	WLAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WLAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	120—150 км (стандарт в разработке)	До 11 ГГц
WiMax	802.16d	WLAN	до 75 Мбит/с	25—80 км	1,5—11 ГГц
Wi-Fi	802.11ac	WLAN	до 1 Гбит/с	до 300 м	5 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 300 м	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбит/с	до 300 м	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбит/с (в перспективе до 600 Мбит/с)	до 300 м	2,4—2,5 или 5,0 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1—5 км	2,33—13,6 ГГц
Z-Wave	-	WLAN	До 100 Кбит/с	100-800 м	869 МГц

Сравнивая характеристики рассмотренных в табл. 1 технологий, можно сделать вывод, что технологии Bluetooth не подходят для использования в

системах связи специального назначения, так как имеют малый радиус действия, низкую скорость передачи данных, при их использовании могут возникать помехи в связи с используемым диапазоном частот, также они не защищены от несанкционированного доступа, аналогично, рядом недостатков, препятствующих использованию в СССН обладают технологии Zigbee, UWB и Z-Wave, в тоже время технологии Wi-fi имеют значительные преимущества по сравнению с другими, это и приемлемый радиус действия, и сопряжение с большим количеством устройств, и относительно высокую пропускную способность и т.д., технологии WiMax, однако, обладают похожими плюсами, но есть и существенные минусы в лице ограниченного распространения, высоких стоимости и энергопотребления базовых станций.

Следовательно, наиболее эффективным и востребованным вариантом для использования в СССН является технология Wi-fi, обладающая большим количеством преимуществ.

При этом объединение различных технологий в одном устройстве под «началом» MANET позволит обеспечить устойчивость в обмене данными между различными устройствами пользователей в СССН.

Список используемых источников

1. Что такое MANET или почему WiFi не решение всех телекоммуникационных проблем. Режим доступа: <https://habr.com/post/196562>.
2. Иванов В. Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи: Монография. СПб.: СПбПУ, 2018. 214 с.
3. Слюсар В. И. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008. № 4. 66–71.

УДК 378.4.
ГРНТИ 14.35.07

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВ ВОЕННО-ПРИКЛАДНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ У СТУДЕНТОВ ВУЦ

А. В. Иваненко, Т. А. Иваненко, И. Е. Кабаев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Цель представляемого исследования – поиск перспективных направлений с целью формирования компетенций в области физической культуры, ознакомление на практике с концепцией разработки учебно-методического обеспечения процесса обучения студентов военного учебного центра технического университета, как дидактического средства эффективного влияния на формирование качеств военно-прикладной направленности у студентов ВУЦ.

эффективность учебно-методического обеспечения, физическая культура, военно-прикладные навыки, студенты ВУЦ

В новых условиях развития современных образовательных технологий ставится задача формирования электронного учебно-методического комплекса (УМК), с учетом активизации усилий самих обучающихся в процессе обучения, деятельность которых имеет решающее значение, как равноправного участника образовательного процесса [1].

Данный вопрос решается посредством развития электронно-информационно-образовательной среды (ЭИОС) вуза, регулярного доступа к получению нужной информации, вовлечения обучающихся в процесс ее поиска.

Условиями эффективной разработки учебно-методического обеспечения (УМО) процесса обучения студентов военного учебного центра (ВУЦ) служат педагогические принципы и технологии, на основе которых выстраивается данная концепция.

Построение концепции разработки УМО обучения физической культуре (ФК) студентов ВУЦ основывается на использовании современных образовательных технологий, обусловлено применением новых форм, средств, перспектив обучения, направленных на формирование качеств военно-прикладной направленности у будущих военных специалистов.

Целью данной статьи является поиск решений эффективной разработки УМО процесса обучения, как фактора влияния, направленного на формирование качеств военно-прикладной направленности у студентов ВУЦ технического университета.

Следует учитывать, что дисциплины «Физическая культура и спорт», «Элективные дисциплины по физической культуре и спорту», изучаются студентами ВУЦ в техническом университете в одинаковом объеме, наряду со студентами всех других специальностей и направлений подготовки, на первых курсах обучения, в отличие от курсантов военных вузов, где физическая подготовка ведется на протяжении всего обучения, что расширяет возможности формирования военно-прикладных навыков на протяжении всего периода обучения.

До недавнего времени при разработке УМО процесса обучения студентов ВУЦ не учитывались специфика обучения ФК данного контингента обучающихся в техническом университете, уровень начальной физической подготовки, «недостаточная индивидуальная физическая подготовленность», недостаточное количество необходимых учебных часов для формирования военно-прикладных навыков [2].

Эффективное учебно-методическое обеспечение приравнивается к понятию «качественное учебно-методическое обеспечение» [3], разрабатывается на основе формальных и содержательных признаков, соответствует предъявляемым требованиям и потребностям.

Применение современных образовательных технологий в области физической культуры и спорта базируется на материалах научных исследований, рассматривается как перспективная модель современного обучения [4], отображает структуру, взаимосвязи, отношения между элементами (рис. 1).



Рисунок 1. Построение модели обучения с применением образовательных технологий

В ходе разработки УМО обучения студентов ВУЦ следует использовать необходимый порядок управления компонентами педагогической системы, для соответствия потребностям и требованиям, результата достижения необходимых компетенций и эффективного функционирования.

Критериями качества УМО процесса обучения ФК студентов ВУЦ служат: учет дидактических средств обучения, функций и возможностей применения, система контроля знаний и навыков, как единство качества специалиста и качества личности.

Представляется целесообразным обозначить структуру УМО процесса обучения на основе управленческого подхода, как гаранта качества обеспечения индивидуальной образовательной траектории, обеспечения реализации самостоятельной деятельности, направленной на совершенствование физических качеств и качеств военно-прикладной направленности у студентов ВУЦ. Современный УМК дисциплин включает: рабочую программу дисциплины, учебник, учебные пособия, курс лекций, учебно-методические пособия по практическим и самостоятельным занятиям, материалы для промежуточного контроля и итоговой аттестации.

Необходимым условием эффективности разработки УМО является управленческий подход, направленный на совершенствование организации учебно-методической работы с привлечением профессорско-преподавательского состава (ППС), создание учебно-методических разработок, выделение их производства в отдельный процесс.

Цель данного процесса – обеспечение необходимыми учебно-методическими материалами, в соответствии с учебным планом, РПД, прогнозированием учебно-методической работы ППС по разработке учебных изданий, на основе регламентирующих внутренних положений и внешних нормативных документов, принципов управления качеством.

Деятельность, основанная на механизме управления, позволяет обеспечить сбор данных и необходимых показателей для проведения анализа качества учебных материалов, выявления факторов совершенствования УМК, принятия корректирующих действий.

Качество учебных материалов УМК определяется психолого-педагогической экспертизой – включает соответствие заявленному виду учебного издания, соответствие содержания и структуры учебных материалов требованиям РПД; содержательной экспертизой – включает наличие названия дисциплины, наименования ФГОС, наименование направления подготовки, а также новизны содержания, актуальности, грамотности изложения материала.

Инновационный УМК реализуется управлением качества его наполнения, обеспечением учебного процесса итоговыми образовательными результатами.

Опираясь на научные труды ученых [5, 6, 7], следует отметить, что наряду с качеством результата обучения и качеством процесса обучения, определяющих качество учебной деятельности в целом, так же необходимо учитывать оценку качества условий, как одной из составляющих системы

качества процесса физической подготовки, влияющей на обеспечение образовательного процесса, меру удовлетворенности обеспечением как преподавателей, так и обучающихся.

Чтобы деятельность учебно-методического обеспечения функционировала как процесс, необходимо определить требования к ресурсам УМК, каким они должны удовлетворять для достижения результативности процесса; выявить нормативные документы и материалы, в которых описан процесс и требования к результатам, показателям измерений.

Таким образом, если процесс организации деятельности разработки УМО обучения ФК студентов ВУЦ будет качественно организован, гарантируется и эффективность реализации результата учебного процесса – формирование необходимых компетенций, физических качеств и качеств военно-прикладной направленности.

Поиск действенных механизмов повышения эффективности разработки УМО обучения ФК студентов ВУЦ порождает новые смыслы в избирательности взаимосвязей построения образовательной траектории будущих военных специалистов в образовательной среде технического университета. Требуется особый подход к организации процесса обучения ФК студентов ВУЦ, этапам проектирования деятельности, включающие: целеполагание в общей системе подготовки военных кадров и в рамках изучения конкретной учебной дисциплины; моделирование содержания занятий с практической военно-прикладной направленностью, формированием учебно-материальной базы и учебно-методического обеспечения.

Особую актуальность в новых условиях обучения приобретает самоорганизация обучающихся в постановке цели физического совершенствования, рассмотрение возможностей для формирования военно-прикладных навыков, осознанном управлении своей деятельностью, формирующей характер самостоятельного труда, направленного на решение задач физического самосовершенствования студентов ВУЦ, с учетом их предназначения психофизической готовности в течение всего жизненного цикла.

Таким образом, эффективность разработки УМО процесса обучения служит средством влияния к формированию физических качеств и качеств военно-прикладной направленности, расширяет возможности для самостоятельной деятельности студентов ВУЦ, построения образовательной траектории в ЭИОС вуза, способствует самосовершенствованию и самообразованию студента, как обязательных компонентов современного обучения.

Список используемых источников

1. Федеральный закон РФ от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», Глава 2. ст. 16. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70191362/> (дата обращения: 22.05.2024).

2. Грымзин К. А. Физическая подготовка студентов военного учебного центра и ее особенности // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2020. № 1(179). С. 114–117.

3. Пугачева Н. С. Педагогические условия разработки эффективного учебно-методического обеспечения // Балтийский морской форум: материалы междунар. Балтийского морского форума. Калининград, 5–19 октября 2020 г. С. 128–133.

4. Полат Е. С. [и др.]. Теория и практика дистанционного обучения: учебное пособие для вузов / под ред. Е. С. Полат. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 434 с. ISBN 978-5-534-13159-8.

5. Бордовская Н. В. [и др.] Критерии оценки эффективности смешанных образовательных технологий, применяемых в вузе // Интеграция образования, 2023. № 1(110). С. 64–81.

6. Шарухин А. П., Сапожников А. С. Учебная деятельность курсантов военных образовательных организаций высшего образования войск национальной гвардии РФ: критерии оценки качества // Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук, 2017. Т. 10, № 11 (11). С. 53–54.

7. Шарухина Т. Г. Качество образовательного процесса в военных институтах Росгвардии как фактор развития личностно-профессионального потенциала будущего офицера // Сборник научных статей II Межвузовской научно-практической конференции: Актуальные вопросы образовательной деятельности войск национальной гвардии. Саратов, 2023. С. 162–167.

УДК 378.4.
ГРНТИ 14.35.07

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА

Т. А. Иваненко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Повышение требований к профессиональной готовности специалистов обусловили актуальность формирования профессионально-значимых качеств студентов военного учебного центра, соответственно требований к физической подготовленности военнослужащих РФ. В статье рассмотрен вопрос эффективности учебно-методического обеспечения, как средства влияния на повышение уровня профессионально-прикладной физической подготовки. Представлены результаты тестирования студентов по выполнению упражнения «Наклон туловища вперед из положения лежа за 1 мин.». Определено положительное влияние учебно-методического обеспечения на уровень профессионально-прикладной физической подготовки обучающихся.

эффективность учебно-методического обеспечения, профессионально-прикладная физическая подготовка, студенты ВУЦ

В образовательном процессе вуза не придается должного значения специфике обучения студентов военного учебного центра (ВУЦ) в образовательной среде технического вуза, роли физической культуры (ФК) в формировании готовности к профессиональной деятельности [1].

Практика показывает, что организация занятий ФК не в полной мере отвечает современным требованиям формирования нужных физических качеств у студентов ВУЦ. Необходим функциональный подход к организации обучения ФК студентов ВУЦ, этапам проектирования, включающие: целеполагание в общей системе подготовки военных кадров и в рамках изучения конкретной учебной дисциплины; моделирование учебно-методического обеспечения (УМО) учебного процесса, формирование учебно-материальной базы [2, 3].

Введение в процесс обучения ФК студентов ВУЦ упражнений из Наставления по физической подготовке в Вооруженных Силах Российской Федерации, повлияет на приобретение необходимых профессиональных навыков. Направленному развитию физических качеств и формированию профессиональных навыков специалистов в вузе, способствует профессионально-прикладная физическая подготовка (ППФП).

Исследование уровня ППФП студентов ВУЦ выстраивается с учетом современных требований к будущим военным специалистам [4].

Основная идея исследования – повышение уровня ППФП, решается за счет эффективного УМО процесса обучения ФК, как дидактического средства влияния на формирование значимо важных профессиональных качеств, мотивацию студентов ВУЦ к самосовершенствованию.

В целях повышения готовности студентов ВУЦ к предстоящей профессиональной деятельности, ставятся задачи: рассмотреть пути реализации УМО процесса обучения ФК на основе управленческого подхода; опытно-экспериментальным путем определить уровень ППФП обучающихся.

Использованы следующие методы исследования: теоретические – анализ научно-методической литературы; экспериментальные – тестирование уровня ППФП по показателю выполнения упражнения «Наклон туловища вперед из положения лежа за 1 мин.»; методы математической статистики.

Контингент испытуемых составили студенты ВУЦ двух групп второго курса технического университета: контрольная группа (КГ) 22 человека – юноши, занимающиеся по традиционной программе; экспериментальная группа (ЭГ), 11 человек – юноши и 2 – девушки, с опорой на активную самостоятельную работу, использованием ресурсов учебно-методического комплекса (УМК) в процессе самосовершенствования.

В учебном процессе были применены современные технологии при построении индивидуальных образовательных траекторий студентов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) вуза с использованием учебных изданий УМК, контролем за результатом формирования необходимых физических качеств.

В качестве контроля за уровнем ППФП использованы данные результатов тестирования студентов ВУЦ по выполнению упражнения «Наклон туловища вперед из положения лежа за 1 мин.» [4] (рис. 1).



Рис. 1. Гистограмма анализа тестирования уровня ППФП студентов ВУЦ по показателю выполнения упражнения «Наклон туловища вперед из положения лежа за 1 мин.»

Полученные данные обрабатывались с помощью методов математической статистики: максимального, минимального, среднего значения. Пределы вариации – минимальное и максимальное значение в выборочной совокупности, указали на границы варьирования признака, δ (7,95).

Сравнительный анализ полученных результатов в тестировании был проведен с показателями данных таблицы «Дополнительные тесты по определению оценки уровня ППФП студентов ВУЦ», разработанной кафедрой ФК СПбГУТ (табл. 1). Среднее значение показателя уровня ППФП (39,59; 41,54) в обеих группах соответствует 3-м баллам и выше, что указывает на сформированность приемлемого уровня ППФП у студентов ВУЦ.

ТАБЛИЦА 1. Дополнительные тесты по определению оценки уровня ППФП студентов ВУЦ

№ п/п	Упражнение	Баллы				
		1	2	3	4	5
1	Наклон туловища вперед из положения лежа (кол-во раз, за 1 мин., юноши)	26	32	38	44	50
2	Наклон туловища вперед из положения лежа (кол-во раз, за 1 мин., девушки)	18	22	26	32	36

Исходя из данных результатов опытно-экспериментального исследования следует, что и в ЭГ, и в КГ, уровень ППФП соответствует нормативным зачетным требованиям, тем не менее, данные показателей уровня ППФП в ЭГ выше – 51 %, против 49 % в КГ, что указывает на мотивационную составляющую, активное использование ресурсов УМК в процессе самосовершенствования студентов ВУЦ.

Таким образом, определено положительное влияние УМО процесса обучения ФК на основе управленческого подхода, как эффективного средства повышения уровня ППФП студентов ВУЦ, способствующего формированию необходимых физических качеств, мотивации к самосовершенствованию и готовности к профессиональной деятельности.

Список используемых источников

1. Мустафин М. Р., Прошлецов А. А., Селютин К. А., Черненко А. В., Шартдинов А. Ш., Иванова А. Д. Вопросы обучения и формирования военно-прикладных навыков у студентов военного учебного центра // Научное обозрение. Педагогические науки, 2018. № 2. С. 20–25. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1747> (дата обращения: 05.03.2024).

2. Иваненко Т. А., Кабаев И. Е., Иваненко А. В. Взаимосвязь учебно-методического обеспечения и Профессионально-прикладной физической подготовки студентов военного учебного центра // Актуальные технологии теории, методики и практики физической подготовки и спортивной работы в войсках национальной гвардии Российской Федерации и силовых структурах. Материалы Всероссийской научно-практической конференции Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2023. С. 62–68.

3. Шарухин А.П. Творческая деятельность преподавателя в процессе подготовки занятий с курсантами на основе управленческого подхода. / А.П. Шарухин, Т.Г. Шарухина // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта, 2019. № 4(170). С. 358–362.

4. Об утверждении Наставления по физической подготовке в Вооруженных Силах Российской Федерации: Приказ Министра обороны РФ от 20 апреля 2023 года № 230. URL: <https://tsutmb.ru/files/army/normativno-pravovie/nfp2023.pdf?ysclid=lnyvbtk21a291980347> (дата обращения 19.10.2023).

Статья представлена заведующим кафедрой ФК СПбГУТ, кандидатом педагогических наук, доцентом А. В. Иваненко.

УДК 378.4.
ГРНТИ 14.35.07

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ ОХВАТА ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ СТУДЕНТОВ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА

Т. А. Иваненко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие и реорганизация военного образования актуализируют проблему учебно-методического обеспечения процесса обучения физической культуре студентов военного учебного центра. Проанализированы подходы к определению его сущности, как средства методического, технологического и технического сопровождения учебного процесса. Представлены: карта обеспеченности дисциплин, показатель процентного обеспечения по охвату целевой аудитории студентов военного учебного центра на основе данных распределения объема занятий, определяющие эффективность обеспечения учебного процесса. Предложены условия повышения эффективности учебно-методического обеспечения.

эффективность учебно-методического обеспечения, физическая культура, студенты ВУЦ

Преобразования в системе военного образования, создание военных учебных центров, в целях повышения эффективности подготовки военных кадров по приоритетным направлениям и специальностям, требуют совершенствования профессиональной подготовки специалистов.

Поиск путей решения данной проблемы обозначили понимание необходимости обеспечения физической подготовленности данной категории обучающихся, в соответствии с требованиями руководящих документов Министерства обороны [1].

Начиная с 2015 года, началась цифровизация российского военного образования, активно создавались электронные библиотеки, другие информационные материалы. Высокие темпы развития информационных технологий, создание электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС), позволяют формировать эффективную подготовку специалистов с применением в учебном процессе новых учебно-методических разработок.

Посредством ЭИОС, обучающиеся могут получать и участвовать в процессе поиска знаний, используя доступ к ресурсам электронной библиотечной системы (ЭБС) вуза, в любое время. Созданием цифровой образовательной среды обеспечиваются условия для построения индивидуальных образовательных траекторий студентов.

Основополагающая роль в удовлетворении познавательной деятельности студента в процессе изучения дисциплин отводится учебно-методическому обеспечению (УМО).

Многообразие подходов к определению сущности УМО процесса обучения свидетельствует о недостаточной разработанности проблемы в педагогической теории и практике [2, 3].

При технологическом подходе, содержание учебно-методического обеспечения, характеризуется качеством информационной среды, с особенностями проектирования и построения, при дидактическом – деятельностью преподавателя, с определением цели, задач, путей реализации и управлением учебным процессом [2].

С точки зрения понимания содержания УМО как средства методического, технологического и технического сопровождения учебного процесса, наиболее важным представляется дидактический подход.

В данной работе ставится цель проанализировать содержание и эффективность УМО процесса обучения физической культуре (ФК) по охвату целевой аудитории студентов ВУЦ технического университета.

В исследовании использовались следующие методы: анализ, обобщение, описание.

Под учебно-методическим обеспечением следует понимать создание необходимых учебно-методических документов, учебных изданий и других дидактических средств для активации познавательной деятельности студента.

Содержание УМО определяется требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

В структуру УМО, в соответствии требований ФГОС к обязательному минимуму содержания дисциплины и ее трудоемкости, входят основные компоненты, такие как: рабочая программа дисциплины (РПД), определяющая содержание учебного курса, учебно-методические материалы, система контроля знаний, методические указания и рекомендации по реализации дисциплины в образовательном процессе вуза.

Представленная карта показывает полную характеристику структуры УМО дисциплин «Физическая культура и спорт» (ФКиС), дисциплин по выбору «Элективные дисциплины по физической культуре и спорту» (ЭДФКС) в техническом университете (табл. 1).

Эффективность УМО определяется совокупностью компонентов, сформированностью учебно-методического комплекса (УМК), степенью обеспеченности учебной дисциплины.

УМК формируется с целью обеспечения учебно-методической литературой для решения учебно-воспитательных задач, в рамках изучаемой дисциплины. Организация планирования комплекса, определяются основными положениями Руководства по формированию УМК дисциплин «ФКиС» и «ЭДФКС», планированию, подготовки к выпуску и выпуска учебных изданий,

разработанного кафедрой ФК в СПбГУТ (2021): отвечать требованиям ФГОС, соответствовать РПД, быть рекомендованными к изданию кафедрой ФК. При планировании УМК, предварительно проводится анализ обеспеченности учебной литературой, с учетом переиздания изданий, успешно используемых в учебном процессе и перспектив развития образовательного процесса.

ТАБЛИЦА 1. Карта обеспеченности дисциплин «ФКиС», «ЭДФКС»

№	Материалы	Информация по выполнению	
		Кейсовый вариант	Кейсовый вариант
1	Рабочая программа дисциплины	Имеется	Имеется
1.1	Фонд оценочных средств к РПД	Имеется	Имеется
2	Учебные издания (учебник, учебные пособия)	Имеется	Имеется
3	Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов	Имеется	Имеется
4	Материалы для контроля знаний (тестовые задания, контрольные вопросы)	Имеется	Имеется
5	Рекомендуемая литература по дисциплине	Имеется	Имеется

Степень обеспеченности УМК определяется соответствием объема и содержания учебных изданий, к общему числу выделяемых часов для освоения дисциплин, на основе требований ФГОС ВО.

Ежегодное планирование и формирование учебными изданиями УМК дисциплины, осуществляется кафедрой ФК и включает сведения, определяющие в совокупности степень обеспеченности УМК:

- вид и объем занятий;
- наименование учебных изданий;
- год выпуска издания, количество п.л.;
- наличие в ЭБС;
- процент обеспечения охвата по количеству человек.

Объем занятий ФК в вузе (по видам) составляет 400 ч. (ФКиС – 72 ч.; ЭДФКС – 328 ч.), в том числе:

- лекции (ФКиС – 18 час.);
- практические занятия (ФКиС – 36 ч., ЭДФКС – 132 ч.);
- самостоятельные занятия (ФКиС – 17,75 ч.; ЭДФКС – 195,25 ч.);
- промежуточная аттестация (ФКиС – 0,25 ч.; ЭДФКС – 0,75 ч.).

Показатель процентного обеспечения по охвату целевой аудитории студентов ВУЦ, на основе данных распределения объема занятий, представлен на рисунке 1.

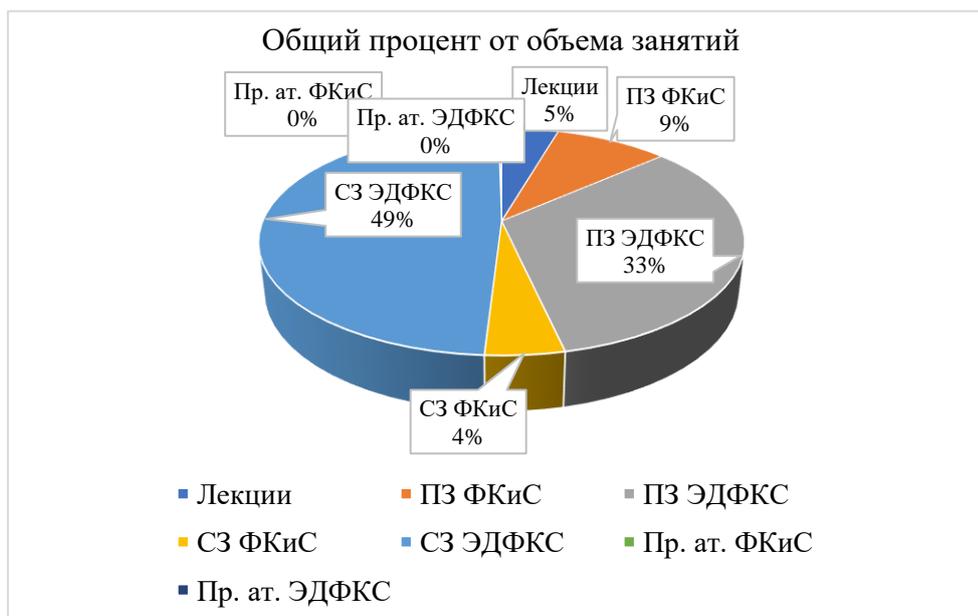


Рис. 1. Показатель процентного обеспечения охвата целевой аудитории студентов ВУЦ по распределению объема занятий

Анализ планирования и формирования УМК, посредством карты обеспеченности дисциплин «ФКиС» и «ЭДФКС», в совокупности с данными показателей процентного обеспечения по распределению объема занятий, показывает полный охват целевой аудитории студентов ВУЦ.

Учитывая современные требования к профессиональной подготовке специалистов, и с целью повышения эффективности УМО процесса обучения ФК студентов ВУЦ, предлагается использовать авторские методические разработки, гипертекстовые технологии для быстрого реагирования на нормативно-правовые изменения. Так, в 2024 г. коллективом авторов кафедры запланировано и готовится к переизданию учебное пособие для данной категории обучающихся в СПбГУТ, на основе изменений в Наставление по физической подготовке в Вооруженных Силах РФ № 230 (2023).

Таким образом, кафедрой ФК разработан и функционирует УМК по всем разделам дисциплин «ФКиС», «ЭДФКС», с учетом современных требований, направленный на саморегуляцию учебно-познавательной деятельности студентов ВУЦ.

Анализ и обобщение показателей состояния УМО указывает на то, что ежегодное планирование УМК, посредством карты обеспеченности дисциплин «ФКиС», «ЭДФКС» и данных показателей распределения объема занятий, определяют степень обеспеченности учебными изданиями по охвату целевой аудитории и влияют на эффективность УМО.

Список используемых источников

1. Мустафин М. Р., Прошлецов А. А., Селютин К. А., Черненко А. В., Шартдинов А. Ш., Иванова А. Д. Вопросы обучения и формирования военно-прикладных навыков у студентов военного учебного центра // Научное обозрение. Педагогические науки, 2018. № 2. С. 20–25; URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=1747> (дата обращения: 25.01.2024).

2. Коряпаева Ю. В., Титов И. Ю. Компоненты электронного учебно-методического комплекса и их дидактическая роль в процессе организации и осуществления учебной деятельности // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. 2016. № 5–1. С. 151–152.

3. Шалыгина И. В. Учебно-методический комплекс дисциплины как дидактический объект // Отечественная и зарубежная педагогика. 2012. № 5. С. 170–177.

Статья представлена заведующим кафедрой ФК СПбГУТ, кандидатом педагогических наук, доцентом А. В. Иваненко.

УДК 681.142
ГРНТИ 49.01.85

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. С. Ковалёв, С. Б. Ногин, О. И. Пантюхин, В. В. Пащенко

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Для достижения цели функционирования систем связи и автоматизации специального назначения предлагается трехуровневая модель системы мониторинга состояния техники связи и автоматизации. Ее внедрение позволит минимизировать недостатки существующей в настоящее время системы мониторинга, уменьшить влияние человеческого фактора при формировании данных, учитывать дезинтеграционные воздействия процессов, протекающих в образцах техники.

система специального назначения, техническое обеспечение связи и автоматизации, мониторинг состояния техники связи и автоматизации, модель

Для достижения цели функционирования системы специального назначения (ССН) она, как и любая другая организационно-техническая система, имеет в своем составе систему управления, должностные лица которой решают различные информационные и расчетные задачи, используя средства систем связи и автоматизации [1].

Обеспечение ССН техникой связи и автоматизации, а также поддержание этой техники в работоспособном состоянии и постоянной готовности к применению, восстановление и возвращение в строй при повреждениях и эксплуатационных отказах возлагается на систему технического обеспечения связи и автоматизации (ТОСА).

Цель функционирования системы ТОСА достигается путем решения следующих задач: обеспечение ССН техникой связи и автоматизации; поддержание этой техники в работоспособном состоянии в соответствующей степени готовности к применению по назначению; восстановление работоспособности техники связи и автоматизации в ходе ремонта и технического обслуживания [2].

Из вышесказанного следует, что система технического обеспечения связи и автоматизации является достаточно сложной организационно-технической системой, эффективно управлять которой без знания состояния составляющей ее элементов просто невозможно. Для этой цели как раз и предназначена система мониторинга состояния техники связи и автоматизации.

Сегодня совершенствование системы связи, а значит и системы ТОСА, осуществляется на основе широкого внедрения современных информационных и телекоммуникационных технологий за счет поставок новых и перспективных образцов техники связи и автоматизации управления.

Чем сложнее и масштабнее планируемые мероприятия, тем важнее становятся научные методы, позволяющие заранее оценить последствия каждого решения, отбросить недопустимые варианты и рекомендовать наиболее предпочтительные. При этом очень важно понять, достаточна ли имеющаяся информация для принятия правильного решения, и, если нет, то какую именно информацию нужно получить дополнительно.

Использование современных вычислительных средств при проведении технического обслуживания и ремонта образцов техники, а также при выполнении всех мероприятий технической эксплуатации, требующих оценки их технического состояния, позволит накапливать, хранить и проводить анализ данных о реальном техническом состоянии техники связи и автоматизации (ТСА), включая результаты объективного контроля. Очевидно, что внедрение автоматизированной информационной системы (АИС) существенно упростит решение этих задач. При этом появится возможность обеспечить максимальную объективность данных о техническом состоянии техники, что позволит более точно прогнозировать его изменения и эффективно планировать, и проводить практически все мероприятия ТОСА.

В рамках же мониторинга технического состояния техники связи и автоматизации осуществляется сбор, систематизация, анализ и представление информации об обеспеченности ССН такой техникой, техническом состоянии ее образцов, организации их эксплуатации и ремонта, качестве и своевременности проведения плановых работ по техническому обслуживанию и ремонту [3].

Возможность современных АИС функционировать в различных телекоммуникационных сетях, позволит объединить их информационные ресурсы в единую информационную систему, ориентированную на решение задач, стоящих как перед системой ТОСА, так и перед автоматизированной системой управления ССН в целом.

Следует отметить, что наиболее правильным, а, зачастую и единственным, способом совершенствования системы ТОСА, а значит и системы мониторинга состояния ТСА, является моделирование.

На основании вышеизложенного в основу модели системы мониторинга состояния техники связи и автоматизации специального назначения положена трехуровневая система: тактический уровень, оперативный уровень и стратегический уровень [3].

На тактическом уровне диагностическая информация о техническом состоянии образцов ТСА будет передаваться на автоматизированное рабочее место, установленное на пункте управления связью данного уровня.

Здесь объектами контроля будут выступать: антенно-фидерные устройства, волоконно-оптические линии связи, оптические коммутаторы, каналообразующая аппаратура, аппаратура специальных сетей, абонентские устройства. Данная информация будет использоваться как для определения фактического технического состояния образцов на данный момент, так и прогноза его дальнейшего изменения по отклонению контролируемых параметров. Для уменьшения объемов передаваемой информации необходимо определить только те параметры, которые начинают отклоняться от заданных диапазонов нормальной работы, даже если они пока не выходят за обозначенные границы, однако из-за отсутствия должного внимания, могут повлиять на работоспособность образца в дальнейшем.

Полученные от АИС данные должны сохраняться в локальной базе данных и обновляться с периодичностью и временем хранения, определенными должностными лицами системы мониторинга. Эта информация может быть использована как основа для прогнозирования технического состояния образца, так и как основа для планирования проведения технического обслуживания и ремонта, с целью минимизации вероятности возникновения кризисных ситуаций на образцах техники связи и автоматизации, задействованных для обеспечения действующих связей.

При использовании АИС результаты проведенных измерений и оценка технического состояния ТСА автоматически изменят или сохранят статус качественного состояния образца, который должен отражаться в формуляре образца такой техники в табличном формате. Из содержания получаемой измерительной информации и рассматриваемого формуляра образца, ведущегося в электронном виде, для формирования запроса о состоянии техники связи и автоматизации будет доступна информация с максимальной детализацией, вплоть до количественных значений отдельных параметров.

Автоматизированное рабочее место должностного лица системы технического обеспечения связи и автоматизации тактического уровня должно использоваться при планировании мероприятий ТОСА, ведении электронных паспортов на каждый образец техники, составлении отчетных документов для представления в вышестоящие органы управления, автоматизированном обмене информацией о состоянии ресурсов системы (наличия запасных частей и принадлежностей, сил и средств технического обслуживания и ремонта, доставки и эвакуации).

На автоматизированном рабочем месте оперативного уровня уже будет выводиться информация о техническом состоянии техники связи и автоматизации за починенные подразделения системы ТОСА тактического уровня, которые находятся в режиме непрерывного использования, а также о состоянии каналов и трактов, с возможностью контроля отдельных параметров в режиме реального времени.

Данные объективного контроля технического состояния образцов должны заноситься в локальную базу данных, которая будет функционировать как часть распределенной базы данных системы технического обеспечения связи и автоматизации с возможностью использования информации вышестоящими органами в соответствии с их правами доступа.

Сбор необходимой информации на стратегическом уровне, контроль своевременности предоставления донесений и сводок будет осуществлять дежурный персонал центра мониторинга. Основу распределенной базы данных должны составлять центры обработки данных, на которые будут завязаны локальные базы данных нижестоящих уровней

Предлагаемая модель автоматизированной системы мониторинга состояния техники связи и автоматизации специального назначения позволит минимизировать недостатки существующей в настоящее время системы мониторинга за счет внедрения современных подходов к формированию потоков информации о техническом состоянии конкретного образца техники с последующим обобщением первичной информации и ее использованием для планирования, эксплуатации и ремонта техники с учетом прогноза изменения ее отдельных характеристик.

Достоинством данной модели является уменьшение влияния человеческого фактора при формировании данных, учет дезинтеграционных процессов, протекающих в образцах техники, при планировании технического обслуживания и ремонта для достижения цели функционирования системы технического обеспечения связи и автоматизации.

Список используемых источников

1. Анфилатов В. С., Авраменко В. С., Пантюхин О. И. Теоретические основы автоматизации управления войсками и связью. Часть 2. Основы построения и функционирования систем автоматизации управления войсками и связью: Учебное пособие. СПб.: ВАС, 2015. 304с.
2. Чихачев А. В., Третьяков С. М., Бурлаков А. А. и др. Техническое обеспечение связи и автоматизации. СПб.: ВАС, 2017. 302 с.
3. Цельковских А. А., Мосендз Т. А., Дубовский В. А. Концептуальная модель подсистемы мониторинга технического состояния в структуре системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика, 2019. №2(48). С. 36–42.

УДК378.4
ГРНТИ 14.15.07

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ НА УЧЕБНОМ СБОРЕ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММЕ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ОФИЦЕРОВ КАДРА В ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ПРИ СПБГУТ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА

В. М. Козырев, Ю. Ф. Лашин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича

Ежегодно в Военном учебном центре при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А.Бонч-Бруевича проводятся учебные сборы со студентами обучающимся по программе подготовки кадровых офицеров.

Целью проведения военно-политической работы на учебных сборах является формирование у студентов профессионально-значимых качеств, привития им навыков воспитания подчиненных в своей будущей военно-профессиональной деятельности.

О методике организации и проведения военно-политической работы на учебных сборах студентов и будет рассказано в данной статье.

военная подготовка, военный учебный центр, методика, подготовка, занятие

Военно-политическая работа в Вооруженных Силах представляет собой комплекс согласованных и взаимосвязанных по целям, задачам, месту и времени мероприятий военно-политической пропаганды и агитации, психологических, культурно-досуговых и иных мероприятий, направленных на обеспечение высокого уровня морально-политического и психологического состояния личного состава, правопорядка и воинской дисциплины, формирование у военнослужащих морально-политических и психологических качеств, сплоченных воинских коллективов, обеспечивающих выполнение задач по предназначению в любых условиях [1, 2].

В соответствии с требованиями приказа Министерства обороны Российской Федерации от 28 декабря 2021 года № 803 «Об утверждении Руководства по организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации», становится очевидной необходимость овладения навыками проведения военно-политической работы в подразделении студентами Военного учебного центра (ВУЦ), каждому из которых предстоит работать в войсках с подчиненным ему личным составом, живыми людьми, требующими заботы, внимания, контроля со стороны командиров и начальников всех уровней.

Основы организации и проведения военно-политической работы в Вооруженных Силах, студенты, обучающиеся по программе подготовки офи-

церов кадра, усваивают в ходе изучения дисциплины «Военно-политическая работа» на первом курсе. Далее, на старших курсах, студенты участвуют в мероприятиях военно-политической работы военного учебного центра, самостоятельно выполняют отдельные элементы и мероприятия военно-политической работы по направлениям: военно-политическая пропаганда и агитация, военно-патриотическая работа, военно-социальная работа, культурно-досуговая работа [1].

Полученные теоретические знания и умения студенты применяют и совершенствуют в ходе учебных сборов. На учебных сборах, проводимых после третьего курса, студенты практически осваивают мероприятия по организации и проведению мероприятий военно-политической работы в подразделении с учетом их особенностей в повседневной жизнедеятельности воинской части.

В период, предшествующий учебным сборам (за 1–2 месяца до их начала), руководством военного учебного центра совместно с преподавательским составом и командованием воинской части осуществляется планирование военно-политической работы на учебных сборах.

План проведения военно-политической работы учебных сборов утверждается командиром войсковой части (начальником учебных сборов), при которой проводятся учебные сборы. Приказом командира войсковой части, на период проведения учебных сборов, назначается заместитель начальника сборов по военно-политической работе, который и организует выполнение мероприятий военно-политической работы на учебных сборах.

План военно-политической работы на учебных сборах включает в себя проведение следующих мероприятий:

- ежедневное проведение ритуала подъема (спуска) Государственного флага;
- исполнение воинского ритуала – приведение курсантов (студентов) к воинской присяге;
- проведение военно-политического информирования;
- юридическое консультирование личного состава, доведение и разъяснение правовых актов Российской Федерации и Министерства обороны;
- ежедневный просмотр и прослушивание информационных теле- и радиопрограмм;
- проведение коллективных и индивидуальных бесед;
- подготовка и выпуск стенных, фото- и сатирических газет, боевых листов;
- подведение итогов и постановка задач по военно-политической работе, итогов выполнения задач боевой подготовки, службы войск, состояния правопорядка и воинской дисциплины.

В период проведения учебных сборов каждый студент как гражданин, считается исполняющим обязанности военной службы и имеет статус военнослужащего, проходящего службу по призыву (федеральный закон №53-ФЗ от 28.03.1998 года «О воинской обязанности и военной службе»).

На учебных сборах студенты выполняют все мероприятия распорядка дня, утвержденного командиром войсковой части, в том числе мероприятий военно-политической работы, в составе учебной роты. Организацию и контроль выполнения всех элементов распорядка дня в учебной роте осуществляют назначенные приказом командира войсковой части командир учебной роты и командиры учебных взводов, а также преподаватели военной кафедры. Кроме того, большое значение на учебных сборах имеет практическая работа каждого курсанта (студента). В целях реализации рабочей программы дисциплины «Учебный сбор», тематического плана на учебный сбор, плана привития студентам практических навыков военно-политической работы, командных и методических навыков студентами разрабатывается личный план работы студента, как раздел, в «Журнале учета выполнения индивидуальных заданий на учебном сборе студента ВУЦ». В этом журнале каждый студент делает отметки о выполненных мероприятиях согласно индивидуальному заданию на учебный сбор. Индивидуальное задание студенту заблаговременно (1-2 месяца) выдает преподаватель военной кафедры.

Количество мероприятий, проведенных студентами, оценка их качества учитываются преподавателями под контролем начальника кафедры военного учебного центра или начальника учебной части сбора (на учебном сборе в войсках).

К плану привития студентам практических навыков военно-политической работы, командных и методических навыков, преподавательским составом кафедры составляется приложение с указанием фамилий студентов, дат проведения, и конкретных мероприятий ими проводимых. При этом мероприятия военно-политической работы проводятся с учетом времени, отводимого распорядком дня воинской части для указанного вида работы, а также с возможностью их выполнения в часы самостоятельной работы студентов (самостоятельная работа студентов на учебных сборах проводится по три часа ежедневно).

Важнейшей составляющей, проводимой на учебных сборах военно-политической работы, является учебно-материальная база университета и войсковой части, средства информационного обеспечения (учебные библиотеки, типографии, учебники, учебные пособия и учебно-методические материалы, видеоматериалы, научная и справочная литература, уставы, руководства, другие нормативные документы). В ходе подготовки и проведения военно-политической работы студенты используют имеющийся ресурс.

Одним из основных направлений военно-политической работы является военная пропаганда и агитация, которая реализуется в первую очередь через систему военно-политической подготовки (ВПП).

В ВПП основное внимание уделяется изучению военнослужащими Вооруженных Сил вопросов государственного и военного строительства, военно-политической обстановки, предназначения Вооруженных Сил по отражению угроз национальной безопасности, отечественной истории, традиций армии и флота, военной педагогики и психологии, норм морали и воинской

этики, законодательства Российской Федерации и норм международного гуманитарного права. ВПП в сочетании с другими предметами боевой подготовки обеспечивает высокую морально-политическую и психологическую готовность военнослужащих Вооруженных Сил и воинских коллективов к выполнению задач, возложенных на Вооруженные Силы [3].

На учебных сборах со студентами, в составе учебной роты, запланировано 4 часа практических занятий по ВПП. В ходе этих занятий со студентами рассматриваются вопросы организации военно-политической работы в войсках связи, вопросы деятельности офицера по проведению военно-политической работы с различными категориями военнослужащих.

Результатом освоения учебного материала по ВПП является формирование у студентов, а в дальнейшем, военнослужащих Вооруженных Сил высокого уровня военно-политического сознания и культуры, качеств воина-государственника, патриота, высоконравственной личности, сознательного и ответственного отношения к воинскому долгу, требованиям законодательных и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, уставов и воинской дисциплины [3].

В основу формирования командных, практических и методических навыков у студентов на учебных сборах положено практическое командование подразделением, самостоятельное проведение занятий по предметам военной подготовки, руководство выполнением всех элементов распорядка дня в повседневной жизнедеятельности подразделения.

Учебные сборы студентов, как завершающий этап общевойсковой подготовки, позволяют формировать и развивать основные моральные, профессионально-боевые, психологические и физические качества, необходимые выпускникам университета для успешного выполнения ими обязанностей по предназначению.

Список используемых источников

1. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 28 декабря 2021 года № 803 «Об утверждении Руководства по организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации» М., 2021.

2. Козырев В. М., Лашин Ю. Ф., Новак А. В. Методика проведения военно-политической работы в военном учебном центре при СПбГУТ имени профессора М. А. Бонч-Бруевича // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 520–524.

3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 22 февраля 2019 года № 95 «Об организации военно-политической подготовки в Вооруженных Силах Российской Федерации» М., 2019.

Статья представлена доцентом кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи, кандидатом технических наук А. К. Сагдеевым.

УДК 621.382:372.853
ГРНТИ 29.01.45

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ В КУРСЕ «СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ФИЗИКИ» ВОЕННОГО ВУЗА

С. В. Костарев¹, Ю. С. Остроумова², В. Г. Соловьев^{1,3}, С. Д. Ханин¹

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

² Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова

³ Псковский государственный университет

Рассмотрены методы ознакомления будущих военных инженеров-связистов с перспективными направлениями развития физики и технологии материалов и компонентов электроники в ходе преподавания новой учебной дисциплины «Специальные разделы физики». Содержание рассматриваемой дисциплины не ограничивается лишь фундаментальными знаниями, а включает в себя их практические, профессионально значимые для военного инженера-связиста приложения. В организации обучения широко используются активные проектно-исследовательские методы; приоритетное значение придается самостоятельной познавательной деятельности обучающихся.

Первый опыт успешного преподавания учебной дисциплины «Специальные разделы физики» дает основания предполагать, что изучение данного курса в перспективе будет способствовать повышению уровня профессиональной подготовки курсантов в рассматриваемой области.

обучение физике, электроника, фотоника, нанотехнологии, нанокomпозиционные материалы

В соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом, в 2022/2023 учебном году в учебный план Военной академии связи введена новая учебная дисциплина «Специальные разделы физики», которая изучается в 4 семестре и предусматривает лекционные (36 часов), семинарские (12 часов), лабораторные (8 часов) и практические (10 часов) занятия, а также контрольную работу и зачет.

Включение данной дисциплины в учебные планы подготовки будущих военных инженеров-связистов находится в русле развития научно-технологического направления в военно-инженерном образовании, необходимость чего аргументировалась авторами в работах [1, 2].

Важное место в рассматриваемом учебном курсе занимает раздел «Перспективные направления развития физики и технологии материалов и компонентов электроники», предусматривающий изучение таких современных научных направлений, как «Наноэлектроника», «Спинтроника»,

«Нанопотоника», «Металлооксидная электроника», «Углеродная электроника», «Передача и преобразование оптических сигналов в фотонно-кристаллических и композиционных системах».

При этом в учебном процессе, направленном на формирование фундаментальных знаний и профессионально значимых для военного специалиста в условиях интенсивного прогресса науки и технологий умений и навыков, находят свое отражение современные достижения физики и технологии наноструктурированных функциональных материалов [3].

Примером может служить детальное рассмотрение в лекционном курсе вопросов, связанных с современным состоянием спинтроники, металлооксидной электроники и особенно – с разработкой способов управления самими быстрыми в природе световыми сигналами на основе фотонных и гибридных плазмон-фотонных гетерокристаллов [4], что открывает возможности резко увеличить скорость передачи и обработки информации и повысить защищенность каналов связи. В идейном плане важно отметить, что использование фотонов для передачи и при обработке информации предполагает создание новых принципов и технологий интегрированных фотонных устройств, разработку новых физических принципов и подходов для создания необходимых материалов и структур.

Освоение содержания и передовых достижений перспективных направлений научно-технического развития в представлении теоретической части курса опирается на ранее приобретенные курсантами при изучении физики модельные представления и умения применения методов научной инженерии. Для достижения целевых установок здесь осуществляется расширительный анализ известных моделей и использование известных методов применительно к новым для обучающихся объектам и процессам. Кроме того, эффективным в рассматриваемом аспекте является метод аналогий [5].

Теоретическое изучение подлежащего освоению учебного материала дополняется его углубленным рассмотрением на практических, семинарских и лабораторных занятиях [6]. Так, после объяснения на лекциях квантовомеханической природы туннельного эффекта курсанты знакомятся с физическими основами и аналитическими возможностями сканирующей туннельной микроскопии, устройством и режимами работы зондового микроскопа, программным обеспечением получения и обработки данных зондовой микроскопии, а затем исследуют морфологию поверхности различных наноструктурированных образцов [7, 8]. При этом используется высокотехнологичное оборудование, сосредоточенное в Центре коллективного пользования Военной академии связи, в частности, сканирующий зондовый микроскоп СММ-2000 (АО Завод «ПРОТОН», г. Москва), предназначенный для измерений геометрических и физических параметров

топографии поверхности образцов с нанометровым пространственным разрешением. При этом курсанты самостоятельно изготавливают зонды для работы в СТМ-режиме.

Существенно, что содержание рассматриваемой дисциплины не ограничивается лишь собственно фундаментальными знаниями, а включает в себя их практические, профессионально значимые для военного инженера-связиста приложения.

В части организации процесса обучения приоритетное значение придается самостоятельной познавательной деятельности обучающихся. В этой связи содержание обучения представляется там, где это возможно, в задачно-деятельностной форме; востребованными являются самообразование и информационно-аналитическая работа в пространстве рассматриваемых проблем. Важное значение придается научно-практическим семинарам, формат которых позволяет осуществить сравнительный анализ различных методов и результатов решения проблемной задачи.

В организации обучения широко используются активные методы и прежде всего – исследовательский и проектный (проектно-исследовательский) методы как отвечающие научно-технологическому решению проблемных задач в профессиональной для военного специалиста деятельности [9].

В этом контексте особую роль играет военно-научная работа. Следует отметить, что курсанты под руководством преподавателей кафедры физики готовят доклады на научных конференциях (в том числе – Всероссийских [7, 8] и Международных [10]), проводят опыты, наглядно демонстрирующие особые физические свойства нанокпозиционных материалов. Примерами могут служить эксперименты, подтверждающие влияние углеродных нанотрубок на механические свойства полимерных композитов [11] и на их смазываемость различными жидкостями [12].

Первый опыт преподавания учебной дисциплины «Специальные разделы физики» показал, что предлагаемый подход к изучению перспективных направлений развития физики и технологии материалов и компонентов электроники дает положительные результаты и в перспективе, несомненно, будет способствовать повышению уровня профессиональной подготовки курсантов в рассматриваемой области.

Список используемых источников

1. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Научно-технологическое развитие как фактор и направляющая системного обновления военно-инженерного образования // Развитие военной педагогики в XXI веке. Материалы VII Межвузовской научно-практической конференции / Под редакцией С. В. Костарева, И. И. Соколовой, В. А. Митраховича, Н. В. Ершова. СПб.: ВАС, 2020. С. 166–174.

2. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Совершенствование подготовки к научно-технологической деятельности как направление развития военно-инженерного образования // Военная безопасность России: взгляд в будущее. Материалы VI Международной межведомственной научно-практической конференции научного отделения №

10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. В 3-х томах. Т. 1. М.: 2021. С. 70–79.

3. Физика и технология наноструктурированных функциональных материалов: Монография / Под ред. С. Д. Ханина и Ю. А. Кумзерова. СПб.: Издательство Военной академии связи, 2023. 392 с.

4. Остроумова Ю. С., Соловьев В. Г., Ханин С. Д., Яников М. В. Формирование опыта применения фундаментальных знаний для освоения содержания перспективных направлений научно-технического развития. Псков: ПсковГУ, 2015. 96 с.

5. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Создание в обучении курсантов условий для освоения опыта и приобретения умений продуктивного применения фундаментальных знаний // Развитие военной педагогики в XXI веке. Материалы X Межвузовской научно-практической конференции / Под редакцией С. В. Костарева, И. И. Соколовой, Н. В. Ершова. СПб.: ООО «Издательство ВВМ», 2023. С. 24–32.

6. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д., Соловьев В. Г. Интеграция науки и образования на предметной основе физики и технологии наноструктур электроники и фотоники // Современные тенденции инженерного образования: Сборник материалов научно-практической конференции. СПб.: Издательство: ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства Обороны Российской Федерации, 2023. С. 3–8.

7. Усольцев М. С., Мартынов В. А., Скалецкая И. Е. Об актуальности внедрения лабораторных работ по сканирующей зондовой микроскопии в рамках обучения курсантов военного вуза по курсу нанoeлектроники // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 36. М.: ИСРО РАО, 2022. С. 31–33.

8. Картавых В. В., Мартынов В. А., Сергеев В. Ю., Соловьёв В. Г. Исследование образцов из нержавеющей стали после импульсной лазерной обработки в учебной лаборатории сканирующей зондовой микроскопии // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. М.: ИСРО РАО, 2023. Выпуск 38. С. 68–70.

9. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Педагогико-психологическое обеспечение профессиональной подготовки военных специалистов в контексте реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации // Развитие военной педагогики в XXI веке. Материалы IV Межвузовской научно-практической конференции / Под редакцией С. В. Костарева, И.И. Соколовой, Н. В. Ершова. СПб.: ВАС, 2017. С. 128–136.

10. Левин К. Л., Фам Ван Лам, Нгуен Хый Да, Скалецкая И. Е. Использование многослойных графенов в качестве экранов излучения электромагнитного диапазона в условиях открытого космоса // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Карбышевские чтения» / под общ. ред. Грошевой Л. И. Т.6. Тюмень: ТВВИКУ, 2021. С. 349–354.

11. Гусев К. В., Панькова С. В., Соловьёв В. Г. Демонстрация влияния углеродных нанотрубок на механические свойства полимерных композитов // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. М.: ИСРО РАО, 2020. Выпуск 32. С. 50–52.

12. Гусев К. В., Ильина И. И., Панькова С. В., Соловьев В. Г. Влияние углеродных нанотрубок на смачиваемость полимерных композитов // Вестник Псковского государственного университета. Серия «Естественные и физико-математические науки», 2021. Вып. 17. С. 90–97.

УДК 004.056
ГРНТИ 49.33.35

МОДЕЛЬ НАРУШИТЕЛЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АРТ-АТАК НА ОБЪЕКТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

И. В. Котенко, С. С. Хмыров

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (ФИЦ РАН)

Атаки класса «Расширенные постоянные угрозы» (Advanced Persistent Threats) представляют собой, в основном, интеллектуальные, высокоточные (целевые) и сложные кибератаки, спонсируемые государством, и направленные на объекты критической информационной инфраструктуры других стран. Группы кибератакующих, реализующих данный класс атак, как правило, используют специально разработанное вредоносное программное обеспечение уникальным образом в зависимости от цели. После выбора жертвы они применяют различные инструменты, техники и процедуры, чтобы обойти традиционные механизмы защиты. Интеллектуальные многоэтапные методы развертывания вредоносного решения позволяют атакующим оставаться длительное время необнаруженными. В работе предлагается модель потенциального кибернарушителя с учетом его индивидуальных характеристик.

целевые атаки, расширенные постоянные угрозы, критическая инфраструктура, атрибуция кибернарушителя, кибербезопасность, модель угроз

Модель нарушителя (МН) чаще всего представляет собой совокупность сведений о возможностях потенциального злоумышленника, его оснащении, подготовленности, а также перспективах и поведении при осуществлении кибератаки [1, 2]. МН чаще всего носит формальный характер и может включать следующие данные о нарушителе: цели и мотивации; навыки, знания и ресурсы; используемые типы атак и методы; шаблоны поведения и тактик; предпочитаемые векторы компрометации целевой инфраструктуры, применяемые уязвимости.

Традиционно модель нарушителя применяется для построения адекватной системы обеспечения информационной безопасности [3–5].

В данной работе внимание направлено на исследование АРТ-атак [6] и разработку МН с целью повышения эффективности атрибуции кибернарушителя при реализации атаки класса «Расширенные постоянные угрозы» на объекты критической инфраструктуры (ОКИИ). Таблицы 1 и 2 содержат сведения об уровнях возможностей нарушителей по реализации угроз безопасности информации, характерных при атаках на ОКИИ.

Предлагаемый подход к модели нарушителя носит обобщенный характер и не включает для класса «Расширенные постоянные угрозы» показатели. На основе анализа АРТ-атак на ОКИИ [7–11] сформируем параметры потенциального нарушителя.

ТАБЛИЦА 1. Уровни возможностей нарушителей по реализации угроз безопасности информации [7]

Виды риска (ущерба)	Виды нарушителя	Категории нарушителя	Обозначение
Ущерб государству в области обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка, а также в социальной, экономической, политической, экологической сферах деятельности	Специальные службы иностранных государств	Внешний	Н4
		Внутренний	
	Террористические, экстремистские организации	Внешний	Н4
	Преступные группы (криминальные структуры)	Внешний	Н3
		Внутренний	
	Разработчики программных, программно-аппаратных средств	Внутренний	Н4
	Системные администраторы и администраторы безопасности	Внутренний	Н3
Авторизованные пользователи систем и сетей	Внутренний	Н1	
Бывшие (уволненные) работники (пользователи)	Внутренний	Н1	

ТАБЛИЦА 2. Уровни возможностей нарушителей по реализации угроз безопасности информации [8]

Виды риска (ущерба)	Виды нарушителя	Краткое описание	Обозначение
Ущерб государству в области обеспечения обороны страны, безопасности государства и правопорядка, а также в социальной, экономической, политической, экологической сферах деятельности	Кибернаемники	Действуют в интересах заказчика либо охотятся за крупной монетизацией, например, за счет продажи базы клиентских данных в даркнете	Н4
	Проправительственные группировки	Служат интересам государственных структур и террористических организаций.	Н5

Формальный вид модели можно представить в следующем виде:

$$I_{apt} = F (H, G, M, T, L, D, A), \quad (1)$$

где H – характеристики нарушителя, G – цели нарушителя, M – мотив нарушителя, T – методы нарушителя (ТТР), L – уровень доступа, D – масштаб ущерба, A – характеристики АРТ-атаки.

H (характеристики нарушителя) – характеристики нарушителя включают в себя информацию о его возможностях, опыте, поведении и предпочтении в выборе целей (в соответствии с критериями значимости ОКИИ) [12].

G (цели нарушителя) – цели нарушителя определяют, что именно он пытается достичь при проведении атаки. Данный параметр помогает определить потенциальный ущерб и возможные направление будущих АРТ-атак. Прогнозировать потенциальные мотивы атакующих.

M (мотив нарушителя) – мотивы могут раскрывать, почему нарушитель проводит атаку. Мотивация может влиять на типы целей, которые выбирает нарушитель, и на способы, которыми он пытается достичь этих целей.

T (методы нарушителя, ТТР) – тактика, техника и процедуры (ТТР) описывают конкретные методы, используемые нарушителем для проведения кибератаки. Анализ ТТР помогает установить, каким образом нарушитель ведет себя в целевой инфраструктуре и какие цифровые следы (артефакты) оставляет.

L (уровень доступа) – уровень доступа показывает, насколько глубоко нарушитель смог проникнуть в целевую инфраструктуру, конкретную систему или сегмент сети. Чем выше уровень доступа, тем больше потенциал для нанесения ущерба и шире возможности для распространения атаки.

D (ущерб) – ущерб, нанесенный АРТ-атаками, не только указывает на масштабы инцидента, но и помогает оценить воздействие нарушителя на целевую среду.

A (характеристики АРТ-атаки) – длительность атаки, степень скрытности, целенаправленность.

Каждый аспект модели может быть далее уточнен и детализирован с использованием более специализированных атрибутов.

Например, техники $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ могут быть формализованы через список уязвимостей, которые они эксплуатируют $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$, так что для каждой техники существует подмножество уязвимостей, которые она эксплуатирует.

Для масштаба ущерба (D), можно задать показатели в соответствии с критериями значимости ОКИИ, например, ущерб в политической сфере (D_{pol}) [7]:

- \min (минимальный ущерб) - прекращение или нарушение функционирования органа государственной власти субъекта РФ;
- или города федерального значения;

- med (средний ущерб) – прекращение или нарушение функционирования федерального органа государственной власти;
- max (максимальный ущерб) – прекращение или нарушение функционирования ключевых органов высшего руководства страны.

Данная модель нарушителя может поддерживать атрибуцию нарушителя на нескольких уровнях. Рассмотрим ниже эти уровни.

Техническая атрибуция – модель использует компонент Т (Методы нарушителя, включая техники, тактики и процедуры), что включает в себя технические данные вроде IP-адресов, шаблонов вредоносного трафика и других инструментов, выявленные в ходе мониторинга и анализа логов. Также компонент (Н) может включать характеристики нарушителя, такие как поведение и предпочтение в выборе целей.

Тактическая, техническая и процедурная атрибуция (ТТР) – с помощью переменной Т, модель способствует определению и сопоставлению ТТР, характерных для отдельных нарушителей или групп. Это позволяет аналитикам проводить сравнение с ранее зафиксированными паттернами атак и свойственными какой-либо группе методиками.

Интеллектуальная атрибуция – здесь компонент М (Мотив нарушителя) и G (Цели нарушителя) позволяют аналитикам рассматривать характеристики нарушителя за пределами технических свойств атак, уделяя внимание интеллектуальным аспектам, таким как мотивационный и целевой профиль вероятного нарушителя или группы. Эта информация может быть получена из открытых источников или через разведывательные каналы.

Социально-политическая атрибуция – через анализ мотивов М и целей G, модель может быть использована для установления связей между атаками и социально-политическими событиями или кампаниями. Уровень А (остальные факторы АРТ-атак, включая длительность, скрытность, целенаправленность, уровень ресурсной поддержки, достоверность инфраструктуры и многоуровневость атаки) также может дать ценный контекст относительно масштабирования и финансирования атак, что может быть признаком государственной поддержки [13].

В совокупности данные аспекты модели позволяют сформировать систематизированный подход к анализу АРТ-атаки через множество точек данных, что способствует всесторонней атрибуции и может помочь в принятии решений и формировании соответствующего ответа на инцидент. Данную модель предполагается реализовать в соответствующей методике атрибуции нарушителя.

Список используемых источников

1. Хмыров С. С., Котенко И. В. Анализ расширенной модели «cyber kill chain» для атрибуции нарушителей кибербезопасности при реализации целевых атак на объекты критической инфраструктуры // XII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция ИБРР-2021. 2021. С.103-105.

2. Kotenko I., Stepashkin M. Network Security Evaluation based on Simulation of Mal-efactor's Behavior // SECRYPT 2006 - International Conference on Security and Cryptography, Proceedings. IBM, Polytechnic Institute of Setubal. Setubal, 2006. P. 339–344.
3. Будников С. А., Бутрик Е. Е., Соловьев С. В. Моделирование АРТ-атак, эксплуатирующих уязвимость zerologon // Вопросы кибербезопасности, 2021. № 6 (46). С. 47–61.
4. Kotenko I., Stepashkin M. Analyzing Vulnerabilities and Measuring Security Level at Design and Exploitation Stages of Computer Network Life Cycle // Lecture Notes in Computer Science, 2005. Vol. 3685. PP. 311–324.
5. Котенко И. В., Степашкин М. В., Богданов В. С. Архитектуры и модели компонентов активного анализа защищенности на основе имитации действий злоумышленников // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, 2006. № 2. С. 7–24.
6. Котенко И. В., Хмыров С. С. Анализ моделей и методик, используемых для атрибуции нарушителей кибербезопасности при реализации целевых атак // Вопросы кибербезопасности, 2022. № 4. С. 52–79.
7. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации (Утвержден ФСТЭК России 5 февраля 2021 г.). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=451500&ysclid=lt2jtnuzbf152546432#h487> (дата обращения: 20.02.2024).
8. Уровни злоумышленников web. Ростелеком Солар. URL: https://profiles.rtsolar.ru/uploads/portable-document-format/urovni_zloumishlennikov.pdf (дата обращения: 20.02.2024).
9. Earth Baku: An APT Group Targeting Indo-Pacific Countries. URL: https://documents.trendmicro.com/assets/white_papers/wp-earth-baku-an-apt-group-targeting-indo-pacific-countries.pdf (дата обращения: 20.02.2024).
10. Hack the Real Box: APT41's New Subgroup Earth Longzhi. URL: www.trendmicro.com/en_us/research/22/k/hack-the-real-box-apt41-new-subgroup-earth-longzhi.html (дата обращения: 20.02.2024).
11. APT27 – One Year to Exfiltrate Them All: Intrusion In-Depth Analysis. URL: <https://www.intrinsec.com/apt27-analysis/?cn-reloaded=1> (дата обращения: 20.02.2024).
12. Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 N 127 (ред. от 20.12.2022) «Об утверждении Правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений». URL: <https://online.consultant.ru/riv/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=435258&rnd=chTWoA#mKSrf3UQILWYzGzC1> (дата обращения: 20.02.2024).
13. Karafili E., Kakas A et al. Argumentation-based Security for Social Good, 2017. 7 p.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.33.29

ПОМЕХОЗАЩИЩЕННАЯ КОРОТКОВОЛНОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

К. А. Луконин, В. В. Сазонов, П. В. Симонова

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье разработана помехозащищенная коротковолновая система передачи данных с учетом свойств используемых сигналов и параметров коротковолновой линии связи, посредством введения в нее устройств управления и анализаторов канала связи с элементами решающей обратной связи. Использование множества ансамблей дискретных ортогональных сигналов с хорошими спектральными и корреляционными характеристиками позволяет обеспечить помехозащищенность передаваемых данных в сложной обстановке коротковолновых линий связи.

система передачи данных с решающей обратной связью, анализатор канала связи, коротковолновая линия связи, ансамбли дискретных ортогональных сигналов

Известно [1], что объем передаваемых данных по коротковолновым (КВ) линиям связи в мирное время незначительный и в основном используется как резервный. Однако при ведении боевых действий КВ линии связи приобретают особую актуальность, так как становятся основным средством связи на большие расстояния. При этом оставаясь сильно загруженными помехами от сторонних радиостанций, замираниями сигналов, получили развитие адаптивные КВ системы передачи данных (СПД). Помехоустойчивость КВ СПД достигается различными подходами, в том числе и специально подобранными известными ансамблями дискретных ортогональных сигналов (АДОС).

Использование известных АДОС в КВ СПД приводит к низким показателям сигнальной скрытности и как следствие недопустимым значениям помехозащищенности в целом. Заметим, что к АДОС, при наличии ограниченной по их базе, кроме требований по скрытности предъявляются требования по корреляционным и спектральным характеристикам.

Цель данной статьи – разработать вариант помехозащищенной КВ СПД, посредством адаптивного применения с фиксированным или изменяющимся периодом значительного количества АДОС с хорошими корреляционными и спектральными характеристиками.

На основе методики синтеза большого количества АДОС с хорошими корреляционными и спектральными характеристиками описанной в [2, 3, 4], авторами разработана помехозащищенная КВ СПД, представленная на рисунке 1.

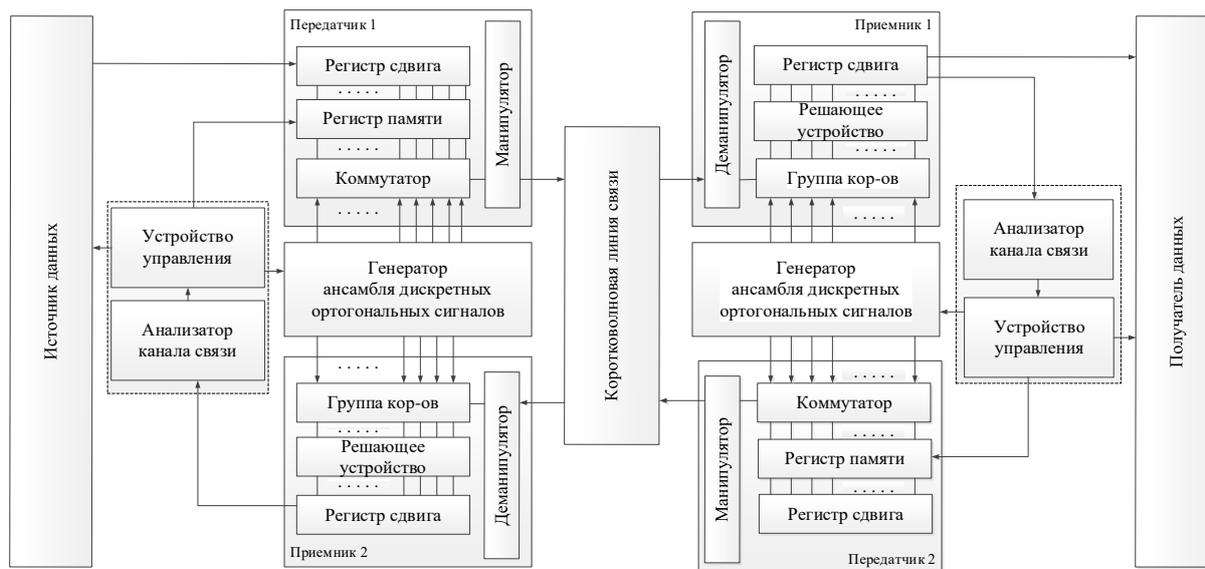


Рис. 1. Помехозащищенная КВ СПД

Помехозащищенная КВ СПД работает следующим образом. Двоичные сигналы от источника данных поступают на вход первого передатчика содержащего регистр сдвига, который разбивает двоичные символы на кодовые последовательности из k двоичных символов (например, 8 битовый код обмена информации (КОИ-8)). Каждая кодовая последовательность в параллельном виде записывается в регистр памяти, откуда она поступает на вход коммутатора. Каждая из k -разрядных (8 битовых) исходных кодовых последовательностей (КОИ-8), поступающих на вход коммутатора из регистра памяти, преобразуется в один из специально выбранных устройством управления (с учетом особенностей КВ линии связи) уникально сгенерированных (генератором АДОС) вариантов дискретных ортогональных сигналов $S_i(t)$, ($i = 1, m$).

В данном случае один из сгенерированных ортогональных сигналов $S_i(t)$, поступает в манипулятор, где он преобразуется в радиосигнал и передается в КВ линию связи. В КВ линии связи на радиосигнал воздействуют естественные и преднамеренные помехи, которые искажают его.

На вход первого приемника поступает сигнал $S_i^*(t)$, искаженный помехами. Далее он обрабатывается в деманипуляторе и группе корреляторов, осуществляющих преобразование сигнала с использованием генератора АДОС, идентичного передающему.

После этого решающее устройство определяют номер переданного сигнала. Тот сигнал, для которого коэффициент взаимной корреляции с анализируемым сигналом $S_i^*(t)$ в корреляторе имеет наибольшее значение, считается поступившим из КВ линии связи и наиболее вероятно принятым приемным устройством.

Решающее устройство ставит в соответствие принятому сигналу $S_i^*(t)$ k -разрядную (8 битовую) кодовую последовательность (КОИ-8) по алгоритму, используемому на первом передатчике, записывает ее в параллельном виде в регистр сдвига, откуда двоичные сигналы поступают к получателю данных.

Для адаптации системы передачи данных в систему введены анализатор канала связи и устройство управления с элементами решающей обратной связью (состоящие из второго передатчика и второго приемника).

При этом важно подчеркнуть, что для повышения эффективности работы помехозащищенной КВ СПД в сложных условиях функционирования необходимо использовать различные виды решающей обратной связи (с ожиданием, с последовательной передачей, с адресным переспросом). Частота смены АДЭС данной системы будет определяться сложностью помеховой обстановки КВ линии связи.

На передающих и приемных сторонах помехозащищенной КВ СПД генераторы АДЭС должны функционировать по одинаковому алгоритму. На начальном этапе и в ходе функционирования установление и поддержание синхронизма передающих и приемных элементов помехозащищенной КВ СПД необходимо обеспечивать с учетом особенностей генерирования и режимов дуплексной или полудуплексной передачи АДЭС.

Целенаправленный выбор уникальных АДЭС с хорошими корреляционными и спектральными характеристиками из множества позволяет решить задачу повышения скрытности КВ СПД (рис. 1). Ортогональность сигналов позволяет решить задачу помехоустойчивости КВ СПД, что в совокупности обеспечивает помехозащищенность КВ СПД в целом.

Список используемых источников

1. Пашинцев В. П., Малофей О. П., Жук А. П. и др. Развитие теории синтеза и методов формирования ансамблей дискретных сигналов для перспективных систем радиосвязи различных диапазонов радиоволн. М.: Физматлит, 2010. 264 с.

2. Жук А. П., Сазонов В. В. Повышение помехозащищенности систем связи с ортогональными сигналами // Известия ЮФУ. Технические науки, 2005. № 4 (48). С. 163–166.

3. Сазонов В. В., Жук А. П., Жук Е. П., Вариант ансамбля дискретных ортогональных сигналов // Инфокоммуникационные технологии, 2018. Т. 16. № 1. С. 33–39.

4. Кондрашов Ю. В., Бирюков М. А., Сазонов В. В., Ротенбергер А. А. Влияние корреляционных функций широкополосных сигналов на помехоустойчивость их приема в многолучевых каналах связи // Электросвязь, 2022. № 3. С. 10–15.

УДК 654.078
ГРНТИ 50.41.23

ВАРИАНТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНФИГУРИРОВАНИЯ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д. В. Мандрик, В. В. Сазонов

Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Использование технологий автоматизации в компьютерных сетях способствуют ускорению развертывания и поддержанию работоспособного состояния узлов. Современные подходы применения автоматизации опираются на концепции программируемости на основе моделей. В данной статье рассматривается вариант разработки программного инструмента для автоматизации процессов конфигурирования сетевых устройств специального назначения.

компьютерная сеть, сетевые технологии, программно-управляемые сети, Python, Netmiko, Ansible

Известно [1], что важнейшую роль в обеспечении развития общества играют информационные технологии и их бесперебойная работа. Из-за увеличения количества пользователей, узлов, администраторам приходится находить пути автоматизации своей работы, оркестрации хостов. Процессы автоматизированного управления способствуют увеличению скорости решения возникающих неполадок и повышения стабильности работы. Необходимо понимать, что наряду с развитием гражданских информационных технологий, развиваются сети специального назначения. Они обладают определенными требованиями (безопасность, надежность и т.д.), поддержание которых зависит от работы, как инженера, находящегося непосредственно на узле, так и администратора, планирующего сеть связи.

В виду многообразия количества используемого оборудования, сочетание различных технологий, развития межвидовой системы информационного обмена в специальных сетях, объем знаний и компетенций, которыми должны обладать инженеры растет.

В данной статье представлен вариант разработки программного инструмента, который сможет автоматизировать настройки сетевых устройств специального назначения.

Автоматизация в компьютерных сетях необходима для решения следующих задач [2]:

1. Повышение эффективности.
2. Снижение затраченных ресурсов.

3. Повышение гибкости и масштабируемости.

Исходя из набора используемых как аппаратных, так и программных средств (Ansible, различные языки программирования Python, PHP, C, Netconf), архитектуры сети администраторы используют разные подходы и методы автоматизации [2, 3].

Из-за огромного количества инструментов, уже многие годы развивается концепция Model-Driven Programmability (программируемость на основе моделей) [4]. Данный подход позволяет привести к единому стандарту администрирования устройств различных производителей. Рассмотрим подход Model-Driven Programmability на рисунке 1.

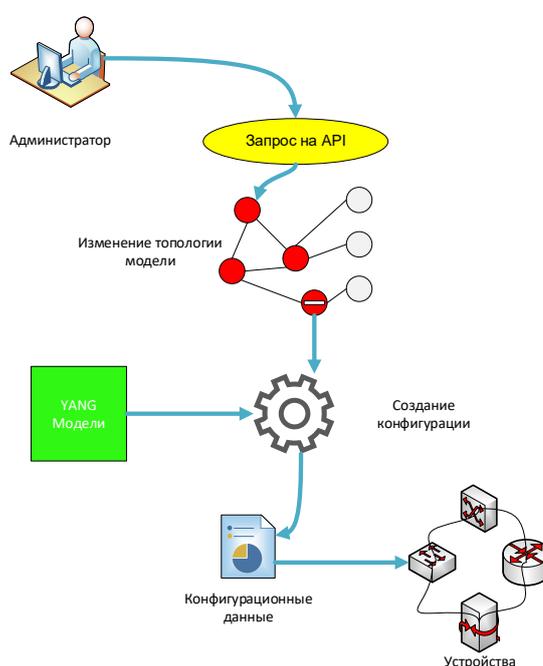


Рис. 1. Существующая концепция программируемости на основе моделей

Суть данной концепции заключается в том, что оператор изменяет настройки в модели Yang, после они преобразуются в конфигурационные файлы, которые в дальнейшем отправляются на устройство. При таком подходе не нужно уметь работать с устройствами, обладающими особенностями языка управления, Yang модель сама будет подбирать синтаксис конфигурационного файла в зависимости от устройства.

Стоит отметить, что построение сетей специального назначения предполагает работу с многообразием устройств, отличающихся друг от друга. В специальных системах проблема управления и настройки, использованных уникальных по своему администрированию устройств, решается высокими компетенциями специалистов. Рассмотренного на рисунке 1 подхода на Yang моделях не реализовано в сетях специального назначения.

Разрабатываемый инструмент должен обладать простым интерфейсом для инженера и быть универсальным для любого устройства.

Для создания было решено использовать Python по следующим критериям:

- прост в освоении;
- имеет огромное количество библиотек для реализации множества задач;
- становится обязательным требованием в навыках сетевого инженера.

Для взаимодействия с сетевыми устройствами использовалась библиотека `netmiko`, которая дает возможность работы с устройствами множества производителей.

Концепция Model-Driven Programmability решит проблему огромного количества устройств с разными языками управления, поэтому она станет основой логики и использования создаваемого инструмента.

Отличие создаваемого инструмента будет заключаться в простоте конечного используемого конфигурационного файла для инженера. Программа должна взаимодействовать как с физическими, так и с виртуальными устройствами, чтобы администратор мог создавать конфигурационные файлы, основываясь на определенной сетевой модели. Работу программного инструмента можно описать с помощью рисунка 2.

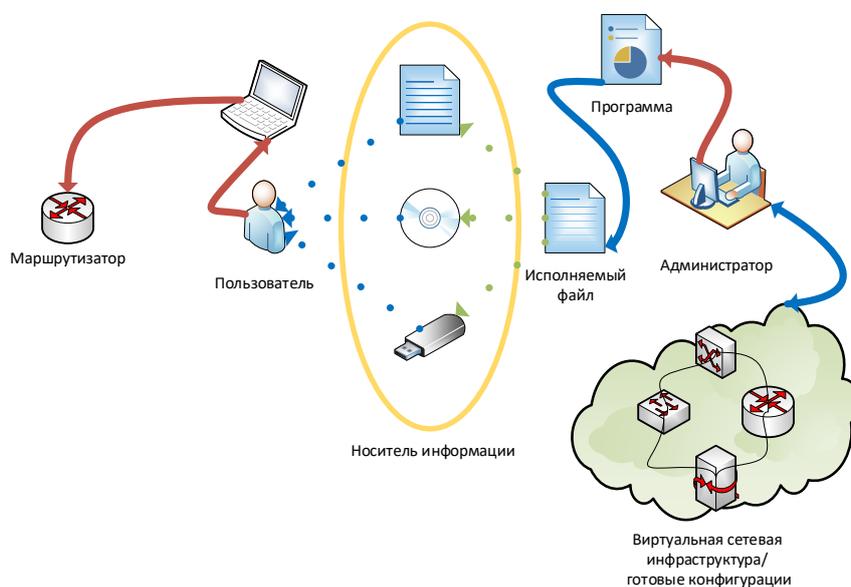


Рис. 2. Визуальное представление работы программы

Использование программы можно разделить на несколько шагов.

В первом шаге администратор исходя из схемы-приказа, принимает решение какую конфигурацию необходимо загрузить на оборудование и создает ее. После этого с помощью программы он загружает требуемый файл в формате `txt` и генерирует исполняемый файл.

На втором шаге происходит передача до удаленного узла пользователю.

На третьем шаге пользователь подключается к сетевому оборудованию и нажимает одну кнопку для загрузки конфигурации.

Интерфейс созданного готового инструмента для автоматизированного конфигурирования сетевых устройств специального назначения представлен на рисунке 3.

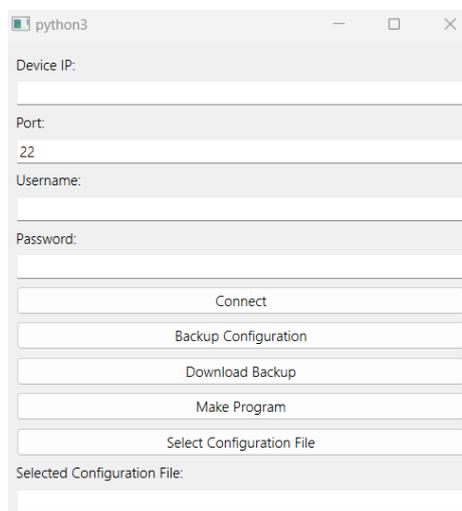


Рис. 3. Интерфейс программы

Оно состоит из нескольких полей ввода, для ip адреса интерфейса устройства, логина, пароля и порта. Есть несколько кнопок connect (подключение), backup configuration (снятие конфигурации), download configuration (загрузка конфигурации на устройство), make program (создание программы) и select configuration file (выбор конфигурационного файла). Алгоритм работы программы показан на рисунке 4.

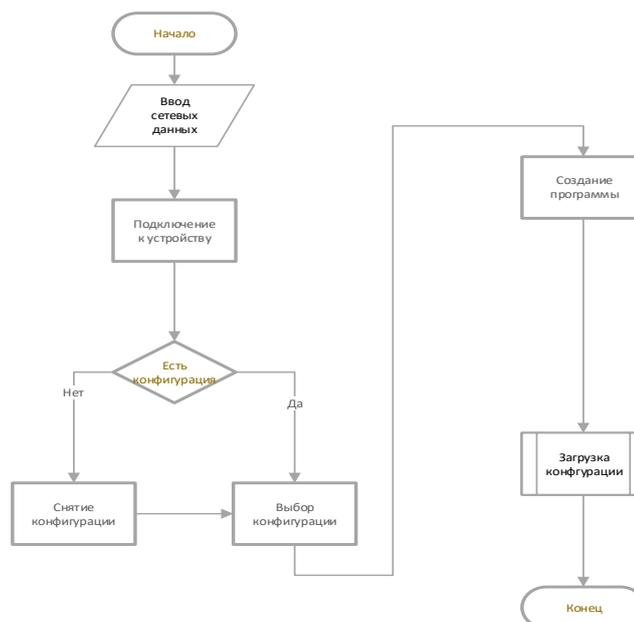


Рис. 4. Алгоритм работы созданной программы

В ходе исследования разработан инструмент, который можно использовать для автоматизации процессов конфигурирования сетевых устройств специального назначения. Данный инструмент способствует повышению скорости планирования и настройки хостов сетей специального назначения. Администратор создает исполняемый файл, использование которого не требует глубоких навыков и компетенций в области телекоммуникационных технологий. Так же данный инструмент может применяться в качестве программы для резервного копирования настроек на особо важных устройствах специального назначения.

Список используемых источников:

1. Стратегия развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года.
2. Угренинов А. И., Шабалин А. М. Автоматизация сетевых сервисов предприятия средствами SDN // Математическое и информационное моделирование: материалы Всероссийской конференции молодых ученых, Тюмень, 18–23 мая 2022 года. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тюменский государственный университет, Институт математики и компьютерных наук. Тюмень: ТюмГУ-Press, 2022. Выпуск 20. С. 339–344. – EDN OUAAUQ.
3. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание. СПб.: Питер, 2020. С. 520–525.
4. Эделман Д., Лоу С., Осуолт М. Автоматизация программируемых сетей. М.: МДК-Пресс, 2021. 616 с.

УДК 374.1
ГРНТИ 14.37.27

ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО КУРСАНТОВ ВОЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

И. Д. Манько, В. И. Шилков

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

В статье обсуждаются вопросы повышения эффективности образовательного процесса в военных учебных заведениях. Приведены сведения об опыте военных учебных центров по формированию практических навыков курсантов во внеурочное время и даны организационно-методические рекомендации по привлечению курсантов в коллективы технического творчества. На примере военного учебного центра Уральского федерального университета проиллюстрирована возможность и необходимость приобретения курсантами во внеурочное время в коллективах технического творчества дополнительных практических навыков и изучению современных информационно-коммуникационных технологий, средств автоматизированного проектирования.

военное учебное заведение, техническое творчество, практические навыки, информационные технологии

Военные учебные заведения обладают широкими методическими возможностями формирования у студентов теоретических знаний и практических навыков различных направлений подготовки. Особое внимание уделяется технической подготовке курсантов, причем не только в «традиционной» области физики, схемотехники, но и в навыках программирования, работы с информацией: на VI международной олимпиаде в 2021 году группой курсантов при Московском институте электронной техники было занято призовое место в номинации «Олимпиадное программирование» [1]. Курсанты ВУЦ имеют возможность получить должности инженеров технических предприятий, предприятий ОПК (оборонно-промышленного комплекса), испытывающих острую нехватку в квалифицированных кадрах. Так, согласно заявлению секретаря Совета безопасности РФ, предприятия авиационной промышленности имеют на данный момент нехватку кадров – порядка 14000 специалистов [2]. Несмотря на то, что ежегодно из российских учебных заведений выпускается порядка 300000 молодых специалистов в сфере инженерного дела, лишь 50000 устраиваются на работу на предприятия промышленности [3]. Со стороны военных учебных заведений, в особенности ВУЦ, особенно остро стоит вопрос формирования мотивировочного механизма курсантов к выбору инженерной специальности,

разъяснения и обоснования выбора промышленного предприятия курсантами как места будущей работы. В таком случае возможно несколько путей формирования сознательности курсантов: за счет пополнения и улучшения материальной учебной базы современными технологиями; за счет формирования «свободы действий и общения» курсантов при изучении некоторых технических дисциплин. На данный момент широкое применение в военных учебных заведениях получает иммерсионный подход – при котором обучаемые «погружаются» – углубляются в изучение предмета. Сценарии погружения, обучающие игры, трехмерное проектирование, мультимедиа, создаваемые за счет средств виртуальной реальности, могут быть применены, дополняя инструменты совместного обучения. Работа таких образовательных сред должна быть поставлена под руководство преподавателей. В задачи последних при организации интерактивной среды обучения среди прочего должны входить: исследование эффективности разрабатываемого продукта с учетом различных комбинаций применяемых инструментов, площадок, технических возможностей; поэтапное, обдуманное внедрение продукта в процесс обучения.

Решение, включающее свободу действий и общения обучаемых под руководством опытного наставника, можно назвать кружком. Студенческие научные кружки (СНК) следует рассматривать как важный компонент для реализации концепции интегративного подхода, который может способствовать: созданию психологических условий для самообразования, раскрытию личностных качеств и интеллектуального потенциала обучающихся, формированию профессиональных компетенций.

Несмотря на то, что многие учебные заведения имеют опыт вовлечения обучающихся в кружковую деятельность, в серьезной проработке нуждаются вопросы, связанные с методологическими основами интеграции и согласования методов творческой активности участников СНК с основными учебными планами и индивидуальными образовательными траекториями.

Цели и задачи кружка, как одной из форм организации учебной и научной деятельности курсантов, определяются основными целями учебного заведения и, которые должны быть ориентированы на повышение эффективности подготовки современных высококвалифицированных специалистов с помощью активизации их творческого потенциала. Например, авторы работы [5] связывают цели технического творчества с пониманием обучающимися ценности технической мысли, возможностями самореализации личности и формированием потребности к постоянному расширению кругозора.

В качестве основных задач кружковой деятельности, в работе [6] названы задачи: формирование у студентов интереса к научному творчеству; углубленное изучение студентами материала по наиболее сложным и

важным предметам; выявление наиболее одаренных и талантливых студентов, с целью их дальнейшего привлечения к решению более сложных учебных и научных задач.

Авторы работы [7] обращают внимание на то, что важным фактором, способствующим профессиональной подготовке будущих специалистов и, который может быть реализован в рамках СНК, является возможность творческого неформального общения студентов с профессорами и преподавателями.

Вместе с тем, в работе [8] отмечено, что несмотря на то, что многие ВУЗы разрабатывают свои системы ключевых показателей оценки эффективности деятельности членов СНК, процессы отбора критериев и формирования единой концепции оценки вряд ли можно считать окончательно завершившимися. Так, например, в качестве ключевых критериев оценки эффективности СНК называют участие членов кружка: в грантовой деятельности; в научно-практических конференциях; в конкурсах научно-исследовательских работ.

Оценка результативности членов кружка также может быть проведена с помощью показателей, фиксируемых в портфолио члена кружка и, к которым могут быть отнесены теоретические (количество научных публикаций) и практические (изготовленные электронные схемы, лабораторные стенды и установки, созданные интеллектуальные и программные продукты и другие компоненты информационных систем) результаты.

Имеет место множество примеров реализации студенческих научных кружков (СНК) при гуманитарных институтах: Российский государственный университет правосудия (г. Москва) имеет кружки по следующим направлениям: обществознание; мировая культура; естествознание [6]. В Тюменском государственном медицинском университете кружковцы участвуют в конференциях, форумах разных уровней, при этом частота участия ежегодно растет [7]. СНК военных учебных заведений и ВУЦ имеют углубленную техническую направленность. Курсанты и преподаватели ВУЦ при Уфимском университете науки и технологий ежегодно затрагивают вопросы устройства и развития отечественной и зарубежной техники. В 2023 году на конференции «Динамика развития системы образования» ими была представлена работа по классификации и принципу действия отечественных беспилотных летательных аппаратов, проведен анализ применения разведывательных спутников в военных конфликтах [9, 10]. СНК при ВУЦ Омского Государственного Технического университета проводится работа, посвященная особенностям эксплуатации и ремонта военной техники. ВУЦ ОмГТУ обладает сразу несколькими инициативными группами. Интересной для внимания предстает работа курсантов с учебными стендами, их модернизацией. Так, в 2023 году был представлен «микропроцессорный модулятор», предназначенный для контроля эксплуатационных характеристик

учебного стенда [11, 12]. Курсантами Омского автобронетанкового инженерного института в рамках дополнительного обучения рассматриваются и изучаются вопросы, связанные с влиянием электромагнитного вооружения на средства бронетехники.

На протяжении нескольких лет на базе учебного направления «Эксплуатация и ремонт радиотехнических средств наведения зенитного ракетного комплекса противовоздушной обороны Военно-воздушных сил» кафедры Военно-космических сил ВУЦ Уральского федерального университета формируется группа курсантов, ответственная за модернизацию и ремонт оборудования кафедры. Главным объектом работы курсантов является учебный эмулятор зенитного ракетного комплекса С-300 ПС (подвижный, самоходный) [13]. На его базе в свободное от учебы время осваиваются: навык схемотехники; навык трассировки; навык использования средств автоматизированного проектирования; навык программирования; опыт научной работы (участие в конференциях).

Развитие навыков и отличные от основного места обучения задачи не могут не повысить заинтересованности курсантов в дальнейшей работе в области изучаемого направления. При этом имеет место несколько выводов:

- формирование группы курсантов с четким техническим заданием и планом работы способствует не только появлению, но и углублению навыков использования различных технических средств, так как курсанты, помимо обучения в военном учебном центре, получают основное, техническое образование;

- внеучебная работа курсантов может быть заменена работой в учебное время, с учетом выполнения курсантами контрольных мероприятий по основному учебному процессу;

- количество человек в инициативных группах затруднительно увеличить, однако имеется возможность создания нескольких инициативных групп с различными направлениями работы.

Таким образом, участие в кружковой деятельности активизирует творческие способности и стремление курсантов к постоянному самосовершенствованию, создает условия для развития и формирования исследовательских компетенций, стимулирует получение практических и организаторских навыков работы в коллективе, а также способствует совершенствованию личностных качеств, таких как дисциплинированность и ответственность.

Список используемых источников

1. Команда ВУЦ успешно выступила на VI Международной олимпиаде курсантов, 2021. URL: <https://abiturient.ru/news/134755> (дата обращения: 13.02.24).

2. Нехватка молодых инженеров ставит под угрозу отечественное авиастроение, 2023. URL: <https://rg.ru/2023/02/03/reg-cfo/patrushev-nehvatka-molodyh-inzhenerov-stavit-pod-ugrozu-razvitie-otechestvennogo-aviastroeniia.html> (дата обращения: 10.01.24).

3. Дефицит инженерных кадров в России, 2023. URL: <https://www.vedomosti.ru/management/articles/2023/07/25/986739-v-rossii-postoyanno-govoryat-o-defitsite-inzhernih-kadrov> (дата обращения: 10.01.24).
4. Тумалев А. В., Тумалева Е. А. Психолого-педагогический потенциал виртуальной реальности и иммерсивных технологий // Материалы конференции «Региональная информатика» (РИ-2022) / Юбилейная XVIII Санкт-Петербургская международная конференция. СПб., 2022 г. С. 353–354.
5. Сухорукова А. А., Стельмащук И. В. Техническое творчество как сущностная самореализация военного специалиста // Журнал «Kant», 2023 г. С. 323–329.
6. Научные студенческие кружки Российского государственного университета правосудия, 2023. URL: <https://rgur.ru/?mod=pages&id=553> (дата обращения: 07.02.24).
7. Соловьева Е. Н., Орлова И. С., Кузнецова Я. В. Студенческий научный кружок как инструмент в реализации результатов научно-исследовательской деятельности // Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области, 2019 г. С. 48–51.
8. Сибгатуллина А. А. Студенческий научный кружок как форма организации научно-исследовательской деятельности студентов // Педагогический журнал, 2023. С. 516–526.
9. Закирьянов А. Г., Хуснуриялов Б. Ф., Золин К. И. Отечественные беспилотники: прошлое, настоящее, будущее // Динамика развития системы военного образования: Омск, 17 марта 2023 г. С. 365–370.
10. Шарапов А. Ф., Хабибуллиан А. И., Закирьянов А. Г. Анализ применения разведывательных спутников в военных конфликтах // Динамика развития системы военного образования: Омск, 17 марта 2023 г. С. 529–534.
11. Крюков К. С., Талызин В. С. Применение гаходизельной системы питания к наземному транспорту специального назначения // Динамика развития системы военного образования: Омск, 17 марта 2023 г. С. 399–402.
12. Ядров В. И., Пепеляев А. В., Бармак А. Т. Использование «микропроцессорного модулятора» для контроля эксплуатационных параметров работы учебного стенда подогревателя танка Т-72 // Динамика развития системы военного образования: Омск, 17 марта 2023 г. С. 529–534.
13. Кременецкий М. В. Модернизация эмулятора аппаратного контейнера Ф2К ЗРК С-300ПС для практических занятий с курсантами кафедры ВКС // Теория и практика военного образования в гражданских вузах: педагогический поиск. Екатеринбург, 2021. С. 316–320.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

**А. А. Поляков, А. К. Сагдеев, Д. С. Самаркин, Е. Н. Сидоренко,
И. А. Скрыков**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Основными задачами системы технической разведки являются получение характеристик объекта разведки и принятие решения о принадлежности объекта разведки к определенному классу. Для формирования входного массива данных для системы технической разведки необходимо определить основные правила степени обученности технической разведки.

ИТКС СН, технические средства разведки, обученность системы технической разведки

Техническая разведка реализует комплекс мероприятий по добыванию и изучению сведений. Система технической разведки совокупность действий сил ТСР, взаимоувязанных алгоритмами функционирования и управления в интересах решения разведывательных задач [1]. Система технической разведки является сформированной если она позволяет решать следующие задачи:

- измерять характеристики объекта разведки и осуществлять его описание каждым техническим средством;
- принимать решение о принадлежности объекта разведки к определенному классу объектов;
- передавать в центр обработки (на командный пункт) описания объектов или сведения о принятых решениях;
- принимать с командных пунктов информацию от других видов разведки с целью корректировки априорной информации и правил принятия решения.

Анализ приведенных выше задач и публикаций позволяет сделать вывод о том, что процесс технической разведки включает следующие подпроцессы [2]:

- поиск объекта разведки; местоопределение объекта; наблюдение за состоянием объекта;
- обработка разведданных и управление системой разведки.

В общем случае каждый подпроцесс реализуется подсистемой, качество функционирования, которых оценивается вероятностновременными

показателями: $P_{обн}(\bar{t}_{обн})$; $P_{мп}(\bar{t}_{мп})$; $P_{он}(\bar{t}_{он})$. Качество функционирования технической разведки оценивается вероятностью и средним временем вскрытия $P_{вскр}(\bar{t}_{вскр})$. Тогда параметры вскрытия объектов можно записать

$$P_{вскр} = P_{обн} \cdot P_{мо} \cdot P_{расп}$$
$$t_{вскр} \rightarrow f(\bar{t}_{обн}, \bar{t}_{мо}, \bar{t}_{расп}).$$

Достоверность вскрытия объекта определяется количеством и качеством априорной информации об объекте и правилом принятия решения [3]. Качество априорной информации может быть повышено «обученностью» ТСР. Однако в условиях противодействия техническим средствам разведки (ПД ТСР) априорная информация стареет. В этом случае достоверность решения о вскрытии объекта можно повысить выбором:

- решающих правил;
- способов ведения разведки;
- информативных признаков.

Повысить достоверность решения при вскрытии объектов можно увеличением количества априорной информации за счет объединения ТСР в систему.

Работа каждого ТСР находится в рамках статистической модели распознавания [4–6]. Для такой модели известно большое число правил принятия решения. Выбор конкретных правил зависит от степени обученности ТСР. Основными правилами являются (табл. 1):

- правило идеального наблюдателя – ТСР не принимает решений, они только выделяют признаки объекта;
- правило простого голосования – каждое ТСР обрабатывает информацию, а решение принимается в пользу того класса, за который высказались большинство ТСР;
- правило оптимального взвешенного голосования – решение принимается в пользу того класса, которому соответствует максимальная взвешенная сумма голосов;
- правило максимальной уверенности – решение принимается в пользу того класса, которому соответствует максимальная по всем ТСР вероятность гипотез.

Наибольшее количество априорной информации требует правило идеального наблюдателя $[P(A_i), P(X_j/A_i)]$. В соответствии с этим правилом ТСР составляют описание объекта и дают вероятностную оценку гипотезы (h_{ij}) о принадлежности распознаваемого объекта:

$$\hat{h}_{i,j} = P(A_i/X_j) = \frac{P(A_i) * P(X_j/A_i)}{\sum_{i=1}^S P(A_i) * P(X_j/A_i)}, i = \overline{1, N},$$

где $A = \{A_i\}$, $i=1, S$ – алфавит элементов объекта разведки; N_i – класс элементов объекта разведки; M – количество типов элементов объекта разведки; X_j – описание элемента сети связи j -го типа; $P(A_i), P(X_j / A_i)$ – априорные значения вероятностей.

Последний этап опознавания объектов состоит в принятии решения в пользу того класса, которому соответствует. Это правило обеспечивает минимум ошибок при принятии решения ТСР, но требует последующих этапов обработки и максимума априорной информации.

ТАБЛИЦА 1. Основные правилами степени обученности технической разведки

Решающее правило	Исходная информация	Количество этапов обработки	Способ обработки информации	Связность α_{ijt}
1.Идеализированное			Гипотетический – считается, что распознающий автомат, который не ошибся, определен достоверно	
2.Идеального наблюдателя	$x_j = \{x_{ij}\}$ $\frac{P(\lambda_i/x_i)}{P(\lambda_j/x_j)} > \frac{P(x_i)}{P(x_j)}$	2	Распознающие автоматы не принимают решений, они только измеряют признаки объекта. Решение принимается на каждом пункте по критерию идеального наблюдателя	
3.Простого голосования	$\{k_{ijt}\}$	2	Решение принимается в пользу того класса, за который высказалось большинство распознающих автоматов	$\alpha_{ijt} = 1$ по всем i, j, t
4.Взвешенного голосования	$\{k_{ijt}\} \cdot \lambda_i$ $t = \overline{1, T}$	2	Решение принимается в пользу того класса, которому соответствует максимально взвешенная сумма голосов распознающих автоматов	$\alpha_{ijt} = \Psi(\lambda_c)$ по всем j
5.Оптимального голосования	$\{k_{ijt}, \max_i h_{ijt}\}$			$\alpha_{ijt} = \Psi(\max_i h_{ijt})$
6.Максимальной уверенности	$\{k_{ijt}, \max_i h_{ijt}\}$	1	Решение принимается в пользу того класса, которому соответствует максимальная по всем распознающим автоматам вероятность гипотезы	$\alpha_{ijt} = 1$, если $t = t^*$ $= \max_{i,j} h_{ijt}$, $\alpha_{ijt} = 0$, если $t = t^*$ $= \max_{i,j} h_{ijt}$,

Список используемых источников

1. Горбачева М. А., Сагдеев А. К. Проблемы обеспечения защищенности инфотелекоммуникационной сети военного назначения при ведении информационной войны // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2015. С. 426–429.
2. Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А., Тихомиров Д. А. Применение теории игр для исследования радиоэлектронного конфликта // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2019. Т. 4. С. 518–521.
3. Кощеев А. В., Лашин Ю. Ф., Сагдеев А. К., Халепа С. Л. Вопросы конфликтологии в системах военного назначения // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 1–2. С. 27–31.
4. Назарова О. Ю., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В., Шилина А. Н. Совершенствование методики количественной оценки угроз информационной безопасности телекоммуникационных систем и сетей // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2021. № 2. С. 77–84.
5. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Алгоритм корреляции структурно резервированной информационно-телекоммуникационной сети с учетом применения противником средств и методов противодействия // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы, модели, анализ и управление, 2022. № 2. С. 13–24.
6. Лукин К. И., Сагдеев А. К., Стахеев И. Г., Титова О. В. Математическая модель конфликта информационно-телекоммуникационных систем специального назначения в киберпространстве // Научно-практический журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2022. № 07. С. 78–82.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БОЕВЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ДЛЯ УКЛОНЕНИЯ ОТ РАКЕТ КЛАССА «ЗЕМЛЯ-ВОЗДУХ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

А. И. Попов, М. Р. Семкина, Э. Ф. Тухбатуллина

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

В этой статье предлагается новый подход к обучению с подкреплением для выполнения задач боевого беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Рассматриваются миссии со следующими целями: уклонение от управляемых ракет, полет по кратчайшей траектории и полет в структуре. Для обучения с подкреплением важно представление текущего состояния агента. Предлагается новый метод использования координат и угла наклона БПЛА для эффективного представления его состояния.

Глубокое обучение с подкреплением, боевой беспилотный летательный аппарат, глубокое обучение, планирование траектории, разведка

Боевые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) станут важным ресурсом в будущих военных системах, поскольку они могут заменить людей при выполнении опасных задач [1]. Ожидается, что в ближайшее время БПЛА будут в режиме реального времени и без вмешательства человека распознавать и оценивать изменения в военной обстановке, такие как угрозы противника класса "земля-воздух". Кроме того, беспилотники смогут выполнять разведывательные задачи и наносить удары по целям. Целью обучения с подкреплением (ОП)[2] является изучение оптимальной политики агента для задачи управления путем максимизации показателя эффективности. Для достижения данной цели будет исследовано сочетание самообучения [3] и случайной сетевой дистилляции (ССД). ССД решает сложную проблему разведки, присуждая вознаграждение за разведку с использованием максимизации градиента эффективности. Однако при подходе ССД во время обучения может произойти «катастрофическое забывание», поскольку сеть предсказателей узнает только о состояниях, которые агент посетил совсем недавно. Следовательно, ошибка прогнозирования накапливается с течением времени, и выигрыш в показателе требует дополнительных ресурсов для ранее посещенных состояний.

Миссия для БПЛА будет определена следующим образом: уклоняться от управляемых ракет, находить кратчайший путь и достигать намеченного

пункта назначения. Для эффективного ОП в многомерном пространстве предлагается усиление эффекта имитации (УФИ) [4] на основе комбинации самообучения и ССД для проведения глубоких исследований. Чтобы избежать «катастрофического забывания», используется пул сохраненных выборок для обновления сети предикторов во время имитационного обучения таким образом, чтобы сеть предикторов могла единообразно изучать посещенные состояния.

На рис. 1 показана визуализация среды миссии БПЛА. Эта виртуальная среда представляет собой область размером $100 \times 200 \times 30$ км в высоту, ширину и глубину соответственно и включает в себя четыре сети противовоздушной обороны, каждая радиусом 30 км. Цель состоит в том, чтобы обучить БПЛА достигать цели из начальной точки в течение ограниченного периода времени, избегая попадания ракет.

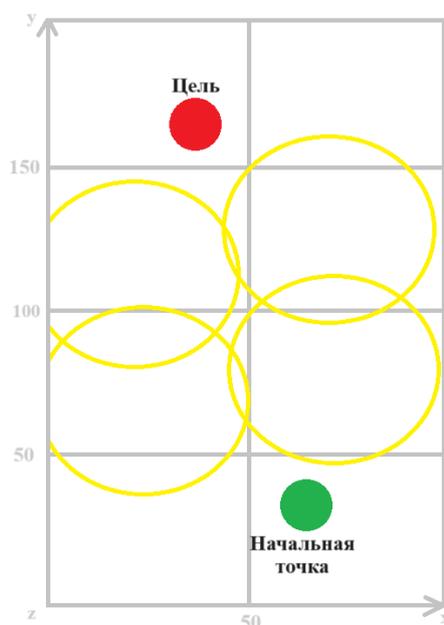


Рис. 1. Окружение миссии БПЛА.

При проведении экспериментов рассматривались два условия окружающей среды: среда для одиночного беспилотника (в этой среде цель состоит в том, чтобы одиночный БПЛА двигался по кратчайшему пути от начальной точки до цели, избегая при этом ракет противника) и среда формирования полета. В среде формирования полета структура состоит из четырех БПЛА. Аналогично, цель состоит в том, чтобы рой прошел от начальной точки до целевой точки по кратчайшему расстоянию для каждого дрона. В этом случае используется четыре сети.

На рис. 2 показан угол крена БПЛА, угол траектории полета и курсовой угол. Тяга двигателя влияет на скорость дрона. Угол крена и коэффициент загрузки влияют на курсовой угол и угол траектории полета.



Рис. 2. Угол крена, угол траектории полета и курсовой угол БПЛА.

Для ракет применяется пропорциональная навигационная индукция, чтобы позволить им преследовать БПЛА [5]. Этот алгоритм работает путем разделения трехмерного пространства на три перпендикулярные плоскости: $xу$, xz и yz . Предполагается, что когда БПЛА входит в радиус действия ракеты, она всегда способна распознать БПЛА, и если расстояние между беспилотником и ракетой составляет менее 0,5 км, то дрон не в состоянии уклониться от ракеты.

В системе координат координатные точки не имеют линейной зависимости значений. Поэтому, предлагается новый метод эффективного представления пространственной системы координат. В этом способе координата для каждой оси преобразуется в вектор однократного кодирования, и затем векторы осей объединяются. Используя этот подход, есть возможность значительно уменьшить размерность вектора, представляющего координаты, что позволяет представлять вещественные координаты в ограниченных измерениях.

Сформулировать представление состояния угла для ОП также сложно, поскольку углы обычно вращаются в течение полного периода, равного 360° . В связи с этим, применяется метод эффективного координатного вектора (ЭКВ) [6] к полярной системе координат. Угол преобразуется в положение в верхней части окружности с помощью системы полярных координат, а затем представляется как состояние с помощью метода ЭКВ.

Для представления конечного состояния БПЛА используется следующая информация. В среде одиночного БПЛА: траектория полета дрона; угол траектории, курсовой угол и угол крена беспилотника; скорость и коэффициент загрузки БПЛА; расстояние между дроном и ракетой; горизонтальные и вертикальные углы между БПЛА и ракетой. В среде формирования полета: состояния соответствующих одиночных сред БПЛА; расстояние между центром структуры и каждым беспилотником.

Вознаграждение по умолчанию равно нулю, за исключением следующих конкретных ситуаций. В среде одиночного БПЛА: в результате ракетного обстрела; когда дрон прибывает в целевую точку; переходит в режим полета. В среде формирования полета: награды за соответствующие условия одиночного БПЛА и расстояние между центром структуры и каждым беспилотником.

Усиление эффекта имитации. Обучение продвигается путем соответствующего взвешивания прошлых правильных решений. При этом типе обучения всесторонне рассматривается история обучения. С добавлением вознаграждения за исследование агент будет поощрен к дальнейшему изучению новых состояний. Кроме того, существует высокая вероятность того, что предыдущий переход будет использован в самообучении, даже если он уменьшится. Другими словами, эти два алгоритма дополняют друг друга, и самообучение невосприимчиво к явлению, при котором ненулевая ошибка прогнозирования больше не возникает.

Добавление вознаграждения за разведку к новому состоянию, которое посещает агент, является эффективным стимулом. Метод вознаграждения за разведку обеспечивается, когда агент сам выполняет неожиданное действие, но не тогда, когда агента побуждают к этому действию. Таким образом, вознаграждение позволяет отклоняться от состояний, которые неоднократно посещаются агентом, и косвенно усиливать эффект имитации для самообучения.

Сеть предикторов в ССД в основном узнает о состояниях, которые агент недавно посетил. Таким образом, может произойти катастрофический процесс получения информации, при котором знания, полученные из предыдущих задач, «забываются». Если ошибка прогнозирования увеличивается для состояния, которое агент посещал ранее, агент может предположить, что предыдущее состояние является новым, что мешает агенту эффективно исследовать. Для смягчения этого явления сохраняются выходные данные целевой сети и соответствующий признак состояния в памяти сети-предиктора, чтобы сеть-предиктор не «забывала» прошлые признаки состояния. Использование такой памяти предиктора уменьшает ошибку предсказания для состояний, которые агент посещал ранее, повышая вероятность того, что агент исследует новые состояния.

Предлагаемый алгоритм для среды БПЛА. На этапе моделирования состояние дрона, состоящее из координат и информации о взаимосвязи между БПЛА и ракетой, передается в сеть. Вычисляется разность выходных данных между сетью-предиктором и целевой сетью для функции текущего состояния, чтобы получить внутреннее вознаграждение. Следующая позиция беспилотника определяется на основе выходных данных актера-критика. Если расстояние между дроном и ракетой находится в пределах радиуса действия ракеты, ракета запускается, и выводятся внешняя награда и следующее состояние БПЛА. Как только известны следующие координаты дрона, этап завершается, и состояние, действие, награда, следующее состояние и функция состояния сохраняются в буферах воспроизведения. Эпизод заканчивается, когда беспилотник достигает целевой точки из начальной, покидает зону миссии, сбивается ракетой или не достигает целевой точки в течение 600 секунд. Как только этап моделирования заканчивается, начинается

этап обучения. На этом этапе сеть оптимизируется, и самообучение выполняется путем случайной выборки экземпляра (состоящего из состояния, действия, вознаграждения и следующего состояния) из буфера воспроизведения. Затем сеть предикторов ССД оптимизируется с использованием характеристик состояния, сохраненных в буфере воспроизведения. После завершения этапа обучения этап моделирования запускается снова. Каждый этап выполняется повторно.

В этой статье был предложен алгоритм ОП для управления БПЛА для достижения множества целей с помощью действий, аналогичных поведению человека. Этот алгоритм усиливает эффект имитации, что приводит к глубокому исследованию и позволяет быстро перейти к желаемой политике. В обеих экспериментальных средах было подтверждено, что предложенный подход УФИ превосходит существующие алгоритмы как с точки зрения скорости сходимости, так и стабильности обучения.

Список используемых источников

1. Павлов Р. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в современных военных конфликтах / Р. А. Павлов, К. П. Савельев // Молодой ученый, 2022. № 51 (446). С. 48–50.
2. Саттон Р., Барто Э. Обучение с подкреплением: Введение / пер. с англ. А. А. Слинкина. М: ДМК-Пресс, 2020. 552 с.: илл.
3. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов. СПб.: Питер, 2020. 192 с.
4. Терренс Сейновски. Антология машинного обучения. Важнейшие исследования в области ИИ за последние 60 лет/ пер. с англ. Райтман М. А., Сазанова Е. В. Бомбора, 2022. 304 с.
5. Соловьев А. А. и др. Применение метода пропорциональной навигации при решении задач судовождения. Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 4. С. 400–408
6. Степаненко Г.А. Об эффективности векторного метода при решении некоторых геометрических и алгебраических задач / А. Г. Степаненко, Т. А. Пономаренко, Д. Р. Сытникова // Мир науки. Педагогика и психология, 2023. Т. 11. № 2.
7. Дмитриенко М. Е., Ерыгин В. В., Семкина М. Р. Проблемы целеуказания для нескольких объектов с использованием стратегий ротации и кластерного подхода. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 1. С. 404–408.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

ДИЗАЙН ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

А. И. Попов, М. Р. Семкина, Э. Ф. Тухбатуллина

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Данная работа исследует разработку интерфейса управления беспилотными летательными аппаратами. БПЛА обладают большой степенью автономности при выполнении задач с помощью наземного контроллера. В работе рассматривается иммерсивный интерфейс, который помогает операторам в выполнении одной или нескольких автоматизированных задач. Это позволяет операторам назначать задачи беспилотникам, в то время как обеспечивается безопасность полетов путем обнаружения и предотвращения ошибок.

БПЛА, иммерсивный интерфейс, обнаружение и разрешение ошибок в полете, операторы БПЛА

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – воздушное судно без пилота, которое может быть управляемо наземным оператором или автономно. БПЛА имеет широкий спектр применения [1], но особую роль играет его использование в военных задачах. Разработка системы управления БПЛА является сложной задачей из-за технологических [2] и поведенческих ограничений [3]. Это включает в себя прокладку маршрута беспилотного летательного аппарата таким образом, чтобы поддерживались бесполетные зоны, а столкновения с физическими объектами и другими беспилотными летательными аппаратами обнаруживались на ранней стадии и в конечном итоге предотвращались. Для достижения поставленных целей с помощью обнаружения и предотвращения ошибок был разработан специальный интерфейс. Он основан на использовании иммерсивных технологий, которые позволяют операторам назначать задачи аппаратам, а также снижать воспринимаемую когнитивную нагрузку [4].

Обмен информационными сигналами между ними осуществляется через совместный интерфейс, который может быть реализован с помощью различных средств связи, таких как Wi-Fi, LTE, радиочастотная связь или спутниковая связь. Однако все эти технологии имеют определенные ограничения, такие как максимальная дальность передачи сигнала и задержки. В результате удаленность между беспилотником и оператором создает информационную асимметрию. Беспилотник воспринимает информацию от своего окружения, но оператор не всегда имеет доступ к полной

сенсорной информации. Для передачи информации между ними может использоваться только подмножество данных, считаемых релевантными [5].

При разработке иммерсивного интерфейса для управления беспилотными летательными аппаратами ключевой целью, стоящей за дизайном, является смягчение негативных последствий информационной асимметрии.

При исследовании поведения совместной работы оператора и БПЛА, в интерфейсе была выбрана технология погружения [6]. Она позволяет визуализировать и физический мир, и зеркальную виртуальную презентацию с одинаковым уровнем размерности, что помогает снизить когнитивную нагрузку пользователей. Однако при разработке иммерсивного интерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом возникают определенные проблемы: нужно найти подходящую визуализацию для виртуальной среды, беспилотника и его перемещений, а также формы взаимодействия. Погружение помогает зафиксировать физические размеры беспилотника, его местоположение, направление и окружающую среду.

В рассматриваемой системе местоположение объектов зависит от базовой системы отсчета для пространственного восприятия. Есть два типа систем отсчета: экзоцентрическая и эгоцентрическая [7]. Экзоцентрическая система отсчета описывает местоположения независимо от точки зрения оператора, а эгоцентрическая – с точки зрения оператора. Чтобы улучшить понимание пространственного окружения была выбрана экзоцентрическая система для задач навигации и мониторинга. Однако для восприятия вид моделируется через эгоцентрическую систему отсчета относительно самого беспилотника, так как восприятие связано с сенсорным вводом от беспилотника.

Предлагаемая система состоит из четырех важнейших компонентов: представление виртуального мира, ввод действий, компьютеризированная поддержка оценки данных датчиков и автоматизация беспилотного летательного аппарата. Представлены следующие виды: (А) вид для мониторинга полета в режиме реального времени, (Б) вид для управления беспилотным летательным аппаратом и (В) вид для зондирования. Пользователь может переключаться между ними по мере необходимости. Автоматизация (Г) обеспечивается базовой функциональностью (не посредством визуализации).

А. Интерфейс в режиме реального времени. Мониторинг полета. Виртуальное представление физического мира включает 3D-визуализацию, чтобы отобразить пространственные свойства окружающей среды и возможные препятствия. Виртуальный мир также включает отображение аватара беспилотного летательного аппарата, либо явным, либо неявным образом. Интерфейс позволяет отслеживать расположение беспилотника. Также определены дополнительные элементы, такие как запас прочности и траек-

тория полета, чтобы обеспечить безопасность и предотвратить столкновения. Интерфейс позволяет пользователю взаимодействовать с виртуальным миром, а автоматическое отслеживание перемещения беспилотника помогает снизить когнитивную нагрузку. Скриншоты из интерфейса для мониторинга полета в режиме реального времени представлены на рис. 1. На скриншотах показан пример, в котором два беспилотных летательных аппарата выполняют маневр предотвращения столкновения. На этом виде присутствие БПЛА обозначено желтой сферой, безопасный запас – зеленая сфера и траектория полета – стрелки показывают направление. Отклонения от оптимального курса выделены красным.

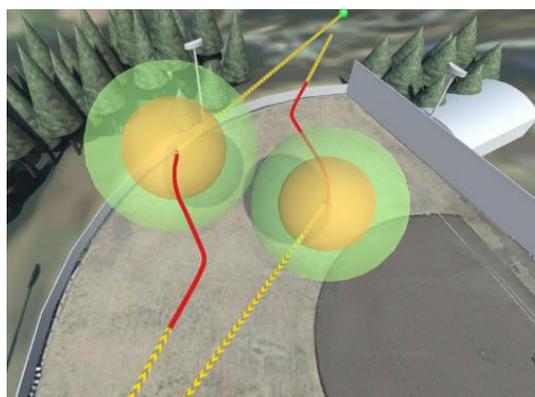


Рис. 1. Вид для мониторинга полета в режиме реального времени

Б. Вид интерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом (ввод действий). Этот вид позволяет пользователям управлять беспилотными летательными аппаратами путем ввода действий и задач. Операторы выбирают целевое местоположение, на основе которого беспилотный аппарат определяет маршруты и выполняет необходимые действия. БПЛА также может автоматически контролировать высоту, учитывая изменения рельефа местности, препятствия и бесполетные зоны. На интерфейсе отображается карта, на которой можно выбрать местоположение. После выбора местоположения пиксель преобразуется в GPS-координаты, которые затем передаются беспилотному аппарату для выполнения. Роль пользователя в управлении беспилотными летательными аппаратами меняется с непосредственного управления на стратегическую роль, где он задает приоритеты и анализирует наблюдаемую среду. Это особенно важно в сложных сценариях применения, так как позволяет сократить объем ручной работы. На рис. 2 показан соответствующий вид.



Рис. 2. Вид для управления беспилотным летательным аппаратом

В. Представление интерфейса для зондирования. Предложенный интерфейс для сенсорики был разработан для улучшения работы операторов, которые часто сталкиваются с большой нагрузкой при оценке сенсорных данных. Это происходит из-за различных условий, в которых происходит снятие данных (освещенность, тени и общее расстояние до земли). Кроме того, операторы обычно отстают в анализе поступающих изображений по сравнению с беспилотником, который отправляет новые изображения. Поэтому необходимы методы автоматизации интерпретации измерений сенсоров. Для этой цели используется компьютеризированная обработка сенсорных измерений с помощью классификатора машинного обучения [8]. Этот классификатор может обнаруживать объекты на изображениях, отмечать их положение и назначать соответствующие описания. Затем классификатор используется для аннотирования видеоматериала цветными кадрами и дополнительными описаниями. Каждый отдельный объект окрашивается в разные цвета для удобства их различения в условиях скопления людей. Интерфейс также автоматически отражает взаимодействие человека с человеком, взаимодействие человека с объектом и отсутствие взаимодействий. Например, оператор может увидеть информацию о жизнеобеспечении, если она предоставлена, переноске пострадавшего, вызове помощи или обнаружении бездвижных жертв. Пример результирующего представления интерфейса для поддержки анализа данных датчиков показан на рисунке 3.



Рис. 3. Вид для определения местоположения

Г. Автоматизация в системе управления беспилотными летательными аппаратами. В дополнение к вышеупомянутым аспектам, относящимся к интерфейсу, сам удаленный беспилотник необходимо настроить таким образом, чтобы он мог справляться с ситуациями без прямого контроля со стороны человека. По этой причине он должен быть оснащен возможностями обработки информации и принятия решений, гарантирующими надежную работу. Это предполагает ситуационную осведомленность и набор правил, из которых БПЛА выводит свои действия. Таким образом, реализуется полнофункциональный компонент для автоматической навигации. Это позволяет беспилотнику выполнять ряд действий, таких как посещение путевых точек и фотосъемка. В случае полного сбоя связи беспилотный летательный аппарат оснащен режимом безопасности, который инициирует безопасную посадку. Автоматическое управление использует широкий спектр сенсорных компонентов (GPS, компас, акселерометр, гидролокатор, видеокамеру) для измерения его положения в пространстве и местной окружающей среде. Затем реализуется бортовое решение, позволяющая управлять движениями БПЛА, поддерживать высоту и избегать прямых столкновений.

Представленный интерфейс успешно преодолевает информационную асимметрию между оператором и беспилотником, помогает достигать лучшую производительность и снижать воспринимаемую когнитивную нагрузку. Однако, информационная асимметрия является распространенной проблемой не только в области беспилотных летательных аппаратов, но и в других областях, где выполняются управление автоматизированными или автономными машинами. Поэтому данное исследование имеет потенциал для применения и в других сферах, где необходимо преодолеть информационную асимметрию между операторами и машинами.

Список используемых источников

1. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. 312 с.
2. Каримов А. Х. Возможности беспилотных авиационных систем следующего поколения. Москва: Электронный журнал «Труды МАИ», 2015. Выпуск № 47. 11 с.
3. Моисеев В. С. Беспилотные летательные аппараты: Отечественная история создания и современная классификация. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. 40 с.
4. Франчески К., Ли Р. М., Занакис С. Х. и Хиндс Д., Вовлечение группового электронного обучения в виртуальных мирах, 2009. Т. 26, № 1, С. 73–100.
5. Каштанов В. В., Немтинов В. А. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности. Тамбов, 2014.
6. Бхагватвар А., Мэсси А. и Деннис А. Контекстуальный прайминг и проектирование 3D-виртуальных сред для улучшения группового мышления, 2018. Т. 29. № 1. С. 169–185.
7. Кугуракова В. В., Хафизов М. Р., Кадыров С. А., Зыков Е. Ю. Удаленное управление роботизированным устройством с использованием технологий виртуальной реальности. Казань, 2022. 14 с.
8. Марти М., Барекатен М., Ши Х.-Ф., Мюррей С., Ютака М. и Прендингер Х. Ситуационная осведомленность для БПЛА, использующих технологии глубокого обучения, 2017.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

РАЗРАБОТКА И ОПТИМАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПОЛНОДУПЛЕКСНОГО ПРОТОКОЛА АКД ДЛЯ КОГНИТИВНЫХ РАДИОСЕТЕЙ С УЧЕТОМ СОБСТВЕННЫХ ПОМЕХ

А. И. Попов, М. Р. Семкина, Э. Ф. Тухбатуллина

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье предлагается протокол адаптивного контроля доступа к среде для полнодуплексных когнитивных радиосетей, в котором вторичные пользователи ПД выполняют согласование каналов с последующим одновременным определением спектра и передачу только с максимальной мощностью на двух разных этапах в каждом цикле согласования и доступа. Предлагаемый протокол ПД когнитивный АКД не требует синхронизации между ВП, эффективно использует спектр и снижает самоинтерференции в приемопередатчике ПД. Разрабатывается математическая модель для анализа пропускной способности протокола ПДК-АКД.

адаптивный контроль доступа (АКД), полнодуплексные когнитивные радиосети, пропускная способность, синхронизация, протокол ПДК-АКД, самоинтерференция

Разработка протоколов адаптивного контроля доступа (АКД) для эффективного совместного использования пробелов является важной темой исследований в когнитивных радиосетях (КРС). Одним из важнейших требований к дизайну когнитивного АКД является то, что передачи в лицензированном диапазоне частот от основных пользователей (ОП) должны быть удовлетворительно защищены от доступа к спектру вторичных пользователей. Следовательно, когнитивный АКД-протокол для вторичной сети должен реализовывать как функции определения спектра, так и функции доступа, чтобы можно было своевременно обнаруживать связь ОП и эффективно распределять спектр между ВП. Большинство существующих исследовательских работ по когнитивным протоколам АКД были сосредоточены на проектировании и анализе полнодуплексного (ПД) АКД (например, см. [1–4] и ссылки в них).

Из-за ограничения ПД, ВП обычно используют двухэтапную процедуру определения / доступа, при которой они выполняют определение спектра на первом этапе, прежде чем получить доступ к доступному спектру для передачи данных на втором этапе. Ограничение ПД также требует синхронизации ВП на этапе определения спектра, что может быть трудно достичь на практике. Фактически, распознавание спектра позволяет ВП обнаруживать пробелы, которые не заняты ОП [2]; следовательно, несовершенное

распознавание спектра может снизить использование спектра из-за сбоя в обнаружении пробелов и потенциально привести к столкновениям с активными ОП. Следовательно, необходимо разработать сложный дизайн и настроить параметры когнитивных протоколов АКД для достижения хорошей производительности при надлежащей защите ОП [1]. В результате традиционные протоколы АКД, адаптированные к КРС, могут не обеспечивать удовлетворительной производительности.

В целом, протоколы ПД АКД могут не очень эффективно использовать пробелы, поскольку может потребоваться значительное время считывания, которое в противном случае было бы использовано для передачи данных. Более того, ВП могут не своевременно обнаруживать активность ОП во время их передач, что может вызвать серьезные помехи для активных ОП. Благодаря последним достижениям в области технологий ПД, ПД-радиостанция может передавать и принимать данные одновременно в одной и той же полосе частот. Фактически, технология ПД может быть интегрирована в беспроводные сети следующего поколения, например, сети малой сотовой связи и гетерогенные беспроводные сети [5], чтобы значительно повысить производительность сети.

Разработка полнодуплексного когнитивного протокола АКД

Предлагаемый протокол ПДК-АКД объединяет три важных элемента когнитивного протокола АКД, а именно разрешение конфликтных ситуаций, определение спектра и функции доступа.

Допускается два возможных режима работы на этапе передачи. Первый – это режим передачи ПлД (режим ПлД), где существует только одно направление передачи данных от передатчика ВП к приемнику ВП. В этом режиме самоинтерференция на этапе передачи отсутствует. Второй – это режим передачи ПД (режим ПД), в котором предполагается двусторонняя связь между парой ВП (т.е. между двумя узлами ВП в противоположных направлениях проходят два потока данных). В этом режиме достигаемая пропускная способность потенциально может быть увеличена (максимум вдвое по сравнению с пропускной способностью в режиме ПлД), но при количественной оценке пропускной способности необходимо учитывать самоинтерференцию.

Предлагаемая конструкция протокола ПДК-АКД действительно обеспечивает гибкую и адаптивную конфигурацию, которая может эффективно использовать возможности приемопередатчика ПД.

Конфигурация протокола ПДК-АКД для максимизации пропускной способности

В этом разделе изучается оптимальная конфигурация предлагаемого протокола ПДК-АКД для достижения максимальной пропускной способности при удовлетворительной защите ОП.

Постановка задачи

Пусть $NT(T_S, p, P_{sen})$ обозначают нормированную вторичную пропускную способность, которая является функцией времени обнаружения T_S , вероятности передачи p и мощности передачи ВП P_{sen} на этапе определения ПД. Далее предполагается фиксированная длина кадра T , которая устанавливается с меньшим требуемым временем эвакуации T_{eva} для обеспечения своевременной эвакуации из занятого канала для ВП. Необходимо определение подходящей конфигурации для p , T_S и P_{sen} для максимального увеличения вторичной пропускной способности, $NT(T_S, p, P_{sen})$. Оптимальная вероятность передачи p должна соблюдать баланс между уменьшением коллизий между ВП и ограничением накладных расходов протокола. Однако достигнутая пропускная способность менее чувствительна к вероятности передачи p . Поэтому нужно стремиться оптимизировать пропускную способность в течение P_{sen} и T_S для разумного и фиксированного значения p .

Для краткости выражаем пропускную способность как функцию P_{sen} и T_S , т.е., $NT(T_S, P_{sen})$. Предположим, что ОП требует, чтобы средняя вероятность обнаружения была не менее P_d . Тогда проблему максимизации пропускной способности можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} & \max NT(T_S, P_{sen}) \\ & s.t. \widehat{P}_d(\varepsilon, T_S) \geq \overline{P}_d, \\ & 0 \leq P_{sen} \leq P_{max}, 0 \leq T_S \leq T, \end{aligned} \quad (4)$$

где P_{max} – максимальная мощность для ВП и T_S сверху ограничено T . Фактически, первое ограничение на $\widehat{P}_d(\varepsilon, T_S)$ подразумевает, что определение спектра должно быть достаточно надежным для защиты ОП, что может быть достигнуто при достаточно большом времени определения T_S . Кроме того, мощность передачи ВП P_{sen} необходимо соответствующим образом настроить для достижения хорошего компромисса между пропускной способностью сети и снижением уровня собственных помех.

Конфигурация параметров для протокола ПДК–АКД

Чтобы получить представление о конфигурации параметров протокола ПДК–АКД, сначала необходимо изучить оптимизацию в отношении времени обнаружения T_S для данного P_{sen} . Для любого значения T_S потребуется установить порог обнаружения датчика ε таким образом, чтобы ограничение вероятности обнаружения было выполнено с равенством, т.е., $\widehat{P}_d(\varepsilon, T_S) = \overline{P}_d$ как в [5]. Средняя вероятность обнаружения для датчика ПД может быть выражена как:

$$\widehat{P}_d = \int_0^{T_S} P_d^{01}(t) f_{tid}(t|0 \leq t \leq T_S) dt, \quad (5)$$

где t обозначает продолжительность от начала этапа определения ПД до момента, когда ОП переходит в активное состояние, и $f_{\tau_{id}}(t|A)$, τ_{id} зависит от события A определение состояния $0 \leq t \leq T_S$, который представлен в виде:

$$f_{\tau_{id}}(t|A) = \frac{f_{\tau_{id}}(t)}{Pr\{A\}} = \frac{\frac{1}{\tau_{id}} \exp(-\frac{t}{\tau_{id}})}{1 - \exp(-\frac{T_S}{\tau_{id}})}. \quad (6)$$

Следующая задача оптимизации с одной переменной для данного P_{sen} :

$$\begin{aligned} \max NT(T_S, P_{sen}). \\ 0 < T_S \leq T \end{aligned} \quad (7)$$

Для простоты функция пропускной способности записывается как $NT(T_S)$.

Предлагается алгоритм для определения оптимального (T_S, P_{sen}) , который кратко описан в алгоритме 1. Здесь может быть использована схема деления пополам и другие численные методы для определения оптимального значения T_S для данного P_{sen} .

Алгоритм 1 ПДК-алгоритм настройки АКД

- 1: **for** каждого рассматриваемого значения $P_{sen} \in [0, P_{max}]$ **do**
- 2: Найти оптимальный T_S для задачи (7) с использованием метода деления пополам в качестве $\overline{T_S}(P_{sen}) = \mathit{argmax} NT(T, P_{sen})$.
- 3: **end for**
- 4: Окончательное решение (T_S^*, P_{sen}^*) определяется как $(T_S^*, P_{sen}^*) = \mathit{argmax} NT(T_S(P_{sen}), P_{sen})$.

В этой статье был предложен протокол ПДК–АКД для когнитивных радиосетей, проанализирована его пропускная способность и изучена оптимальная конфигурация параметров. При проектировании и анализе учитывались возможности связи ПД и самоинтерференция приемопередатчика ПД. Показано, что существует оптимальное время обнаружения ПД для достижения максимальной пропускной способности. В частности, показано, что протокол ПДК–АКД обеспечивает значительно более высокую пропускную способность, чем протокол ПД АКД, что подтверждает, что протокол ПДК–АКД может эффективно использовать возможности связи ПД. Более того, протокол ПДК–АКД обеспечивает более высокую пропускную способность при увеличении максимального бюджета мощности, в то время как пропускная способность одноступенчатого ПД АКД может снижаться в режиме высокой мощности. Этот результат подтверждает важность применения двухэтапной процедуры на этапе передачи данных и оптимизации времени считывания и мощности передачи на этапе определения ПД для смягчения негативного эффекта самоинтерференции.

Список используемых источников

1. Кормио С. и Чоудхури К. Р. Обзор АКД-протоколов для когнитивных радиосетей. 2009. Том 7. № 7. Стр. 1315–1329.
2. Ючек Т. и Арслан Х. Обзор алгоритмов зондирования спектра для когнитивных радиоприложений. 2009. Том 11. № 1. Стр. 116–130.
3. Лян Й.С., Чен К.С., Ли Г.Й. и Махонен П. Когнитивные радиосети и коммуникации: Обзор. 2011. Том 60. № 7. Стр. 3386–3407.
4. Зу Й., Яо Й.Д. и Чжэн Б. Кооперативные методы ретрансляции для систем когнитивного радио: зондирование спектра и передача вторичных пользователей. Том 50. № 4. Стр. 98–103.
5. Хоссейн Е., Ле Л. Б. и Ниято Д. Управление радиоресурсами в многоуровневых сотовых беспроводных сетях. 2013.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

ЭКОНОМИЧНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ РБО И МАРШРУТИЗАЦИЯ ПОТОКОВ В СЕТЯХ 5G PAKCET XHAUL

А. И. Попов, М. Р. Семкина, Э. Ф. Тухбатуллина

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Сети xHaul с коммутацией пакетов на базе технологии Ethernet считаются перспективным решением для обеспечения конвергентной и экономически эффективной передачи разнообразных потоков радиоданных в плотных сетях радиодоступа 5G. Сложной оптимизационной задачей, на которой сосредоточена работа, в таких сетях является размещение распределенных блоков обработки, реализующих подмножество виртуализированных функций обработки базовой полосы на процессорах общего назначения в выделенных пулах обработки.

5G, сети радиодоступа, xHaul с пакетной коммутацией, сети, чувствительные к задержкам, оптимизация сети, распределение ресурсов, маршрутизация, смешанное целочисленное программирование, эвристика

Эволюция сетей мобильной связи сопровождалась постепенной централизацией радиодоступа сети (ПРС), в которых традиционные базовые радиостанции дезагрегированы на радиомодули, размещенные вблизи антенн, и блоки обработки базовой полосы, расположенные на центральном узле. Дезагрегирование и распределение функций обработки радиосигналов приводит к существованию множества потоков данных, которыми необходимо обмениваться между элементами ПРС 5G, включая фронтальные (ФН) и магистральные (МН) потоки. Эти потоки имеют различные требования к пропускной способности и задержкам.

Масштабируемым и экономически эффективным решением для конвергентной передачи различных потоков данных в 5G-ПРС является сеть xHaul с пакетной коммутацией [1], [2], [3]. Такая сеть может быть реализована с помощью известной пакетной технологии Ethernet, которая была адаптирована для xHaul в стандартах IEEE 802.1CM [4] и 1914.1 [1]. Ethernet позволяет эффективно использовать пропускную способность канала благодаря статистическому мультиплексированию потоков данных xHaul, а также трафика, связанного с другими услугами, такими как 4G, корпоративные и бытовые услуги.

Модель затрат

Работа сфокусирована на оптимизации затрат и стремлении к такому размещению распределенных блоков обработки (РБО) в выбранных точках пулов обработки (ПО), которое минимизирует общую стоимость ПО. Модель затрат учитывает два фактора:

- стоимость активации ПО, которая представляет собой фиксированную стоимость, связанную с активацией и использованием ПО в данном местоположении;
- стоимость обработки ПО, которая представляет собой переменную стоимость, зависящую от нагрузки, связанную с объемом обработки РБО, выполняемой на узле.

Модель задержки

Модель задержки, используемая в этой работе, учитывает, как статические, так и динамические задержки, с которыми сталкиваются пакеты кадров Ethernet во время их передачи по сети.

Статические задержки включают: задержки распространения по каналам связи (на скорости 2×10^5 км/с), сохранение и пересылка задержек в коммутаторах (5 мкс на коммутатор [5]), а также время пакетной передачи по сетевым каналам.

Динамические задержки связаны с задержками буферизации (постановки в очередь) пакетов кадров на выходных каналах коммутаторов, которые вызваны предварительной передачей других (мешающих) пакетов.

Проблема экономичного размещения РБО и маршрутизации потоков

Проблема касается выбора путей маршрутизации из заданного набора возможных путей в транспортной сети xHaul с коммутацией пакетов для маршрутизации потоков FH и MN. Размещение РБО должно быть таким, чтобы общая стоимость затрат в сети была сведена к минимуму.

Эвристический алгоритм

Эвристика, предложенная в данной работе, называется Move and Swap Cluster's Assignment – Repeated Algorithm (MaSCA-RA Перемещение и замена назначений кластера – повторяющийся алгоритм).

Идея алгоритма состоит из двух частей: 1) MaSCA – алгоритм, который решает задачу оптимизации путем итеративного изменения кластерных назначений кластеров (тем самым создавая возможное решение), и 2) RA – механизм, обеспечивающий многократный вызов MaSCA, чтобы получить как можно больше результатов за заданное время.

В процедуре 1 представляется рейтинговая часть MaSCA, которая требует информации о топологии сети и кандидатах пути между каждой парой узлов, и обеспечивает создание рейтинга близости.

Во-первых, для любого заданного кластера c мы определяем пустой РБ(c) как список троек (строка 2). Одна тройка состоит из: а) анализируемого узла ПО; б) среднего количества переходов до анализируемого ПО; в) средней статической задержки до анализируемого ПО. И б), и в) основаны на кратчайшем пути между каждым БР в c и анализируемым ПО. Первым узлом ПО в РБ(c) будет узел, который (в среднем) находится ближе всего к кластеру c . Для этого определяются три списка: 1) countUsage (подсчет использования); 2) countHops (подсчет хопов); 3) countLatency (подсчет задержки), которые хранят информацию обо всех ПО по отношению ко всем БР в кластере c (строки 3–5).

Находим кратчайшие пути между каждым БР в кластере c ($v_{БР}$) и каждым ПО ($v_{ПО}$). Сохраняем количество переходов и статическую задержку этих путей (строки 8–10). Затем заполняем подготовленные ранее списки, чтобы просуммировать: 1) количество БР, которые могут добраться до $v_{ПО}$; 2) количество переходов по кратчайшим путям между этими БР и $v_{ПО}$; 3) статическую задержку этих путей (строки 11–13).

После этого еще раз проходим по всем ПО, чтобы вычислить окончательное расстояние между c и $v_{ПО}$, добавляя к РБ(c) среднее количество хопов (avHops) и среднюю статическую задержку (avLatency) всех кратчайших путей между БР в c и $v_{ПО}$ (строки 17–20). Наконец, сортируем РБ(c) в порядке убывания, сначала по среднему количеству переходов, а затем по средней статической задержке (строка 22).

Процедура 1

```
1: for  $c$  in  $C$  do
2: РБ( $c$ )  $\leftarrow \emptyset$ 
3: countUsage  $\leftarrow \emptyset$ 
4: countHops  $\leftarrow \emptyset$ 
5: countLatency  $\leftarrow \emptyset$ 
6: for  $v_{БР}$  in  $V^{БР}(c)$  do
7: for  $v_{ПО}$  in  $V^{ПО}$  do
8: path  $\leftarrow$  кратчайший путь из  $P(v_1 = v_{БР}, v_2 = v_{ПО})$ 
9: hops  $\leftarrow$  количество переходов в пути
10: latency  $\leftarrow$  статическая задержка пути
11: countUsage( $v_{ПО}$ ) += 1
12: countHops( $v_{ПО}$ ) += hops
13: countlatency( $v_{ПО}$ ) += latency
14: end for
15: end for
16: for  $v_{ПО}$  in  $V^{ПО}$  do
17: usage  $\leftarrow$  countUsage( $v_{ПО}$ )
18: avHops  $\leftarrow$  countHops( $v_{ПО}$ ) / usage
19: avLatency  $\leftarrow$  countLatency( $v_{ПО}$ ) / usage
20: add { $v_{ПО}$ , avHops, avLatency} to РБ( $c$ )
21: end for
22: Отсортируйте РБ( $c$ ) в порядке убывания, сначала по среднему количеству хопов, затем по средней статической задержке.
23: end for
```

Идея процедуры 2 заключается в том, чтобы создать новое решение (`newSolution`) на основе текущего лучшего решения (`bestSolution`) и изменить его с помощью одного из двух операторов: `moveAssignment` (перемещение) или `swapAssignment` (обмен), чтобы найти лучшее решение.

Сначала создается `newSolution`, основываясь на заданном `bestSolution` (строка 1). Затем, основываясь на информации о том, сколько раз оператор `moveAssignment` уже потерпел неудачу, выбирается оператор, который будет модифицировать `newSolution` (строка 2).

Цель оператора `moveAssignment` – уменьшить количество активных узлов ПО, освободив те узлы, которые обслуживают наименьшее количество кластеров. Из списка таких узлов (`поList`) выбирается один ПО случайным образом (строки 3–4). Далее извлекается список `clusterList`, содержащий все кластеры, соединенные с ПО, и случайным образом выбирается один кластер из них (строки 5–6). Далее находим новый ПО, который будет обслуживать этот кластер. Для этого создается список `possibleJumps`, который содержит все ПО узлов, помимо ПО, которые активны и могут потенциально обслуживать кластеру. Используется выбор подходящего движителя (он же выбор колеса рулетки) для выбора нового ПО. РБ оценивает среднее расстояние между кластером и всеми ПО в возможных прыжках. С большей вероятностью прокатываем более близкие ПО. Прокаченный ПО, названный `rolledПО`, теперь будет обслуживать кластер (строки 7–10). Если ПО больше не обслуживает кластеры, деактивируем его.

Цель оператора `swapAssignment` – изменить пространства поиска путем выбора двух случайных кластеров (`cluster1`, `cluster2`), которые обслуживаются разными узлами ПО (`по1`, `по2`). Теперь кластер1 обслуживается `по2`, а кластер2 обслуживается `по1` (строки 15–17).

После модификации нового решения одним из операторов применяется процедура 3, чтобы проверить, является ли полученное решение выполнимым. Если ни одно из условий не выполняется, а оператор `moveAssignment` был использован в этой итерации, увеличиваем `moveFailed`, чтобы после нескольких неудачных попыток этого оператора алгоритм мог изменить пространство поиска (строки 19–26).

Процедура 2

- 1: `newSolution` ← `bestSolution`
- 2: if `movedFailed` < `swapCondition` then
- 3: `поList` ← Все узлы ПО, которые обслуживают наименьшее количество кластеров
- 4: `по` ← случайный из `поList`
- 5: `clusterList` ← все кластеры, соединенные с `по`
- 6: `cluster` ← случайный из `clusterList`
- 7: `possibleJumps`
- 8: roulette
- 9: `rolledPp`
- 10: сделать `rolledПО` новым ПО, который будет обслуживать кластер
- 11: if `по` больше не обслуживает кластеры, then
- 12: деактивировать `по`

```
13: end if
14: else
15: cluster1, cluster2
16: pp1, pp2
17: поменяйте местами кластеры
18: end if
19: if Procedure3(newSolution) выполнима and znewSolution <= zbestSolution then
20: bestSolution ← newSolution
21: moveFailed ← 0
22: else
23: if moveAssignment operator использовался в этой итерации then
24: moveFailed + +
25: end if
26: end if
```

Процедура 3 представляет собой метод оценки решений и метод выбора путей-кандидатов для каждого спроса в сети. Для ее выполнения требуется топология сети с путями-кандидатами и предлагаемое решение, где каждый кластер закреплен за узлом ПО. Процедура 3 возвращает информацию о том, является ли решение выполнимым или нет. Сначала перебираются потоки ($f \in F$), по передней, а затем по средней магистрали. Идея состоит в том, чтобы поместить все фронтальные требования в первую очередь, поскольку они имеют более строгое ограничение по времени. Далее перебираются все требования ($d \in D$) и определяется v как узел ПО, который назначен в кластер d требования (строки 1-3). Извлекаются все пути-кандидаты ($p \in P(d, f, v)$) для потока f из требования $d(f)$, который проходит через ПО v . Устанавливается флаг отказа равным нулю. Затем, если $d(f)$, размещенный на пути p , превышает какое-либо ограничение в сети, устанавливается флаг отказа в 1. Если размещение на p было успешным, p принимается в качестве пути для $d(f)$, обновляются все сетевые задержки и прерывается цикл (строки 4–12). Решение не является выполнимым, если хотя бы для одного $d(f)$ невозможно найти выполнимый путь.

Сложность MaSCA ограничена максимальным количеством путей-кандидатов между любой парой узлов $maxP$, максимальным количеством переходов по одному пути $maxH$, количеством требований в сети $|D|$, и максимальным количеством итераций $maxIterations = MULT \times |D|$, где $MULT$ – параметр. Более подробно, сложность MaSCA равна:

$$O(|D| \times |V_{ПО}| + |D|^2 \times maxP \times maxH). \quad (1)$$

Формула (21) состоит из следующих элементов: 1) сложность создания РБ (процедура 1), где количество кластеров, умноженное на количество БР в них равно числу требований – $O(|D| \times |V_{ПО}|)$; 2) сложность оценки решения (процедура 3) – $O(|D| \times maxP)$; 3) сложность обновления задержек сети во время каждой на основе модели задержек (Процедура 3, строка 9). Во время размещения обновляем задержку/емкость каждого соединения/узла в

пути, а также время ожидания в очереди всех конфликтующих требований на каждого коммутирующего узла на пути – $O(\max H \times |D|)$.

Процедура 3

```
1: for f in F = {FH, MH} do
2: for d in D do
3: v ←
4: for p in P(d, f, v) do
5: fail ← 0
6: if размещение d(f) на p превысит какие-либо ограничения then
7: fail ← 1
8: else
9: поместить d(f) на p и обновить задержки сети
10: break
11: end if
12: end for
13: if fail != 0 then
14: Возвращаемое решение не выполнимо
15: end if
16: end for
17: end for
18: Возвращаемое решение выполнимо
```

В этой статье рассмотрена проблема размещения РБО и маршрутизации потоков в сетях с коммутацией пакетов 5G xHaul. Цель оптимизации была сосредоточена на минимизации затрат на оборудование пула обработки, определенных гибким способом и включающих два компонента, а именно стоимость активации и стоимость обработки. Более того, в рассматриваемую задачу была включена надежная модель задержки потока, гарантирующая, что предел задержки для заданных потоков не будет превышен. Задача была сформулирована в виде эвристического алгоритма *MaSCA-RA*, который обеспечивает хорошие результаты для более проблемных случаев. Предложенный эвристический метод показал свою эффективность в создании оптимизированных решений проблемы планирования сети xHaul на основе пакетов, рассматриваемой в этой работе.

Список используемых источников

1. Поддержка транспортной сети IMT-2020/5G, 2018.
2. Клинковски М. Оптимизация распределения потоков с учетом задержки в сетях NGFI сетях, 2020, том 161, стр. 344–359.
3. Випьер Д., Клиновски М., Мичалски И. Открытая RAN-эволюция сетей радиодоступа, преимущества и тенденции рынка, 2022. Том 12. № 1. Стр. 408.
4. Стандарт IEEE для локальных и городских сетей – чувствительная к времени сеть для фронтального канала, IEEE стандарт 802.1cm-2018, 2018.
5. Стандарт IEEE для пакетных транспортных сетей Fronthaul, 2020.

ANNOTATIONS

RADIO TECHNOLOGY COMMUNICATION

Abramova N., Lipatnikov V., Petrenko M. The Technique of Multiparametric Adaptation of a Radio Network with the Possibility of Self-Organization with a Limited Frequency and Energy Resource. – PP. 5–10.

The initial data for the implementation of the methodology for increasing the stability of the radio network operation by means of multiparametric adaptation of the frequency and energy resource of the radio network are determined. The task is to develop an algorithm for searching for a set of adaptive parameters of a radio network in conditions of limited radio network resources. The method of network calculus is applied to obtain boundary estimates, which ensures the selection of the optimal set of management actions from a possible resource of adaptive parameters.

Key words: network calculus, methodology, self-organizing network, flow, noise immunity, queuing system routing, routing protocol.

Abramova N., Lyashchuk M. Interference Protection of Radio Control and Data Transmission Channels of the Robotics Group Complexes. – PP. 11–15.

The article analyzes the noise immunity of control channels and data transmission of robotic complexes. Various known methods and methods of noise protection are proposed and the expected results from their application are presented.

Key words: noise immunity, control channel, robotic complex, type of modulation, communication technology, radio station.

Agayan D., Timchenko V., Chernov I. Algorithm for Adapting a Statistical Data Set for a Neural Network to Identify Emergency Situations at Industrial Facilities. – PP. 16–19.

A variety of data for training a neural network is an important condition for high-quality problem solving using artificial intelligence and computer vision. However, collecting data is not always possible due to the confidentiality of the required information, the risk of human life or time limitations. As a result, synthetic data obtained through digital image processing can be a good alternative. The article discusses what synthetic data is, when it is best to use it, what generation tools exist, and in what ways synthetic data can be used.

Key words: Neural network training, image processing, dataset.

Ayedh H. M. M. Application For Optimizing Signal Processing Based On Continuous Wavelet Transform For Their Implementation On Devices With Low And Ultra-Low Power Consumption. – 20–24 P.

The article proposes an application developed in a graphical user interface in MATLAB to optimize signal processing based on continuous wavelet transform for the possibility of their implementation on low- and ultra-low-power devices. This application allows you to display graphs of the original electroencephalogram signal, optimization parameters, the modified signal and the resulting wavelet spectrograms.

Key words: wavelet, continuous wavelet transform, graphical user interface (GUI), signal processing, EEG, low power consumption.

Andropov A., Borisov M., Korovin K. Analysis of Methods for Calculating the Radiation Efficiency of Antennas in the Ultra-Long Wave Range. – PP. 25–29.

Evaluating the radiation efficiency of shift band antennas is an important practical task. Several types of evaluation are possible: theoretical evaluation based on the limitations of electrically small antennas, calculation of radiated power by calculating power in the near and far zones. In this paper, the analysis of the results obtained when calculating the antenna in the FEKO program is carried out.

Key words: cable antenna, modeling, gain, FEKO, shift range, radiation resistance, efficiency.

Arsirii A. Possible Applications of Quasicrystalline Structures. – PP. 30–34.

The article provides information about the history of discovery, research and the possibility of using quasicrystalline structures for the needs of nanoelectronics and other industries. Such non-classical crystals have a number of interesting combinations of properties. Materials based on long-period crystals show many promising ways of development and their use in modern engineering and technology.

Key words: Quasicrystal, properties, electronics, nanoelectronics.

Babin N., Panikhidnikov S. Problems of Clogging of Low Earth Orbits. – PP. 35–39.

Despite all the attractiveness of low Earth orbits, their active development is limited by significant technogenic contamination. In this regard, the possibility of mutual collisions, objects falling to Earth, and interference with surveillance equipment increases. Solving these problems involves warning about dangerous situations, protecting spacecraft from man-made debris, and limiting the extent of contamination. An important task is to clear debris from low orbits in such a way that its lifetime does not exceed 25 years.

Key words: Low Earth orbits, space debris, methods for solving space debris problems.

Babicheva I., Vorobyov O., Kachnov A. Evaluation of Methods for Wireless Transmission of Energy and Information through a Metal Shell. – PP. 40–45.

The seabed recorders (stations) are used for marine seismic exploration and monitoring of hydrocarbon deposits in the Arctic shelf zone. Taking into account aggressive operating conditions, it is necessary to eliminate the influence of human factor on ensuring tightness of connectors located on the instrument body. It is necessary to investigate the possibility of providing simultaneous wireless transmission of information and power flow through a metal station shell. This paper presents the results of a literature review that analyzes recent advances in wireless transmission of energy and information through metal shell.

Key words: Non-contact charger, seabed stations, electromagnetic induction, magnetic resonant, induction, magnetostriction, laser, piezoelectrics.

Bagaev E., Prasolov A., Sidorkovich D., Sopov D. Research of Methods of Finding and Identifying Uav Radio Signal. – PP. 46–50.

The widespread availability of small-sized UAVs has undoubtedly given rise to a number of problems related to unauthorized monitoring of objects and territories of national importance, as well as cases of espionage and terrorist activities. To successfully counter a UAV, it is necessary to detect it in a timely manner.

Key words: unmanned aerial vehicles, radio channel, radio channel identification.

Bagaev E., Sidorkovich D., Sopov D. Research of a Power Distribution Model for a Wireless Network with a Limited Interference Level. – PP. 51–55.

The article presents the results of calculating and simulating a power distribution model in a wireless mobile network using the Q-Cooperative Power Allocation algorithm. Noted that in a network with a limited level of interference, power adjustment occurs only if there is information about the signal-to-noise ratio. The results of calculating the global Q-function for a network with a limited interference level are presented. The condition under which the Q-function takes the maximum value is shown.

Key words: communication network, artificial intelligence, machine learning, base stations, power control.

Belkov S., Potapov D., Tipikin A. The generalized Millington procedure for calculating the ground wave field on a track with an arbitrary number of homogeneous segments. – PP. 56–60.

Despite the detailed theoretical study in the area of the ground wave calculation methods, their known software implementations do not allow taking into account an arbitrary number of sections with specified characteristics of the underlying surface on the path of the propagation. The purpose of the research is to generalize known theoretical works on predicting of the ground wave field strength and to develop an applied automated technique, that allows calculations on radio tracks with an arbitrary number of homogeneous sections based on data entered from the corresponding digital maps.

Key words: electric field strength, earth wave, underlying surface, forecasting, very low frequencies.

Belyaeva N., Duklau V., Smaglienko N., Fedorov S. Features of Colorimetry of Morden 2D-3D Television Systems. – PP. 61–64.

The colorimetry of modern digital television broadcasting systems is based on the formation of spectral characteristics of color analysis due to the primary colors of the receiving device. The report discusses a technique for matching the color separation parameters of television cameras with the main colors of displays, which provides an increase in the color accuracy of the television system.

These materials will be useful when conducting course and diploma design for students studying in the directions 11.03.02, 11.04.02 11.05.02.

Key words: reproducing device, color coverage, color-separated signals.

Bobrovskiy A. Review of methods for modeling radio wave propagation in enclosed spaces. – PP. 65–68.

The purpose of the study is to analyze the existing methods of propagation of UHF and micro-wave radio waves for indoor use. This article discusses the relevance of old models and the

direction of development of new models. The requirements for models of UHF and microwave ranges and the features of their indoor use are determined. A comparison of several models on the relevance of their use for UHF and microwave ranges indoors is also given. As a result, several suggestions are provided for further development of distribution models for the selected scenario.

Key words: UHF, models, radio wave propagation.

Boyko I., Glushankov E. Modelling of Stable Adaptive IIR Filters. – PP. 69–73.

The purpose of this paper is to study adaptive IIR filters based on LMS and RLS algorithms. The advantage of IIR filters is to provide less computational complexity while achieving the desired level of efficiency compared to FIR filters. However, the problem of adaptive IIR filters is related to obtaining stable and optimal behavior of the algorithms. In this paper, two methods for synthesizing adaptive IIR filters, the output error method and the error equating method, are discussed to compute stable filters based on the LMS and RLS algorithms. The mathematical description of adaptive IIR filters obtained on the basis of LMS and RLS algorithms is given. The results of convergence of the algorithms are presented, as well as the comparison of parameters of adaptive FIR and IIR filters based on LMS and RLS algorithms. At the end recommendations for tuning of adaptive IIR filters are given.

Key words: adaptive IIR filter, output error approach, equation error approach, IIR RLS algorithm, IIR LMS algorithm

Buchatsky A., Prokhorov K., Rogozinsky G. To the Question of Applying Packet Discrete Wavelet Transform for Generating Landscape Noise. – PP. 74–78.

To create a plausible landscape that simulates some real landscape and its characteristic features, it is effective to use procedural generation tools, namely noise generation algorithms. The noise received at the 4output of the algorithm is used as a height map, i.e. a set of coordinates and depths of individual sections of the landscape. The article provides an analysis of the most used noise generation algorithms, their advantages and disadvantages, describes the operation of the noise generation algorithm using a two-dimensional packet discrete wavelet transform, and provides further research directions.

Key words: noise generation algorithm, procedural generation, two-dimensional packet discrete wavelet transform.

Buchatsky A., Tatarenkov D. Preparing Virtual Views Using Neural Networks to Fill Gaps. – PP. 79–84.

The need to fill gaps in images often arises in such tasks as restoring lost information during transmission, restoring old photographs, obtaining additional views in free viewpoint television systems, virtual and mixed reality, etc. Filling gaps can be carried out using inpainting methods. However, the recovery errors of such methods are often noticeable to the viewer. The article proposes a method for filling gaps in an image for use in the problem of synthesizing virtual views using neural networks, and compares its work with classical filling methods.

Key words: virtual reality, depth map, DIBR, virtual view, inpaint.

Vasiliev V., Kulinkovich A. Problems of Structural-System Integration of Safety Management Systems of Educational Institutions and Scientific Organizations in Crisis Situations. – PP. 85-90.

Based on an analysis of existing systems for ensuring the security of educational institutions and scientific organizations in crisis situations, it is proposed to develop a structural-system model of the functioning of the integrated security system. The results obtained in the study can be used in the development of methodological recommendations for preventing the occurrence of crisis situations and substantiation of the concept and proposals for the action plan to counter the manifestations of crisis situations in educational institutions and scientific organizations.

Key words: security, anti-terrorism, crisis situations, educational institutions.

Vinogradov P. Practical Aspects of the Use of PoE Technology for Building Power Supply in 5G and IoT Networks. – PP. 91–94.

The article discusses the practical aspects of a power supply system PoE (Power over Ethernet), a technology for supplying electrical energy together with data on the Ethernet network infrastructure. The methods of power supply for various telecommunication devices, both allowing direct use of the PoE and not, are considered. In the latter case, intermediate devices are used – injectors and splitters. It is important to choose reliable connectors and protection against interference. A brief description of power transmission via cables for audio/video signals and Digital Electricity technology is given.

Key words: Power over Ethernet, injectors, splitters, Digital Electricity

Voishchev O., Mezhevov P. Analysis of On-Board Antennas of UAV Systems. – PP. 94–98.

Unmanned aerial vehicle (UAV) systems are used in various fields of activity and represent a promising direction of development. One of the most important elements of the UAV is the on-board antenna, which, depending on the class of the drone, has its own number of specific requirements. In this paper, an analysis of the developed antennas is carried out, as a result of which a conclusion is made about the relevance of various design solutions and types of antennas.

Key words: UAV, antennas.

Volostnih V., Vorobyev P., Starodubcev U. Assessment of Loading of the Short-Wave Range of the Radio Frequency Spectrum. – PP. 99–103.

The article discusses the issues of assessing the short-wave portion of the radio frequency spectrum for communications. It has been established that due to the development of high-frequency ranges, interest in the use of short-wave ranges has been significantly reduced. The article presents the results of a brief analysis of the Table of distribution of radio frequency bands between radio services of the Russian Federation and the results of field assessments of the congestion of the short-wave range of the radio frequency spectrum for the North-Western and Central regions of Russia

Key words: loading of the radio frequency spectrum, use of the radio frequency spectrum, shortwave range, radio frequency bands, radio frequency spectrum, communications, radio communication services, radio electronic signals.

Volostnih V., Starodubcev U., Tkachev D. Monitoring of Decameter Radio Waves. – PP. 104–108.

The article discusses the issues of increasing the efficiency of using the shortwave wavelength range by monitoring the radio frequency spectrum and using the results of monitoring analysis.

A brief analysis of the conditions for providing radio communications is considered. The experience of operating a system of radio beacons and frequency control posts at communication centers is presented. Ways to improve monitoring of the radio frequency spectrum are proposed. The article may be useful to specialists in departments providing backbone radio communications and departments for monitoring the use of the radio frequency spectrum, as well as students and graduate students.

Key words: radio monitoring, radio frequency spectrum, short wave range, ground wave, sky wave, radio frequency bands, radio services, use of the radio frequency spectrum, radio electronics, radio monitoring, time signals, broadcast station signals.

Volostnih V., Starodubcev U., Tkachev D. Influence of Magnetic Storms on the Propagation of Short-Wave Radio Waves. – PP. 109–113.

The article discusses the influence of magnetic storms on radio communications in the shortwave range. A brief analysis of the conditions for providing radio communications is carried out. The conditions for the propagation of radio waves by an ionospheric wave are considered. An analysis of forecasts of magnetic storms in 2023–2024 was carried out. The conclusions of a number of scientific works devoted to the influence of magnetic storms on the propagation of radio waves were taken into account. The results of observations of the propagation of radio waves in the short-wave range are presented.

Key words: geomagnetic storm, ionospheric wave, shortwave radio wave range, magnetic storm, observations of radio wave propagation, radio communications, radio communications, radio stations, radio frequency spectrum.

Vorobiev O., Dubakov A. Hardware and Software System Dionis-NX. – PP. 110–116.

In modern realities, the issue of providing companies high-quality network equipment of domestic production is actually. This article discusses a certified hardware and software system, on the basis of which a secure multiservice network can be constructing. The key parameters, weight and size characteristics, as well as economic feasibility, which are very important in the development of domestic projects, are analyzed. The possibility of this complex working with wireless technologies is considered individually.

Key words: Hardware and software system, firewall, routing, secure network, Wi-Fi.

Vorobyov O., Kachnov A., Pyshkin E. Application of Piezoelectric Transducers for Simultaneous Data Transmission and Bottom Station Battery Charging. – PP. 117–121.

The Arctic sea shelf is being actively explored in order to search for and assess the reserves of hydrocarbon deposits. Specialized equipment - seabed loggers (stations) - is used for these purposes. In order to increase their reliability it is necessary to exclude wire cable connection and provide simultaneous transmission of information and energy flows. This article presents a literature review of the possibility of using piezoelectric transducers to provide battery charging and information transmission through a metal shell

Key words: Non-contact charger, seabed stations, communication channel, piezoelectric.

Vorobyov O., Kachnov A., Sidorkovich D. The Provision of Information Exchange between the Underwater Vehicle and the Bottom Dock Station. – PP. 122–126.

More than 75% of the Earth's surface is covered with water in the form of oceans. They are of great interest for research in all fields of science and technology. Underwater Wireless Communication (UWC) plays a significant role in monitoring marine life, water pollution, oil and

gas rig exploration, disaster monitoring, naval tactical coastal protection operations, and monitoring changes in the underwater environment.

Key words: underwater wireless communication, transmission range, communication technologies.

Vorobyov D., Meshalkin V., Polyakov D., Tkachev D. Using Software Defined Radio and GNU Radio for Signal Detection. – PP. 127–131.

The study examines the prospects for using the technology SDR (Software Defined Radio) and GNU Radio in the context of radio signal detection. This paper discusses an example of successful use of SDR and GNU Radio for radio signal detection. These tools are also actively used for analyzing and detecting radio signals such as Wi-Fi wireless networks and Bluetooth, as well as other radio frequency identification tags (RFID) [1]. The work is aimed at researchers, engineers and radio communication specialists seeking to use modern technologies to effectively detect and analyze radio signals.

Key words: software defined radio, HackRF, GNU Radio.

Vorobyov O., Ryabikov D. Beamforming for Millimeter Wave Communications. – PP. 132–136.

The remarkable growth of wireless data traffic in recent times has driven the need to explore suitable regions in the radio spectrum to meet the projected requirements. In pursuance of this, millimeter wave communications have received considerable attention in the research fraternity. Due to the high path and penetration losses at millimeter wavelengths, antenna beamforming assumes a pivotal role in establishing and maintaining a robust communication link. Beamforming for millimeter wave communications poses a multitude of diverse challenges due to the large channel bandwidth, unique channel characteristics, and hardware constraints. In this paper, we track the evolution and advancements in antenna beamforming for millimeter wave communications.

Key words: Beamforming, hybrid beamforming, millimeter waves.

Gailit D., Chernyshov G. Modernization of Decameter Communication Systems – PP. 137–140.

The article reviews the key areas of development and improvement of decameter radio systems. The current challenges facing shortwave communications are examined and existing trends in the field of modernization are analyzed. As a solution to this problem, technological innovations are proposed aimed at increasing the efficiency of data transmission, optimizing energy consumption and ensuring the stability of communication systems. Particular attention is paid to equipment modernization and network operating protocols.

Key words: decameter communications, modernization, special-purpose communications.

Glushankov E.I., Egorov S.G. Synthesis of Stochastic Differential Equations for Modeling Signals of Communication Networks Based on Walsh Codes. – PP. 141–144.

The paper presents a synthesis of stochastic differential equations for modeling signals in communication networks using Walsh codes for an autonomous navigation system. A mathematical model of signals is proposed, obtained using stochastic processes and Markov process methods to describe nonlinear transformations in group paths. Walsh code signals that provide efficient data transmission for autonomous navigation systems are studied. The presented results offer a convenient model for statistical simulation of signal processing processes in communication

networks in order to optimize the quality of autonomous control communication systems in maritime navigation.

Key words: Fokker-Planck-Kolmogorov equations, Markov processes, nonlinear transformations, Walsh codes, autonomous navigation, CDMA, correlation properties.

Glushenkova E., Kondrashov Z., Sudenkova A., Tsarik D., Tsvetkov D. Modeling of Various Classes of Random Processes in the Form of Stochastic Differential Equations in Solving Problems of Statistical Radio Engineering. – PP. 145–149.

A general approach to modeling various classes of random processes in the form of stochastic differential equations is considered. Methods for the synthesis of such equations for scalar and vector non-Gaussian random processes are presented. Simulation examples for various probability distribution densities are given.

Key words: Random processes, stochastic differential equations, probability distribution densities, MATLAB.

Glushankov E., Mityanin S. Analysis of the Effectiveness of Applying Spatio-Temporal Coding and Signal-Code Structures in Radio Communication Lines of Autonomous Ship Navigation Systems. – PP. 150–154.

The article examines the effectiveness of the joint use of space-time coding algorithms and signal-code structures under conditions of additive white Gaussian noise, designed to increase spectral and energy efficiency in radio links of autonomous ship navigation systems.

Key words: space-time coding, equidistant linear antenna systems, signal-code structures, port autonomous navigation systems

Glushankov E., Mukhina A. Combined Use of Adaptive Coordinometry and Super-Resolution Algorithms for Signal Source Location in Fading Conditions. – PP. 155–159.

Currently, one of the priority tasks in radio communication, radiolocation and radio navigation systems is to distinguish signal sources and determine their spatial position, even if the radiation source has extremely small dimensions. In order to solve this problem, various algorithms for detecting the angle of signal arrival, as well as for determining the coordinates of the signal source, are analysed. As part of this work, a model for the joint use of super-resolution and coordinometry algorithms under fading conditions has been developed in Simulink. The article presents the final analysis of the data obtained from the simulation.

Key words: fading, DoA algorithms, triangulation

Glushankov E., Rodina K. Development of a Difference-Range-finder Method for Determining the Location of a Signal Source with Active Radar. – PP. 160–164.

The aim of the work is to develop an algorithm for determining the location of the signal source using the difference-range-finder method. The essence of the method is to determine the location of the signal source by measuring the time of arrival of the signal at various points in space. The main advantages of this method are simple antenna requirements, as well as location selection and calibration. The simulation is carried out through the MATLAB application modeling package. As a result, the accuracy of determining the coordinates of the signal source is calculated.

Key words: Active radar, positioning algorithms, difference-range-finder method, measurement of target coordinates.

Glushankov E., Syrovetsnik D. Coordinatometry of Nearby Signal Sources Using the Super-Resolution Algorithm MUSIC. – PP. 165–169.

A model has been developed that simulates the reception of signals from several nearby targets to several objects. The MUSIC super-resolution algorithm is applied to the received signal at each site. Based on the received bearings on the target, their coordinates are determined using a coordinateometry algorithm. A script was written in MATLAB, a graphical application was created that implements working with this model and applying the coordinateometry algorithm.

Key words: Direction finder, super-resolution algorithm, MUSIC, coordinateometry algorithm, MATLAB.

Glushankov E., Rylov E., Sorokin A. Designing of a Software Simulator of the Ionospheric Communication Channel. – PP. 170–175.

The report examines the features of signal propagation in the ionospheric shortwave communication channel. For designing communication systems, it is important to develop software simulators of continuous communication channels to investigate channel characteristics and algorithms for conversion and primary signal processing. Among the various models of the shortwave channel, the Watterson model, suggested as a standard by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), was chosen in the work. The Watterson model was constructed and investigated in the Matlab environment. The limitations of using this model and possible ways to improve it are revealed.

Key words: communication channel, shortwave band, ionospheric channel, software simulator, Watterson model.

Golovinin O. On the Application of Visible and Infrared Optical Sensors in Wearable Health Monitoring Devices. – PP. 176–179.

In recent years, the issue of continuous monitoring of human health has become extremely relevant. For this task, mobile devices are used, which can be either independent devices or entire systems for measuring and visually monitoring the main parameters of the body. The article discusses the general principles of using optical sensors in the visible and infrared range.

Key words: Wearable devices, health monitoring, biometric sensors.

Gorobtsov I. The Method of Signal Demodulation in Systems with Space-Time Signal Processing. – PP. 180–190.

The article presents an algorithm for demodulating signals in multi-element antenna systems. A technique for increasing the dimension of space-time matrices and calculating the probability of error in channels is presented. The probability of error is considered for cases when the power is evenly distributed over all transmission channels, and when several powerful beams are allocated that allow analyzing channels in which there is no multipath phenomenon, respectively, they are not described by normal distributions.

Key words: antenna arrays, demodulation, MIMO, error probability.

Gorobtsov I. The Method for Reducing the Dimension of Differential Equations for Evaluating Electromagnetic Compatibility in Multi-Element Antenna Systems. – PP. 186–190.

The article presents methods for reducing the dimensionality of differential equations for evaluating electromagnetic compatibility in multi-element antenna arrays. The methods of reducing the dimension of differential equations by constructing comparison systems for dynamic processes and reducing the dimension of equations using the Kalman filter, which reduce the computational complexity of algorithms, are considered.

Key words: antenna arrays, electromagnetic compatibility, MIMO, differential equations.

Grekov K., Kazantseva A., Fedosov A. On the Prospects for the use of Neural Networks in the Industry “Ecology and Environmental Management” – PP. 191–194.

Neural networks have enormous potential in many industries, including ecology and environmental management. This article discusses the use of neural networks to solve various problems in this area, such as environmental monitoring, resource management, developing solutions to environmental problems, etc. Examples of some of the most promising solutions are given. The role of neural networks in the training of environmental students is also considered.

Key words: neural networks, ecology and environmental management, environmental monitoring, big data and data transmission systems

Guzeva Y., Tumanova E. Using AI to Create Interactive Virtual Environments. – PP. 195–200.

This paper explores the prospects of using artificial intelligence (AI) to create a more realistic world in virtual environments. AI can be used to control various elements of a virtual environment, making it more interactive, engaging and interesting. A method of using AI in motion capture, creating virtual objects and backgrounds is discussed. As well as the use of voice, gesture, and image recognition methods using AI algorithms for further use in virtual environments.

Key words: odors, odor transmission, odor reproduction, molecular odor map.

Guminskiy O., Kowalgin Y. Research and Estimate of Required Accuracy of Time Synchronization of Receiving Equipment in Digital Radio Broadcasting System DRM Mode E. – PP. 201–205.

The necessity of time synchronization of the receiving equipment in digital radio broadcasting systems is shown, the distortions arising in its absence are listed, a simulation model for studying the required accuracy of time synchronization of the receiving equipment of the DRM system is implemented in MATLAB/Simulink environment, dependencies establishing the relationship between the starting point of the direct discrete Fourier transform and the bit error rate in radio receiving are obtained for different types of modulation and code rates, the requirements for a direct discrete Fourier transform are formulated.

Key words: OFDM symbol synchronization, digital broadcasting.

Dvornikov A., Zhigaltsov D. Drone Detection Device in ISM Frequency Range. – PP. 206–208.

The modern use of drones in armed conflicts is becoming an increasingly promising area of military activity. However, there is a need to develop effective means of detecting and neutralizing enemy drones. Drones can be detected using electronic reconnaissance, which consists of receiving and analyzing radio signals from communication and control lines. Consequently, the development of effective radio technology for detecting and neutralizing drones is becoming an important task in the modern military sphere.

Key words: drones, electronic reconnaissance, ISM band, radio module.

Dvornikov S., Fedorov S., Fedosov A., Fedosova A. The Use of Artificial Intelligence Technologies for Data Analysis and Subsequent Visualization. – PP. 209–212.

The results of the applicability of artificial intelligence technologies for data processing and visualization are presented. Methods for processing large volumes of data are considered in the article. The article provides effective methods and tools for analyzing data arrays and creating visualizations.

Key words: artificial intelligence, neural network, data array, visualization.

Deshina N., Kolosko A., Pyzhikoba T. Linguistic Problems in the Study of Field Cathodes. – PP. 213-217.

The paper presents a classification of controversial phrases that put authors of scientific works in an awkward position and can cause collegial disputes, as well as problems of a bureaucratic nature. The problem is widespread, but is considered using the example of publications concerning the study of field cathodes with a nanostructured surface, and therefore will be of particular interest to specialists in the field of vacuum nanoelectronics. This paper discusses the analysis and classification of real examples of controversial phrases identified in scientific disputes within the laboratory for the study of field emissions.

Key words: Field cathodes, vacuum nanoelectronics, linguistics, emission, nanotubes.

Dmitrieva V., Korovin K. Comparative Analysis of the Effectiveness of Heuristic Algorithms in Optimizing GA and SLL Antenna Arrays. – PP. 218–221.

One of the methods for optimizing system parameters is the use of heuristic algorithms. In many cases, these methods allow you to find a satisfactory solution in less time, and, in addition, can be implemented in hardware at a lower cost. In this paper, the issue of optimizing the level of the side lobes of antenna array using a genetic algorithm and a particle swarm algorithm is considered. The analysis of these algorithms and the evaluation of the application of heuristic algorithm for this these are carried out.

Key words: genetic algorithm (GA), particle swarm algorithm, gain factor, side lobe level.

Dmitrieva V., Korovin K., Potkin F. Research of Antennas Built Using SIW Technology. – PP. 222–225.

In the modern world, the frequency resource is the foundation of telecommunications, and demand is constantly growing due to an increase in the number of users and the volume of information transmitted. One of the ways to expand this resource is to switch to less used frequency ranges: millimeter waves.

In this paper, an analysis of the use of waveguide-slot antennas in the millimeter range, including the promising technology of waveguide-slot antennas based on waveguides integrated into the substrate of a printed circuit board, is carried out.

Key words: antennas, Waveguide-slit antenna, 5G, mmWave, SIW.

Zapayshchikov A. Review of Electroencephalogram Analysis Methods. – PP. 226–230.

This work is devoted to a review of possible mathematical methods for analyzing biomedical signals, namely, electroencephalogram signals. The following time, frequency (spectral) and time-frequency analysis methods are presented and considered. Special attention is paid to the mathematical analysis of the EEG using wavelets – wavelet analysis, which allows to obtain the most complete information about the presence of such data as basic rhythms and artifacts in the EEG signal.

Key words electroencephalogram, mathematical methods of analysis, time analysis, frequency (spectral) analysis, time-frequency analysis, wavelet analysis.

Izmesteva E., Simonina O., Shalunov S. Experimental Data Filtering Method for Local Navigation System. – PP. 231–235.

Tests are carried out to implement the local navigation system. The result of test is an array of data which need of processing. The presence of random errors and distortions due to external

influences (weather conditions, attempts to suppress the communication channel, etc.), internal causes (imperfection of electronic components, its noise, etc.) is the reason of using data filtering. The Origin is the software which used for data filtering and processing. The paper substantiates the decision of a percentile filter for data preprocessing.

Key words: air vehicle, data processing, percentile filter.

Isupova E., Matiukhina T., Sotenko S. The Automated Workplace of the Employee of the Medical Organization on the Basis of the High-Speed Universal Medical Information System. – PP. 236–240.

Ways of creation of the complex automated workplace of the health worker on the basis of integration and interaction of systems and services of data exchange and implementation of business processes with use of the principles of asynchronous and synchronous interaction are considered that allows to manage effectively a data stream and to provide the exact time of the answer. Application of methods of integration and the principles of interaction allows to integrate modern payment service providers, content management systems and interaction with the external program interface of applications that will allow to create flexible, scalable and functional medical services of high performance.

Key words: data exchange protocol, the automated workplace, asynchronous and synchronous interaction.

Isupova E., Matiukhina T., Sotenko S. The Modified Method of Boundary Testing at Implementation of the General Parametrical Synthesis of the Radio-Electronic Equipment. – PP. 241–245.

Way to assign parameters and determination of values of admissions at design of complex radio-electronic systems is considered. The main problem of methods of synthesis and optimization of radio-electronic equipment of similar assignment – criticality to dimension of the task determined by high complexity of the projected radio-electronic equipment is solved. The considered way is transitional from programs of non-linear programming to programs with use of heuristic methods of search of an optimal solution that allows to reduce sharply labor input of search and criticality to dimension of a task, to provide finding of an optimum, most sustainable solution in the presence of multicriteria restrictions.

Key words: non-linear programming, parametrical synthesis, self-training algorithm, synthesis of the radio-electronic equipment parameters.

Kapelyush M., Kolosko A., Mutygullin B., Popov E., Sokov S., Filippov S. Recording Temperature of Electrodes of the Field Emission System in a High-Voltage Measuring Setup. – PP. 246-250.

The paper presents the development and testing of a temperature measurement device with remote data transmission. The device is intended for measuring temperature in an experimental setup for studying the properties of field cathodes, which requires wireless data transmission to protect computing equipment. A special feature of the measurement is that the measuring device is located at the potential of the high-voltage power supply. The device consists of a Type-K temperature sensor, an Arduino data acquisition board, a Bluetooth data transmission module, as well as an original housing with a control and charging interface.

Key words: field emission, Joule heating, thermocouple sensor, high voltage, wireless data transmission.

Kichko Ya., Sapunova L., Chudnov A. Analysis and Optimization of the Parameters of the Physical and Channel Levels of a Data Transmission System Operating under the Conditions of Optimized Interference. – PP. 251–256.

The minimax formulation solves the problem of analyzing and optimizing the parameters of the physical and channel levels of a data transmission system operating under conditions of intentional interference. The totality of the source data used allows us to take into account both the structure of the system and restrictions on the parameters of the data transmission channel, as well as the capabilities of the counter-system for setting optimized interference taking into account the directional patterns of the receiving and transmitting means of interacting objects. The results obtained were used to generate routing tables and control packet routing in a data transmission system.

Key words: data transmission system, optimized interference, guaranteed channel bandwidth, timely message delivery.

Kozintseva D., Fedorov S. Motion Plane Adaptive Motion Modeling for Spherical Video Coding in H.266/VVC. – PP. 257–261.

Motion compensation is one of the key technologies that ensure high compression efficiency in modern video encoding standards. Spherical video compression requires special display functions to project it onto a two-dimensional image plane. The distortions that inevitably arise from such a display degrade the performance of classical motion models.

The article presents a new method of adaptive motion modeling in the plane of motion (MPA) for spherical video, which allows for motion compensation in various planes of motion in three-dimensional space instead of working directly with a theoretically arbitrarily displayed two-dimensional image.

Key words: encoding of video information, H.266, adaptive motion modeling, spherical video, motion compensation

Kokoreva E., Shurygina K. Development of the Client Software for Local Positioning System. – PP. 262–267.

The service of tracking moving objects indoors without the use of GPS or GLONASS is of interest in various areas of human activity. This article describes the software developed by the authors as part of a local system for determining the location of a mobile object in a centralized Wi-Fi network.

Key words: Android, Java, WifiManager, RSSI, client-server architecture, software, Wi-Fi signal parameters.

Kolosko A., Mitskevich A., Sinichkin Ya. Increasing the Uniformity of Current Distribution of a Multi-Tip Field Cathode Using the Effect of Electron Beam Evaporation. – PP. 268–272.

The paper presents a design of an emission cell with a self-modifying anode, which has increased current output. The physical aspects of technological optimization associated with local changes in the interelectrode distance due to thermal evaporation of the anode material are presented.

Key words: field emission, multi-tip cathodes, field enhancement factor, anode evaporation.

Korovin K., Mezhevov P. Beam-Forming Device for an 8-Element Array with the Possibility of In-Phase Excitation of Three Adjacent Elements. – PP. 273–275.

The paper examines the possibility of creating a beamforming circuit (BSC) for use in conjunction with a ring antenna array of 8 elements. The developed BSC must ensure switching of the active antenna to allow operation in the selected azimuth direction. The resulting BSC allows you to excite a single element, two adjacent elements or three adjacent elements. The results obtained can be used in conjunction with a ring antenna array on an unmanned aerial vehicle to increase the communication range.

Key words: beamforming circuit, ring antenna array, UAV.

Korovin K., Mezhevov P., Fedorov M. Creation of a Microstrip Element for a Ring Antenna Array on a UAV. – PP. 276–280.

This paper describes the creation of a microstrip element for an annular antenna array on unmanned aerial vehicles (UAVs). The work involves the process of developing and optimizing a microstrip element in order to increase the efficiency and range of the antenna system on UAVs. The results of the study can be useful in the design of unmanned aerial vehicles with complex antenna solutions.

Key words: Microstrip antenna, directional pattern, standing wave coefficient.

Korotin V., Krotov R., Rybakov A. Recommendations for Increasing the Interference Immunity of the SPb-Irkutsk HF Radio Channel. – PP. 281–285.

HF radiocommunication using the ionospheric channel has been widely used for many years and it has a number of undoubted advantages. But it also has serious disadvantages, such as low speed and noise immunity of information transmission, due to the manifestation of the physical properties of the communication channel - anisotropy of the ionosphere. It is the structure of the Earth's ionosphere and the complexity of propagation in it that does not yet allow us to find certain technical and scientific solutions that would ensure the achievement of greater opportunities in the speed and noise immunity of information transmission via the ionospheric communication channel.

Key words: HF radiocommunication, ionospheric channel, modulation, noise immunity, channel equalizer.

Kravets E., Chernyshova A. Comparative Analysis of RFID and NFC Technologies for Warehouse Automation. – PP. 286–290.

This article analyzes radio frequency identification (RFID) and near field communication (NFC) and their application to improve warehouse operations. The basic principles of operation, structure and key components of both systems are discussed. The advantages and opportunities of these technologies are also described, and the disadvantages found are mentioned. The article provides examples of successful implementation of RFID and NFC in warehouse logistics processes and the possibility of their use in manufacturing.

Key words: Rfid-technology, NFC, warehouse, logistics

Likontsev A., Nev D. Application of Signal Angle Detection Algorithms in Satellite Cooperative Systems. – PP. 291–295.

In the modern world, improving the quality of signal transmission and reception of cooperative satellite systems is an advanced direction in the development of mobile communication technologies. In this regard, this paper considers the possibility of using signal arrival angle (DoA) algorithms for adaptive control of the directional pattern. A comparison of the gain obtained

by using different DoA algorithms is made. The result of the work is a model of the satellite channel with the application of DoA algorithms.

Key words: satellite systems, beamforming, adaptive pattern formation

Loginovskaya A., Uporov M. Geoinformation Mapping of Electromagnetic Fields of the Admiralty Municipal District of St. Petersburg. – PP. 296–301.

An analysis of the spatial distribution of electric and magnetic fields of industrial frequency (50 Hz) on the territory of the Admiralty Municipal District of St. Petersburg was carried out. The study of this problem is extremely relevant from the point of view of the influence of electromagnetic fields on the ecosystem. Research allows us to more accurately determine the level of radiation and control it in accordance with international standards. The maximum permissible levels of electromagnetic fields in the territory of the Admiralteysky Municipal District are safe, however, it should be noted that the values of magnetic induction exceed the permissible limits of the standards. Materials on the study of the spatial distributed electromagnetic field of the Admiralty Municipal District of St. Petersburg are presented on maps using the interpolation method and the isolation method.

Key words: electromagnetic fields, mapping, geographic information system, electromagnetic field strength, magnetic field, industrial frequency, Admiralteysky Municipal District.

Lypkan V., Martynov S., Tokmakov D., Fedorov P. Efficiency of Adaptive Filtering Algorithms in an Ionospheric Communication Channel Using Diversity Reception. – PP. 302–305.

In connection with the current situation in the world, digital communication systems in the decameter range using ionospheric waves are increasingly used as backup systems for satellite communications. The purpose of this study is to substantiate the design of an adaptive signal filtering algorithm in an ionospheric communication channel using diversity reception.

Key words: ionospheric communication channel, adaptive noise suppression, adaptive filtering algorithms, diversity reception.

Lyalina A. Study of Mathematical Models of a Continuous Communication Channel in the form of Stochastic Differential Equations. – PP. 306–310.

The development of any modern communication system is impossible without an accurate understanding of which channel is supposed to be used to transmit information. At the same time, at the stage of theoretical research it is necessary to use mathematical models of channels, the adequacy of which to the real processes occurring in radio links largely determines the validity of the technical decisions made.

This article is devoted to modeling modern MIMO systems in channels with various fading conditions. For this purpose, mathematical models of continuous communication channels, presented in the form of stochastic differential and difference equations, in radio relay and tropospheric communication lines were obtained and analyzed.

Key words: SDE, MIMO, fading, modeling, Simulink.

Maksimova A., Chernov I. Development of Universal Gamma Correction Module on FPGA. – PP. 311–315.

One of the methods to improve the quality of images in terms of their visual perception is the use of gamma correction. In this paper, we consider the development of a device that performs

gamma correction of images with uneven illumination, implemented on FPGAs using the SystemVerilog language. Due to its versatility, this module can be used in various projects without being tied to specific FPGA manufacturers.

Key words: gamma correction, step transformations, brightness, FPGA, SystemVerilog.

Malikov U. Analysis of the Radiation Situation in St. Petersburg: Characteristics and Problems. – PP. 316–318.

The purpose of the study was to analyze the radioactive contamination of the city territory and assess the consequences on public health and the environment, to determine the main directions for ensuring radiation safety of the population of St. Petersburg. Radiation safety issues in St. Petersburg are related to natural and anthropogenic sources of ionizing radiation. Intensive studies of natural and artificial radionuclides have been conducted uncontrollably in St. Petersburg for a long time. The production of radioactive substances was established in the city, which were widely used, and therefore many parts of the city were contaminated with radionuclides. Radioactive contamination of the area dictates the adoption of necessary protective measures to reduce radiation losses among the population.

Key words: radiation background of the city, radioactive emissions, radon flux, radiation sources, radiation level, radiation safety, monitoring of the radiation situation.

Manvelova N., Chabaeva E. Features of the Practical Use of HPLC in the Analysis of Benzopyrene. – PP. 320–324.

Currently, the issue of air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons is of increasing importance. In the Russian Federation, benzopyrene is subject to mandatory monitoring in atmospheric air. The article discusses the M-02-902-150-07 method for detecting benzopyrene in atmospheric air using the HPLC method. The rapid development of liquid chromatography in the last 10 years is due to the intensive development of theoretical foundations and the practical use of its highly effective version, as well as the creation and industrial production of the necessary sorbents and equipment. Currently, HPLC has taken first place among instrumental methods in terms of development rates, even surpassing gas chromatography.

Key words: Benzopyrene, laboratory tests, high-performance liquid chromatography.

Markova L., Simonova G. Design of Multichannel Switch Power Amplifiers with the Improved Power Characteristics. – PP. 325–329.

Options of increase in output power of low-frequency sending devices by means of addition of output signals of channels of switch strengthening with pulse width modulation are considered. Expediency of use of multichannel pulse width modulation for improvement of power and qualitative parameters of signals in multichannel circuits of strengthening is shown. Advantages of implementation of multichannel amplifiers of the class D with parallel addition of channels switch strengthening and feature of their use are described.

Key words: switch power amplifier, pulse width modulation, multichannel amplifier, addition of channels.

Meshalkin V., Syrbul V., Tkachev D., Shanin A. On the Question of the Impact of Unintentional Interference on Radio Line Characteristics. – PP. 330–333.

The article discusses the functioning of a radio link under the influence of unintentional interference with the determination of probabilistic-time indicators. In this case,

the transition of the operational state of the line is considered, as a gradual process. The dependence of q_n on h_n is considered and a graph of radio link transitions from one state to another is presented. The availability factor of a radio link with automatic adaptation is also considered.

Key words: radio link availability factor, interference, unintentional interference, noise immunity, radio links.

Miloserdov D., Khrenov A. Improving the Accuracy of Neural Network Detection of Unmanned Aircraft Radio Signals. – PP. 334–337.

Considerable attention has recently been paid to solving the problem of unmanned aircraft detection. For this purpose, a method consisting in processing spectrograms by neural networks of the YOLO family can be applied. This approach allows real-time detection of the presence of radio signals, their classification and determination of frequency-time parameters, but in complex radio-electronic environment the detection accuracy remains insufficiently high. To solve this problem, we propose a two-stage detection method that can significantly improve the detection accuracy of unmanned aircraft radio signals in complex radio-electronic environments.

Key words: drone, detection, neural networks, classifier.

Nguyen Van Tuan. The Cross-Ambiguity Function Study of the 5G Signal with Respect to its Use in Semi-Active Radar Location. – PP. 338–342.

Semi-active radar systems, also called passive coherent positioning systems, use reflections from capability illuminators to detect and track objects. Over the past few years, the fifth-generation mobile communication system has undergone rapid development. The downlink signal transmitted from a 5G base station has interesting properties when used as an illumination signal for semi-active radar systems. To obtain some performance estimates, this work examined the 5G signal cross-ambiguity function using MATLAB model based on the 5G Toolbox. Simulations have proven that the 5G signal has good performance in terms of range resolution and speed.

Key words: semi-active radar, 5G signal as illumination sources, cross-ambiguity function.

Osin N., Perelygin S. A Secondary Power Supply Source for an Artistic Lighting Device. – PP. 343–347.

The article discusses the features of secondary power sources for LED devices. The structure of the secondary power source based on the topology of the flyback converter, and its electrical circuit developed by the authors are presented. The individual stages of the assembly of the electrical layout and its verification are illustrated, numerical values of the operational parameters of the secondary power source are obtained.

Key words: secondary power supply, LED, flyback converter, circuit layout, printed circuit board.

Perelygin S., Turishcheva A. Investigation of Acoustic Parameters of Multipurpose Halls. – PP. 348–352.

This article covers current issues and problems of acoustic design of multipurpose halls. The main stages of such a project, the mathematical calculation of the necessary parameters and the algorithm for solving the problem of selecting acoustic sound-absorbing and sound-insulating materials are considered.

Key words: multipurpose halls, acoustic design, acoustic materials, reverberation time.

Popovich S., Chernyshov A. Frequency-Hopping Spread Spectrum Application for Providing Noise Immunity of Drone Communication Channel. – PP. 353–356.

The work is devoted to the study of factors affecting the noise immunity of the communication channel of unmanned aerial vehicles by applying frequency-hopping spread spectrum in modern systems. This paper presents an analysis of the effectiveness of FHSS in the context of providing stable UAV communications under dynamic interference conditions. Additional research on the role of FHSS in the context of modern radio communication technologies and its close interaction with other defense techniques emphasizes the importance of integrating this technology into modern unmanned systems, contributing to the safety and effectiveness of their operation. This research not only provides a practical framework for the design of communication systems, but also contributes to the field of developing safe and efficient unmanned technologies.

Key words: FHSS, UAV, radio communication, noise immunity.

Posmetyev A. Tatarenkov A. Fedotov D. Automated Representation of Real World in the Form of Three-Dimensional Models. – PP. 357–361.

Technologies for creating 3D models by scanning real-world objects, such as photogrammetry, open up new horizons in the world of creating media content. Currently, they are actively used to create objects or entire locations in computer games, virtual sets for television or cinema, virtual spaces, three-dimensional maps of the area using UAVs. In this paper, we consider methods for creating three-dimensional graphics using 3D Gaussian Splatting technology, which is a new word not only in creating photorealistic scans, but also in displaying three-dimensional graphics in general. This technology is based on the representation of objects in three-dimensional space in the form of a cloud of Gaussian points, each of which has its own parameters of size, transparency and chromaticity. At the same time, the creation of a scene based on a set of photos takes place using machine learning technologies.

Key words: NeRF, 3D Gaussian Splatting, computer graphics, three-dimensional scanning, photogrammetry, virtual spaces, neural networks.

Prasolov A., Rodina K. Investigation of Methods of Digital PLL Implementation Using Various Schemes of Synchronization Error Detectors. – PP. 362–366.

The research paper describes a digital phase-locked frequency system. To restore the clock frequency, an optimal procedure for measuring the synchronization error using various detectors was proposed. With the help of the Simulink simulation environment, a receiving and transmitting circuit was implemented containing a PLL block for conducting research. The work is based on a comparison of error detection methods for transmitting various types of signals.

Key words: Phase-locked frequency, synchronization error detector, loop filter.

Prasolov A., Roschinsky R., Fedorov A. Radio Propagation Models Breakpoint Determination. – PP. 367–372.

The article is devoted to the interpretation and definition of the breakpoint used in known radio propagation models, such as the Stanford University Interim model, its extended version and models offered by the International Telecommunication Union. Descriptions of the models and the results of calculations of path losses depending on the distance to the breakpoint are presented.

Key words: radio propagation models, path loss, breakpoint, line of sight component, reflection component.

Prasolov A., Roschinsky R., Fedorov A. Classification of radio channel parameters in cellular networks to assess the quality of provided services. – PP. 373–376.

To assess the quality of services provided to cellular subscribers, radio measurements, network monitoring and analyses should be carried out, which will result in radio channel parameters. Based on the results obtained, actions will be taken to optimise the network or eliminate faults. The paper considers the radio channel parameters of various cellular standards and proposes their classification into direct, pseudo-direct and indirect.

Key words: radio communication, network, radio parameters, classification, quality of communication services.

Prasolov A., Roschinsky R., Fedorov A. LoRa Physical Layer Measurement Methodology Based On HelTec Automation LoRa 32 Platform. – PP. 377–382.

The article proposes a methodology for evaluating the quality of LoRa coverage based on radio measurements of such parameters of its physical layer as the RSSI, SNR and packet loss ratio. The proposed methodology is based on the experience of using the HelTec Automation LoRa 32 platform, built on the basis of an on-chip ESP32 system and the LoRa radio modules of the Semtech SX127X family.

Key words: radio measurements, LoRa, physical layer, RSSI, SNR, packet loss ratio.

Prasolov A., Roschinsky R., Fedorov A. Comparative Analysis of the Results of Measurements of Radio Channel Parameters of Cellular Communication Networks Using Different Subscriber Terminals. – PP. 383–388.

The paper analysed the parameters of the radio channel of cellular networks, which can be obtained using special software. The comparative characteristic of the considered subscriber terminals and their difference in the results of obtaining the parameters are given. The results of the study will allow to form requirements to the characteristics of devices on which further radio measurements will be carried out.

Key words: measurements, radio communication, network, radio parameters.

Prasolov A., Svinyina O. Developing Digital Audio Signal Processing Device Based on Analog Devices ADAU1401 Digital Signal Processor. — PP. 389–394.

Main advantages of using digital signal processing for loudspeakers and rooms frequency response equalization and digital crossover filters implementation are discussed. The multi-purpose device based on Analog Devices ADAU1401 digital signal processor and Cypress Semiconductor CY7C68013A USB-microcontroller is proposed. Frequency response of the two full range loudspeaker systems before and after equalization are presented. Further product development strategies are discussed.

Key words: digital signal processor, digital audio signal processing, loudspeaker frequency response equalization.

Prokhorov K., Tumanova E. On the Issue of Olfactory Modality in the Digital Environment. – PP. 395–399.

In the era of digitalization and technology, such an engineer's skill as the ability to solve tasks creatively becomes especially important. Using the maximum number of incentives makes it possible to develop creativity among students of technical specialties. Digital technologies in

education make it possible to personalize the learning process, making it qualitative and effective. Progress in research in the field of olfactory modality allows us to apply the results obtained to create new effective learning systems using immersive reality and artificial intelligence technologies. The article presents an analysis of existing digital scent technologies, as well as the possibility of their application in various spheres of human life, and further research directions.

Key words: digital odor technologies, olfactory modality, e-nose.

Ryutin K., Ushkova I., Fokin G. Analysis of NMEA GNSS Messages in Special Matlab Software. – PP. 400–404.

This paper discusses the operating features of the GlobalSat BU-353 GLONASS (hereinafter referred to as BU-353G) global navigation satellite systems (GNSS) signal receiving device, as well as the format of received data from NMEA global navigation satellite systems, and provides a description of the BU-353G device. The developed Matlab software implements a procedure for parsing NMEA messages with subsequent extraction and display of geographic coordinates, which also analyzes other messages and formats of received GNSS data. The software module is designed to compare the accuracy of coordinate estimates, and is also relevant and in demand when developing a laboratory workshop in the discipline “Positioning of devices in wireless communications systems.” Finally, use cases are formulated for testing the network positioning technology demonstrator.

Key words: positioning, Matlab, GNSS, NMEA, BU-353G, GGA.

Ryutin K., Fokin G. Using SDR Technology for Experimental Testing of data Transmission Using the LTE Standard. – PP. 405–409.

Recently, the task of developing network positioning technology using software-defined radio has become increasingly relevant. The OTDOA radio range-difference positioning method, specified in the LTE and 5G NR standard, allows to solve the problem of determining the location of a user equipment with meter accuracy. To experimentally test the solution of network positioning problems, using SDR technology in a global coordinate system, it is necessary, together with the reference signals, emitted by the eNB base stations, on which the user device UE makes difference-range measurements, to implement the transmission of the eNB’s own coordinates. In this study, procedures, that implement the formation, transmission, reception and processing of data packets, containing the eNB’s own coordinates, are formalized, implemented in software and experimentally tested.

Key words: 4G, LTE, SDR, data, positioning.

Semindeev K., Chernyshov A. Comparative Analysis of Communication Standards Used in Control and Communication Channels with UAVs. – PP. 410–413.

The increasing popularity of UAVs leads to the need to provide a reliable control channel between the drone and the operator and/or between a group of drones during flight in an urban environment. This article provides a comparative analysis of communication standards used in control channels and communication with UAVs during group flight, their advantages and disadvantages are identified, and examples of the use of different communication standards in practice are considered.

Key words: group flight, UAV, control channel.

Simonina O., Sshalunov S. The Choice of UAV Direction Finding Method for Implementing a Device Search System in Difficult-To-Access Areas. – PP. 414–417.

The article analyzes the challenges of searching for unmanned aerial vehicles (UAVs), which is important for prospecting and exploration in the far north. It is demonstrated that the problem of locating a UAV can be addressed as a direction-finding problem for a radio source. However, traditional methods for direction finding are not suitable due to technical and spatial constraints associated with using these devices in challenging climatic conditions and remote geographic areas. The paper justifies the choice of the equal-signal-zone method for determining the direction of a UAV.

Keywords: UAV, local navigation system, equi-signal zone method.

Stepanov A. Features of Calculating the Inverse Continuous Wavelet Transform of Signals Using Adapted Wavelets. – PP. 418–422.

The article describes the procedure for calculating the inverse continuous wavelet transform of signals using synthesized wavelets obtained on the basis of a sample fragment of the signal. Thus, the adaptation of the wavelet function to the analyzed signal is achieved. Functions obtained on the basis of polynomial and neural network and spline wavelet models proposed by the author are used as wavelets. Mathematical modeling is performed in the MATLAB system. The results of calculating the forward and reverse continuous wavelet transformations are presented and a comparison of the original and reconstructed signals is performed.

Key words: wavelet, continuous wavelet transform, mathematical model, synthesis, inverse continuous wavelet transform.

Sturman V. On the Question of Dynamics of Air Temperatures at the End of XX – the Beginning of the 21st Centuries (Izhevsk as Example). – PP. 423–427.

The statistical research of dynamics of average annual, seasonal and monthly temperatures in 1960-2023, on the example of Izhevsk is conducted. Behind the general tendency to warming with average speed 0,32o/10 years essential distinctions of tendencies for seasonal and monthly averages come to light. Growth of average annual temperatures is formed by January, February, March and October values. Preservation of the ascending trend is caused by the become frequent positive anomalies during the winter and spring period now.

Key words: global warming, climatic characteristics, Izhevsk.

Tatarenkov D. Analysis of Methods for Processing 3D Models in Simulations: Comparison of Approaches for Optimization. – PP. 428–432.

Creating photorealistic 3D models is an important step in creating immersive experiences, building metaverses. These models allow users to immerse themselves in worlds that are impossible in real life. The article is devoted to a comparative analysis of various hair processing methods when simulating the behavior of clothing fabric materials on three-dimensional models. The study focuses on the effectiveness and realism of the applied methods in the context of simulating movement and interaction between clothing and hair. The work analyzes modern approaches, including technologies for simulating hair physics and geometric modeling. The experimental results provide a comparison of the visual and kinematic performance of different methods in the context of creating more realistic virtual characters. The data obtained can be used to improve the quality of visual effects in the gaming industry, as well as in film production, immersive reality, and virtual television production.

Key words: virtual reality, 3D modeling, mixed reality, Houdini.

Tuchkevich A. Hybrid Television: Principles and Applications. – PP. 433–437.

Hybrid TV has been developing and spreading for more than a decade, but the opportunities it offers are not immediately obvious to both ordinary users and potentially interested organizations. Users can get increased flexibility in the choice of consumed content, and for organizations it can provide new opportunities for interaction with advertisers. The report describes the principle of operation of a hybrid television system based on the HbbTV standard. The ways of application of such systems are analyzed. The directions of development of this technology are defined.

Key words: hybrid television, HbbTV, interactive television, directed advertising, HbbTV TA, DVB-I.

Fisechko N., Khimenkova D., Chernov I. Using Neural Networks to Detect Pre-Emergency Situations at Industrial Facilities. – PP. 438–442.

Traditional methods of pre-emergency detection are based on sensors or detectors. Application of such sensors does not always give information about the exact place of detection of abnormal situation and often requires a large amount of time for triggering.

This problem can be solved by applying a detection system based on neural convolutional networks. The key to the successful use of neural networks lies in the proper training process and the composition of the training data set. For optimal performance, the hardware on which the neural network will be used must also be considered.

Key words: Object recognition, convolutional neural network, YOLOv3, Python, dataset.

Fokin G. New B5G Network Positioning Technologies: Single-Position Coordinate and Orientation Estimation. – PP. 443–448.

In networks of the fifth and subsequent generations, the radio access network infrastructure makes it possible to jointly solve the problems of organizing radio communications and positioning. Multi-element antenna arrays on gNB base stations and UEs offer extensive opportunities to measure the angle of arrival and departure of a signal with high accuracy for subsequent orientation estimation. Unlike previous generations of mobile networks, where in order to estimate the coordinates of the UE in space using the difference-range method it was necessary to use at least four synchronized gNBs, in B5G networks positioning can be implemented using a single-position method using a single base station gNB and a user device UE equipped with an antenna array that estimates the time and angle of arrival and departure of the signal in the downstream gNB→UE or upstream UE→gNB channel. This paper formalizes the problem of estimating the coordinates and orientation of user devices using a single-position method under conditions of direct visibility in the downstream gNB→UE channel.

Key words: B5G networks, positioning, single-position method, coordinate estimation, orientation.

Fokin G. New B5G Network Positioning Technologies: Positioning and Synchronization in Non-Line-of-Sight Conditions. – PP. 449–454.

In this work, a mathematical model is formalized and a simulation model is implemented in software for joint estimation of coordinates and synchronization of devices using a single-position method in the absence of line of sight in the downlink between the gNB base station and the user device UE. It is assumed that the gNB and the UE are equipped with multi-element linear antenna arrays and operate in the millimeter wave range in non-line-of-sight and multi-bounce environments. A geometric interpretation of the search for unknown coordinates of the user device UE and the unknown synchronization offset between gNB and UE in the downlink gNB→UE is shown. The simulation results confirm the performance of the single-position method.

Key words: B5G networks, positioning, synchronization, non-line-of-sight.

Fokin G. New B5G Network Positioning Technologies: Positioning of User Equipment in the Near Field. – PP. 455–459.

In networks of the fifth and subsequent B5G generations, antenna arrays are used both to solve radio communication problems and for positioning. With increasing dimensions of the antenna arrays that are equipped with gNB base stations and UEs, the assumption of a flat wave front and gNB-UE radio channel operation in the far-field model no longer applies and it becomes necessary to take into account the curvature of the spherical wave front. In this work, we formulated the problem of joint positioning and synchronization of the UE using a single-position method using an antenna array on the gNB under the operating conditions of the gNB-UE radio channel in the near-field model.

Key words: B5G networks, positioning, synchronization, near-field model.

Fokin G., Sheremet N. The Use of Adaptive Beamforming Algorithms in 5G Networks. – PP. 460–464.

Adaptive beamforming is an extremely important aspect of realization of spatial division multiple access (SDMA) in fifth generation mobile networks. In Ultra-Dense Networks, antenna arrays receive a lot of interference in addition to useful signals, suppression of which by forming the zeros of directional patterns is the task of adaptive beamforming algorithms. The paper considers the application of LMS and RLS algorithms for calculating the weight coefficients of digital antenna arrays. A model in MATLAB environment is proposed to compare the efficiency of these algorithms.

Key words: Ultra-Dense Networks, adaptive beamforming, algorithms, LMS, RLS.

Tsarik V. I. Comparison of Methods of Interference Sources Number Determination in Antenna Arrays Adaptation. – PP. 465–469.

A problem of interference signals sources number determination that emerges in construction of certain types of digital adaptive antenna arrays is considered. Several algorithms that solve the given problem and are based on the methods of statistical analysis, cluster analysis and numeric sample outlier determination are described. A computer modeling of work of the mentioned algorithms in different signal-interference conditions is executed. A comparative analysis of the algorithms performance characteristics based on the modeling results is carried out and the methods with the best parameters are determined.

Key words: adaptive antenna array, wideband interference, interference sources number, statistical analysis, cluster analysis, computer modeling, MATLAB.

Гордеев М., Ликонцев А. Разработка устройства для анализа и тестирования сетей 802.11. Общая идея и концепция. – С. 470–473.

В данной статье представлены начальные этапы создания специализированного устройства для анализа и тестирования сетей 802.11. Она обрисовывает основные концепции и общее видение, лежащие в основе разработки устройства. Конкретно в статье обсуждаются основные принципы, определяющие проектирование устройства. Кроме того, статья дает представление о предполагаемых вызовах и соображениях при реализации устройства, включая вопросы, связанные с аппаратным и программным обеспечением. Эта статья является первой из серии статей. В следующих частях предполагается более детальное обсуждение технических характеристик, стратегий реализации и практических применений устройства.

Ключевые слова: беспроводные сети, Wi-Fi, анализатор, проектирование устройств.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF RADIO ELECTRONICS
AND COMMUNICATION SYSTEMS

Avdyakov V., Buhinnik A., Cherbaty P. On the Issue of Companding with Delta Modulation. – PP. 474–481.

Currently, delta modulation is used as a method of analog-to-digital conversion in communication systems, signal processing, both in civilian and special military equipment. The method of companding, which is a component of the ADC based on delta modulation, is considered.

Key words: delta modulation, companding, digital compression.

Avdyakov V., Garkavaya A., Shumakov P. Overview of Technologies and Positioning Methods Using Bluetooth LE Systems. – PP. 482–488.

A brief overview of positioning technologies inside industrial premises and methods for implementing precise determination of the location of a network device using Bluetooth Low Energy mesh network technology is given. Methods of trilateration, triangulation, “fingerprint”, features of their implementation in the context of the accuracy of positioning devices indoors are considered.

Key words: location of a network device, Bluetooth Low Energy, trilateration, triangulation, “fingerprint”.

Bezbatchenko A., Lukyanov V., Polishchuk V. Electrical Properties of Polyimide Films. – PP. 489–494.

Electrical properties of polyimide films In modern industry there is an increased need for new materials with high physical, mechanical, chemical and electrical properties. Polyimides are heat-stable compounds capable of maintaining their electrical properties at high temperatures up to 200°C. They have excellent mechanical and dielectric characteristics, which makes them in demand in various industries, including chemical, energy, aerospace and electronic.

Key words: polyimides, electrical properties, electrical conductivity, activation energy.

Bocharov E. I., Glukhov N. I., Landa A. E., Sedyshev E. Y. Tunable Coupler on the Substrate of Ferrosphenel – PP. 495–499.

A microwave coupler on a ferrosphenel with a central frequency changing under the influence of a magnetic field is being investigated. Such an element can be used in microwave electronics to create devices with automatic frequency adjustment.

Key words: Microwave, tunable coupler, ferrite substrate, ferrosphenel.

Britaeva O., Plotnikov P., Podgornaya E. Mathematical Models of Investment in Applied Information Systems. – PP. 500–503.

The article proposes a mathematical model of investments in the information structure of tourism. The analysis of tourism development in the North-West of Russia as one of the main factors of the financial well-being of the region is carried out. The importance of making managerial

decisions of an investment nature, evaluating and comparing the volume of expected investments and future cash receipts is considered. The analysis is carried out using applied information systems that allow to obtain formalized criteria; the amount of required investments is compared with projected returns.

Key words: mathematical modeling, information systems, tourism, management decisions, regional development, characteristics of financial flows, investments, development dynamics.

Brusin E. Implementation Direct Spread Spectrum Signals Demodulator Acquisition Using Automatic Frequency Control. – PP. 504–509.

The work is devoted to the problem of direct spread spectrum signals demodulator acquisition. The main focus of the work is on carrier frequency search. To implement the initial synchronization, an approach is proposed that combines a procedure based on the use of fast Fourier transform and automatic frequency control methods. Here, the main purpose of automatic frequency control is to extend the demodulator carrier frequency acquisition band. The key element of the frequency auto-tuning circuit is the frequency detector. The paper discusses the structure of a signal demodulator with a frequency detector included in it. A demodulator lock criterion based on the analysis of the phase diagram of the received signal is proposed. The results of modeling algorithms for acquisition are presented.

Key words: direct spread spectrum, acquisition, automatic frequency control, phase diagram.

Bulanov V. Analysis of the Mobility of Hydrogen in the Lattice of Vanadium Alloys According to Computer Modeling Methods. – PP. 510–514.

The mobility of hydrogen in the lattice of vanadium alloys depends on many factors: temperature, pressure, hydrogen content in the alloy, the size and shape of the lattice, as well as the presence of defects in the lattice. The movement of hydrogen can occur both due to diffusion through the lattice and due to the dissociation of hydrogen molecules on the surface of the alloy. The article will consider the analysis of the mobility of hydrogen in the lattice of vanadium alloys, analyzed using computer modeling methods.

Key words: hydrogen mobility, computer modeling, vanadium alloys.

Verlikov N., Sedyshev E. Hybrid Integrated Circuit of a Microwave Noise Generator. – PP. 515–517.

In this paper, the possibility of constructing a microwave noise generator in an integral form is investigated. The results of modeling and experiments are presented, and ways of further development of integrated microwave noise generators are proposed. Positive feedback circuits using filters and phase correction are considered.

Key words: IMPATT diode, microwave transistor, generator, positive feedback, phase corrector.

Vinogradov S., Peredistov E. Simulation of a Delta-Automated Device. – PP. 518–522.

Modern industrial challenges require constant development and modernization in the field of mechanical engineering. For an increasing number of tasks, mechanized devices with a wide range of capabilities are manufactured. Depending on the type of mechanical device, it has a different number of mechanical degrees of freedom, accuracy and speed. This work discusses the design of a delta-automated device and its functionality. An overview of some working units and the assembly cycle is given.

Key words: delta-robot, Arduino Uno, theory of machines and mechanisms.

Vladyko A., Plotnikov P., Suravtsev R. Data Offloading Route Selection in Intelligent Transportation Systems. – PP. 523–517.

In recent years, there has been an increasing interest in the analysis of modern intelligent transportation systems (ITS). Research in this area aims to develop approaches to improve performance and refine performance evaluation in ITSs. In the process of integrating new approaches in ITSs, special attention is paid to optimizing data transfer between the boundary devices of the transportation system. However, traffic congestion, high mobility of vehicles, and inaccessibility of roadside computing devices can lead to various difficulties. In this paper, a congestion optimization approach to improve the performance of ITS is discussed. Emphasis is placed on approaches to minimize reconnections due to high vehicle mobility, successful data offloading, reduced downtime, and efficient selection of boundary devices for offloading tasks to reduce latency. The approaches are evaluated on the following key parameters: speed of operation and system efficiency.

Key words: V2X systems, RSU, fog node, store-carry-and-forward, TCD-V, k-hop, VANET, data offloading.

Vladyko A., Plotnikov P., Tambovtsev G. Using Mobile Edge Devices to Optimize the Efficiency of Data Offloading in V2X System. – PP. 528–532.

The use of mobile computing units (mRSUs) in wireless self-organizing vehicular networks (VANETs) provides an opportunity to address the problems associated with redundant installation and downtime of fixed roadside computing units (RSUs). These problems are caused by the uneven density of traffic distribution on different road segments. This paper discusses an update of the VANET software module designed to numerically simulate and analyze the performance of the interaction between elements, including mRSUs and RSUs, both joined and individually. The simulation results are subjected to analysis in order to optimize the performance of the transport network according to specified criteria.

Key words: VANET, V2X-systems, numerical modeling, mobile RSU.

Voitenko V., Plotnikov P. Mathematical Model of Resource Management Using Local Servers. – PP. 533–537.

The article describes the work and application of mathematical models to improve the functionality of HTTP-servers. Such functionality can include: optimization of request processing and data transfer, security and performance enhancement. The research aims to describe and implement basic mathematical concepts applied to various aspects of web servers. Examples include the use of cryptography for data encryption, routing algorithms for efficient request management, and performance optimization using mathematical models.

Key words: HTTP server, routing algorithms, TCP connections, socket.

Gulyaev R., Sedyshev E. Electrically Controlled KU-Band Attenuator . – PP. 538–542.

Today, the Ku-band is being developed to support satellite television and radio communications. Satellite communications in this frequency range are widely used throughout the world. Due to the short wavelength, reception of Ku-band signals is possible with a small parabolic antenna, the diameter of which is usually less than a meter. This paper considers a controlled attenuation device in the form of an integral insert into the waveguide.

Key words: Ku-band, waveguide, electrically controlled attenuator, volumetric integrated circuit.

Dvornikov S., Stepichev A. Mathematical Model of the Mechanical Part of the Manipulator. – PP. 543–547.

The work is devoted to the analytical presentation of the mathematical model of the mechanical part of the manipulator. The mathematical model of a manipulator that performs both linear and angular movements and operates in a cylindrical system includes solving the problem of compensating for centrifugal and Coriolis forces. Inertial loads of electric motor rotors are considered, as well as transformations through generalized coordinates and kinematic energy of links performing angular and vertical movements.

Key words: manipulator, mathematical model, cylindrical coordinate system, Coriolis force, centrifugal force, electric drive control.

Demshevsky V., Klyuev S., Lobodin V. A Bandpass Filter Based On A Slot Line With An Offset Of The Center Of The Slot. – PP. 548–551.

The paper considers a slot line with a displacement of the center of the slot to the edge of the dielectric substrate and examines its characteristics. Based on it, a basic element has been created – a bandpass filter, which is formed by a heterogeneity – a "jump" of the gap - an expansion of the gap. The results of numerical calculation of a bandpass filter using the finite element method are presented. The dependences of the characteristics of the bandpass filter on the geometric dimensions of the inhomogeneity are analyzed.

Key words: slot line with offset of the center of the slot, bandpass filter, finite element method, scattering matrix, wave resistance.

Detkova V., Dolmatova O., Peredistov E., Chernyh L., Sharikhina Y. Approbation Of Methodological Instructions for Performing Laboratory Work "The Contact Potential Difference" in the Educational Process. – PP. 552–557.

As part of the development project "Creating an educational laboratory "Wave Optics and Quantum Mechanics" at the Faculty of Fundamental Training" a set of educational - laboratory equipment "Quantum Optics" was purchased. The article is devoted to the approbation of methodological instructions in the educational process for performing laboratory work "The contact potential difference", which is part of this complex. The laboratory setup makes it possible to determine the contact potential difference between an anode and a cathode of a vacuum diode and study its dependence on the cathode temperature. Analysis of current-voltage characteristics provides information about the operating modes, parameters, and physical principles of operation of a vacuum diode. The laboratory work will be introduced into the educational process within the framework of the disciplines "Physics (specific themes)" and "Physics of Condensed Matter" at "The Bonch-Bruевич St Petersburg State University of Telecommunications"

Key words: physics education, quantum optics, educational and laboratory equipment, the contact potential difference.

Zaitseva Z.V., Logvinova N.K. Human-Machine Interaction Capabilities in a Learning Environment of Technical University. – PP. 558–563.

The methods and capabilities of human-machine interaction in a computer-based learning environment are considered using the example of studying electrical engineering at the Department of Theoretical Foundations of Telecommunications.

The possibility of studying various modes and processes in electrical circuits in a more effective and clear way using computer technology in laboratory and practical classes, as well as during coursework is shown, which contributes to a better assimilation of theoretical knowledge.

Key words: human-machine interaction, computer-based learning environment, modeling of processes, performance studying, electrical circuits.

Kanaev B., Karmyshakov A. Digital System of Pulse-Phase Control with Phase Loop. – PP. 564–570.

A pulse-phase control system designed for generating control pulses for single-operation thyristors in controlled rectifiers is considered. For this purpose, the authors have developed and manufactured an experimental prototype, which represents a digital system with phase-locked loop. The device ensures reliable unlocking of thyristors at a moment determined by the control angle α ; smooth change of the control angle in a given range and galvanic isolation from the power circuit.

Key words: transformer, detector, linear voltage generator, comparator, control pulse duration shaper, output stage.

Knyazev S.A., Urvantseva N.L., Sharikhina Yu.V. Diffraction on Two-Dimensional Structures of Varying Degrees of Order Containing Foreign Inclusions. – PP. 571–577.

Within the framework of the kinematic theory of scattering, the features of diffraction on surface structures consisting of separate two-dimensional blocks of the base material and foreign inclusions are considered. It is shown that the kinematic approximation quite adequately relates the real block structure with the intensity, shape and angular position of the diffraction maxima.

Key words: the kinematic theory of scattering, block structure, foreign inclusions.

Kokorina A., Plotnikov P. Mathematical Model of Filtering a Digitized Signal From Noise. – PP. 577–581.

The paper considers a mathematical model of filtering a digitized signal from interference (noise). For its realization the approach based on the discrete Fourier transform scheme is chosen. In order to improve the efficiency of the model, the fast Fourier transform scheme is also considered, which allows to increase the speed of filtering. The program realization of the model in C++ programming language is described.

Key words: discrete Fourier transform, fast Fourier transform, filtering a digitized signal, C++.

Kubalova A. Synthesis of a Microwave Elliptical Filter With Quarter-Wave Inverters. – PP. 582–586.

An approximate method for the synthesis of a microwave elliptical filter with quarter-wave inverters of the centimeter range with implementation on a symmetrical strip line is presented. The main stages of filter calculation are: determination of the corresponding LF prototype; transformation of the LF prototype into a bandpass filter; application of the Jaffe transformation; introduction of inverters into the filter circuit and determination of all impedances. An example of calculating a microwave elliptical bandpass filter in the centimeter range is given.

Key words: low-pass prototype filter, microwave filter, bandpass filter, Jaffe transformation, inverter.

Kucheryavyi A., Peredistov E. Development of a Planar Transformer for DC/DC Converter with Multiple Outputs. – PP. 587–590.

The article describes the development of a planar transformer for a voltage converter with galvanic isolation. The development of a planar transformer is a difficult theoretical task that the author has set himself, however, some advantages of planar transformers make us think about their mass application in converters of all types.

Key words: planar transformers, transformers, voltage converters.

Mogilatov V., Sedyshev E. Modified Planar Microwave Emitters for All-Around View Direction Finder A. – PP. 591–594.

The article discusses the main problems of synthesizing emitters for a microwave direction finder. A variant of a planar emitter for a direction finding device is proposed. A comparative analysis of the characteristics of the layout of the proposed structure and the layout of previously used antennas is provided.

Key words: planar emitters, patch antenna, modified planar emitter, microwave bearing.

Nikitin Yu. Using the Method of Complex Periodic Grid Function to Find the Spectrum of Packs of Pulses. – PP. 595–597.

The option of finding the spectrum of a burst of pulses in a condensed form (without resorting to series) using the complex periodic lattice function (CPL) method is considered. The method is based on a mathematical model of the SRF with an open architecture and allows one to find the spectra of two- and multi-level oscillations formed at the output of passive digital and digital-to-analog frequency synthesis systems. Periodic oscillations of the required shape are supplied to the inputs of the model, and their transformations are carried out in accordance with the synthesis algorithm used.

Key words: passive digital frequency synthesis, spectrum, rational number, continued fraction, Euclidean algorithm, Diophantine equation.

Nikitin Yu. Coherent Oscillations at Output of Frequency Synthesizer. – PP. 598–600.

The coherence of oscillations at the outputs of frequency synthesizers implies that the average difference in their full phases at the observation point does not depend on the observation time. The temporal aspect of coherence is important when considering the interaction of electromagnetic vibrations. Coherence is important in the organization of synchronous broadcasting, as well as in radar and radio navigation.

Key words: Coherence, full phase, quasi-mono-harmonic oscillation, interference.

Pavlov F. Conventional Nuclear Forces as a Consequence of the Quark-Gluonic Hadronization Into Mesons. – PP. 601–606.

The conventional nuclear forces at low energies are described by NN-potentials that arise within the framework of the classical mesonic theory as a consequence of the interchange of mesons. Under the situation the mentioned NN-potentials depend on the mesonic masses as parameters. From the point of view of quantum chromodynamics (QCD), however, the mesons and nucleons are composed of quark-gluon configurations and are the result of a confinement mechanism, i.e., the quark-gluonic hadronization into mesons (nucleons). Hence the above mesonic masses should be some functions of quark-gluonic degrees of freedom. When using the

confinement mechanism proposed earlier by one of the authors in QCD we adduce the sought functions in an explicit form which enables us to conclude that the NN-potentials only correspond to some residual interactions while the latter are the direct result of the quark-gluonic hadronization into mesons when approaching two nucleons.

Key words: confinement, hadronization, nuclear forces.

Pavlov F. Fractionality of Electric Charges of Quarks as a Mathematical Consequence of the Standard Model. – PP. 607–612.

In the electroweak Glashow-Weinberg-Salam theory, so-called Feynman «anomalous triangular» diagrams with leptons propagating along internal lines cancel out with quark triangular diagrams. And the theory remains renormalizable due to quark-lepton symmetry. The possibility of compensation is realized at certain relationships between the electric charges of quarks.

Key words: Quarks, The Standard Model.

Sedyshev E., Smirnova D. The Principle of Electrodynamical Similarity in Solving Engineering Issues of Microwave Technology. – PP. 613–617.

The paper examines the dependence of the frequency characteristics of microwave devices on the variation of their linear dimensions. Particularly, the obtained S-parameters of the shunt stub bandpass filter models with different scaling coefficients along the X and Y axes are given. The possibility of synthesizing microwave devices on ring resonators based on the principle of electrodynamic similarity is also being considered.

Key words: the principle of electrodynamic similarity, synthesis, scaling, filter, microwave, microstrip.

Sergeev A., Shamsiev B. Evaluation of the Limiting Possibilities of Remote Power Supply of an Optical Amplifier. – PP. 618–621.

Due to the increase in transmission distances in the optical range, it becomes necessary to install optical amplifiers on the track. For the normal operation of such devices, electrical energy must be supplied to them. To do this, you can use cables with copper cores embedded in the structure. The article estimates the maximum length of the remote power supply section of an optical amplifier on an impurity fiber, depending on the voltage supplied to the input of the remote power supply circuit, taking into account the characteristics of the copper pair.

Key words: Remote power supply, pump laser, optical amplifier.

Urvantseva N., Urvantsev V., Fedyushin V., Sharikhina Yu. About the use of the Laboratory Stand "Wave Optics" when Performing Laboratory Work on the Topics "Interference" and "Diffraction". – PP. 622–628.

Interference, diffraction and polarization are elements of wave optics, which is one of the main sections of university physics courses. The work analyzes the results of testing the universal stand "Wave Optics", created at the enterprise for the production of educational equipment "Zarnitsa".

Key words: Laboratory work, interference, diffraction, coherence, interference maximum

SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS

Aldamzharov A., Grachev I., Kovalev I., Rakhymzhan B., Application of Cals Technology to Improve the System of Maintenance and Repair of Radio-Electronic Monitoring Equipment. – PP. 629–634.

The existing system of maintenance and repair in modern conditions for a number of indicators has ceased to meet the requirements. Development of promising electronic monitoring tools in order to reduce the time required to provide spare parts through timely response to technical failures and malfunctions of weapons.

Key words: weapons, electronic monitoring, information technology, operational data, integrated logistics support.

Alexsandrov V., Grigorchuk A., Gridnev V., Gruzdev D., Znobischev R. Methods of Training Specialists in the Field of Information and Communication Technologies Using Training Maps and Algorithms. – PP. 635–639.

The article discusses the methods of training specialists in the field of information and communication technologies and special communication systems using training cards (UTCs) or algorithms. The proposed methods of training specialists using UTK or algorithms allow to improve the quality of learning of educational material and the level of practical skills in the operation of telecommunications equipment and special-purpose communication networks. The article may be useful to the management and teaching staff of educational organizations, as well as students.

Key words: training of specialists, information and communication technologies, special purpose communication networks, training maps, algorithms.

Albadr X., Sazonov V. Peculiarities of Planning Elements of Military Information Systems. – PP. 640–642.

Special purpose information systems are created and operate in various conditions to achieve unique goals. The administrative method of work of officials of the management bodies of special purpose systems allows us to take into account more features and include the entire management system in the planning of information systems.

Key words: special purpose information systems, planning, administrative method of work.

Anikeev A., Vasiliev D., Grigorchuk A., Sagdeev A., Semin A. Generalized Structure of the Physical Topology of a Secure Multiservice Data Transmission Network Operating in the Interests of a Special-Purpose Infotelecommunication Network. – PP. 643–645.

An integral part of the special-purpose infotelecommunication network is a multiservice data transmission network that provides data transmission services to subscribers of military authorities. The article considers the generalized structure of the physical topology of a secure multiservice data transmission network and a set of infocommunication tools for building nodes of a secure multiservice network.

Key words: ITKS CH, multiservice network, data transmission, infocommunication complex.

Anikeev A., Gordiychuk R., Grigorchuk A., Sagdeev A., Semin A. A Service for the Guaranteed Delivery of Information to a Secure Multiservice Data Transmission Network Operating in the Interests of a Special-Purpose Infotelecommunication Network. – PP. 646–648.

An integral part of the special-purpose infotelecommunication network is a multiservice data transmission network that provides data transmission services to subscribers of military authorities. The article considers such an element of a secure multiservice data transmission network as a guaranteed information delivery service and its capabilities.

Key words: ITKS CH, multiservice network, data transmission, guaranteed information delivery service.

Anikeev A., Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Zizevsky V., Sagdeev A. Flow Management at the Transport Level By a Secure Multiservice Data Transmission Network Operating in the Interests of a Special-Purpose Infotelecommunication Network. – PP. 649–652.

An integral part of the special-purpose infotelecommunication network is a multiservice data transmission network that provides data transmission services to subscribers of military authorities. The article discusses flow management at the transport level in a closed segment of a multiservice data transmission network.

Key words: ITKS CH, multiservice network, data transmission, transport layer.

Anikeev A., Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Zizevsky V., Sagdeev A. Network Service of a Closed Segment of a Secure Multiservice Data Transmission Network Operating in the Interests of a Special Purpose Infotelecommunication Network. – PP. 653– 657.

An integral part of the special-purpose infotelecommunication network is a multiservice data transmission network that provides data transmission services to subscribers of military authorities. The article discusses the topology of the formation of virtual channels, the features of routing in a closed segment of a secure multiservice data transmission network.

Key words: ITKS CH, multiservice network, data transmission, routing.

Anikeev A., Grigorchuk A., Drobyaskin A., Sagdeev A., Semin A. General Characteristics of a Secure Multiservice Data Transmission Network Operating in the Interests of a Special Purpose Infotelecommunication Network. – PP. 658–661.

An integral part of the special-purpose infotelecommunication network is a multiservice data transmission network that provides data transmission services to subscribers of military authorities. The article discusses such characteristics of a secure multiservice data transmission network as, tasks, a list of telecommunications services and network service functions.

Key words: ITKS CH, multiservice network, data transmission.

Belyaev D. L., Filippov D. R. Developing a WEB-Site, Based on PostgreSQL, for Research of SQLi Vulnerabilities. – PP. 662–666.

The article is devoted to the issues of developing web-site, based on PostgreSQL, to training protection methods from SQL-injections. This article provides recommendations for creating a information resource, testing database accesses, that simulate SQL injections, and describe methods of protection against them.

Key words: DBMS PostgreSQL, SQL-injections, web-site, injection protection.

Belyaev D., Shatyornykh Y. Configuration Management Of Multi-Level Virtual Communication Channels OpenVPN. – PP. 667–670.

The article is devoted to the issues of ensuring reconnaissance security of infocommunication network. To hide the structure of the telecommunications network, it is proposed to mask information about participants in network interaction by creating a multilayer virtual private network based on OpenVPN technology.

Key words: virtual private network, reconnaissance security, cryptotunnel.

Bilan V., Fedoseev D., Shchukin A. A Technique for Improving the Timeliness of Information Transmission in a Special-Purpose Data Transmission Network. – PP. 671–679.

A special-purpose data transmission network is considered, the feature of which is a rare information exchange, accompanied by a sharp surge in traffic. The operation takes place using a radio communication network, in conditions of the use of electronic suppression equipment by the enemy. The article solves the problem of rational packet routing in a data transmission network using a modification of the well-known Dijkstra algorithm, taking into account the imposed restrictions. At the same time, the sections of the composite route are heterogeneous, since they have different characteristics (the probability of error per bit and the speed of information transmission).

Key words: data transmission network, average packet delivery time, packet routing, Dijkstra algorithm.

Glushko A., Gridnev V., Stakheev I. The Proposed Methods of Formation of Professionally Important Qualities of Specialists in the Field of Telecommunication Technologies. – PP. 680–685.

The article discusses the problems of improving the training of specialists in the field of telecommunications through the formation and development of professionally important qualities (PIQ). The methods of improving the training of specialists in the field of telecommunications technologies are proposed, taking into account the formation of PIQs, as well as their phased development during training at the military training center (MTC). The formation and development of PIQ is carried out in the process of professional training of specialists within the framework of educational and individual educational work. The proposed variant of the formation and development of the student's PIQ can be useful in the training of specialists for the management staff and teaching staff of the MTC.

Key words: Formation and development of professionally important qualities of specialists in the field of telecommunication technologies, educational work, individual work, socio-psychological and professional psychological qualities of a person.

Glushko A., Polyakov A., Sagdeev A., Samarkin D., Skrykov I. Methods for Increasing the Reliability of Object Recognition in Conducting Technical Intelligence. – PP. 686–689.

The main tasks of the technical intelligence system are to obtain the characteristics of the intelligence object and make a decision on whether the intelligence object belongs to a certain class. It is possible to increase the reliability of technical intelligence by using the most informative features, but the enemy is trying to reduce the number of intelligence features.

Key words: ITKS CH, technical means of intelligence, intelligence signs.

Grischenko S., Ivanin A., Subbotin D. Controllability of Transport Communication Networks Military Purpose. – PP. 690–692.

The article examines the impact of the integration of artificial intelligence and machine learning technologies into the management system of military transport communication networks on

the methods of assessment and improvement of their manageability. The key stages of the management cycle, the introduction of automation into the processes of monitoring and analyzing incoming data, as well as the use of a predictive approach are presented.

Key words: military transport links, controllability, artificial intelligence and machine learning, control system.

Grischenko S., Ivanin A., Subbotin D. Research of Ways to Apply Artificial Intelligence in the Interests of Ensuring Sustainability of Optical Transport Communication Networks. – PP. 693–697.

The active development of machine learning methods is increasingly reflected in the field of telecommunications and communications. No exception is the study of ways to implement such technologies in the interests of ensuring the stability of optical transport communication networks operating in an untrusted environment. Progress in the theory of machine learning and the development of effective algorithms make it possible today to process a huge amount of data. This significantly improves the accuracy of forecasts and reduces the time to identify network states down to real time scales, which is critical for the operational management of networks.

Key words: Sustainability, optical transport communication networks, machine learning.

Gruzdev D., Polyakov A., Sagdeev A., Samarkin D., Skrykov I. Special Purpose Infotelecommunication System and Radio Suppression System as an Object of Conflict. – PP. 698–701.

The interaction of a special-purpose infotelecommunication system with means of radio suppression, and before that with means of technical intelligence, can be attributed to the class of antagonistic conflicts. The objective functions, tasks of each participant in the conflict and ways to achieve their goals are considered.

Key words: ITKS CH, radio suppression system, conflict.

Zagorelskiy V., Marchenkov A. Improving the Effectiveness of Training of Courier and Postal Communication Specialists Using BSETT. – PP. 702–704.

Every day, more than 1000 mail items from relatives and friends with a total weight of up to 7 tons are received from the Russian Post of the FPS station in the zone of special military operation. In order to organize such a large amount of work on the delivery of postal items, a special postal communication department has been formed (processing, forwarding and transportation of postal items Moscow-300, Moscow-400, Moscow-500).

In order to organize personal correspondence between military personnel, more than 2 million marked postal envelopes were delivered to military units of the groups. In these conditions, the role of courier and postal communication is difficult to overestimate, and the work of military postmen of military units becomes indispensable.

Key words: courier-mail communication, interactive teaching methods, educational process.

Zaikin R., Pryadkin A., Stepynin D. Communication Technologies of Self-Organizing Networks in Special-Purpose Communication Systems Deployed to Solve Operational Problems During the Prevention of Emergency Situations and Liquidation of their Consequences. – PP. 704–709.

The issues of the most stable, reliable, inexpensive and simple communication systems remain relevant in our time. This article discusses the possibilities, features and prospects of using self-organizing networks using the example of mesh and MANET networks, as well as the protocols

by which they can be implemented. Their comparative characteristics are carried out to determine the most suitable protocol for use in self-organizing networks and in particular in special-purpose communication systems.

Key words: special purpose communication systems, self-organizing networks, mesh – networks, MANET – networks.

Ivanenko A., Ivanenko T., Kabaev I. The Influence of the Effectiveness of Educational and Methodological Support on the Formation of Qualities of Military-Applied Orientation among Students of the University. – PP. 710–714.

The purpose of the presented research is to familiarize in practice with the Concept of educational and methodological support for the process of teaching physical culture to students of the Higher School of Economics, as a didactic means of effectively influencing the formation of qualities of military–applied orientation among students of the Higher School of Economics, determining the score standards of testing according to the level of Professionally applied physical training, ensuring control over the formation of qualities of military-applied orientation, based on adaptation of standards for military personnel of the Armed Forces of the Russian Federation to the standards of students of the University.

Key words: the effectiveness of educational and methodological support, physical education, students of the University.

Ivanenko T. The Effectiveness of the Influence of Educational and Methodological Support on the Level of Professionally Applied Physical Training of Students of the Military Training Center. – PP. 715–718.

The increased requirements for the professional readiness of specialists have determined the relevance of the formation of professionally significant qualities of students of the military training center, respectively, the requirements for the physical fitness of Russian military personnel. The article considers the issue of the effectiveness of educational and methodological support as a means of influencing the improvement of the level of professionally applied physical training. The results of testing students on the exercise "Bending the trunk forward from a prone position in 1 min." are presented. The positive impact of educational and methodological support on the level of professionally applied physical training of students has been determined.

Key words: The effectiveness of educational and methodological support, professionally applied physical training, students of the University.

Ivanenko T. The Effectiveness of Educational and Methodological Support According to the Coverage of the Target Audience of Students of the Military Training Center. – PP. 719–723.

The development and reorganization of military education actualize the problem of educational and methodological support for the process of teaching physical culture to students of the military training center. The approaches to the definition of its essence as a means of methodological, technological and technical support of the educational process are analyzed. Presented are: a map of the availability of disciplines, an indicator of the percentage of coverage of the target audience of students of the military training center based on data on the distribution of the volume of classes, determining the effectiveness of the educational process. The conditions for improving the effectiveness of educational and methodological support are proposed.

Key words: The effectiveness of educational and methodological support, physical education, students of the University.

Kovalev I., Nogin S., Pantyukhin O., Paschenko V. Model of a System for Monitoring the Condition of Communication Equipment and Automation for Special Purpose – PP. 724–727. *To achieve the goal of functioning of special-purpose communication and automation systems, a three-level model of a system for monitoring the state of communication and automation technology is proposed. Its implementation will minimize the shortcomings of the currently existing monitoring system, reduce the influence of the human factor in the formation of data, and take into account the disintegration effects of processes occurring in samples of equipment.*

Key words: special purpose system, technical support of communication and automation, monitoring of the state of communication and automation technology, model.

Kozyrev V., Lashin U. Methods of Organizing and Conducting Military-Political Work at Training Camps for Students Enrolled in the Cadre Officer Training Program at the Military Training Center at the St. Petersburg State University of Telecommunications Named After Professor M. A. Bonch-Bruevich. – PP. 728–731.

Every year, the Military Training Center at the St. Petersburg State University of telecommunications named after prof. M. A. Bonch-Bruevich conducts training camps with students studying under the cadre officer training program. The purpose of conducting military-political work at training camps is to form professionally significant qualities among students, instilling in them the skills of educating subordinates in their future military professional activities. The methodology of organizing and conducting military-political work at student training camps will be described in this article.

Key words: Military training, Military training center, methodology, preparation, lesson.

Kostarev S., Ostroumova Yu., Solovyev V., Khanin S. The Study of Promising Areas of Development of Physics and Technology of Materials and Electronics Components in the Course "Special Sections of Physics" of the Military University. – PP. 732–735.

The methods of familiarizing future military communications engineers with promising areas of development of physics and technology of materials and electronics components during the teaching of the new academic discipline "Special sections of physics" are considered. The content of the discipline in question is not limited only to fundamental knowledge, but includes their practical, professionally significant applications for a military communications engineer. Active project and research methods are widely used in the organization of training; priority is given to the independent cognitive activity of students.

The first experience of successful teaching of the academic discipline "Special sections of physics" suggests that the study of this course in the future will contribute to improving the level of professional training of cadets in the field under consideration.

Key words: teaching physics, electronics, photonics, nanotechnology, nanocomposite materials.

Kotenko I., Khmyrov S. Cybersecurity Intruder Model for APT Attacks on Critical Infrastructure Facilities. – PP. 736–740.

Advanced Persistent Threats are mainly intelligent, highly accurate (targeted) and sophisticated state-sponsored cyberattacks targeting critical information infrastructure of other countries. Cyberattacker groups implementing this class of attacks typically use specially designed malware in unique ways depending on the target. Once a victim is selected, they employ various tools, techniques, and procedures to bypass traditional defense mechanisms. Intelligent multi-stage methods of deploying a malicious solution allow attackers to remain undetected for long

periods of time. The paper proposes a model of a potential cyber-attacker based on its individual characteristics.

Key words: targeted attacks, advanced persistent threats, critical infrastructure, cyber intruder attribution, cybersecurity, threat model.

Lukonin K., Sazonov V., Simonova P. Interference-Protected Short-Wave Data Transmission System. – PP. 741–743.

The article develops an interference-proof short-wave data transmission system taking into account the properties of the signals used and the parameters of the short-wave communication line, by introducing control devices and communication channel analyzers with elements of decisive feedback into it. The use of multiple ensembles of discrete orthogonal signals with good spectral and correlation characteristics makes it possible to ensure noise immunity of transmitted data in a complex environment of short-wave communication lines.

Key words: data transmission system with decisive feedback, communication channel analyzer, short-wave communication line, ensembles of discrete orthogonal signals.

Mandrik D., Sazonov V. A variant of the Program for Automated Configuration of Special Purpose Network Devices. – PP. 744–748.

The use of automation technologies in computer networks helps to accelerate deployment and maintain the operational state of nodes. Modern approaches to automation are based on the concepts of model-based programmability. This article discusses the development of a software tool for automating the configuration of special-purpose network devices.

Key words: computer network, network technologies, software-controlled networks, Python, Netmiko, Ansible.

Manko I., Shilkov V. Technical Creativity Of Cadets Of Military Educational Institutional As Tool For Increasing The Efficiency Of Educational Process. – PP. 749–753.

The article discusses issues of increasing the efficiency of the educational process in military educational institutions. Information is provided on experience of military training centers in developing practical skills of cadets outside of class hours and organizational and methodological recommendations are given for attracting cadets to technical creative teams. Using the example of the military training center of the Ural Federal University, the possibility and need for cadets to acquire additional practical skills and study modern information and communication technologies and computer-aided design tools during extracurricular hours in technical creative teams is illustrated.

Key words: military educational institution, technical creativity, practical skills, information technology.

Polyakov A., Sagdeev A., Samarkin D., Sidorenko E., Skrykov I. Input Data for the Algorithmic Model of the Technical Intelligence System. – PP. 754–757.

The main tasks of the technical intelligence system are to obtain the characteristics of the intelligence object and make a decision on whether the intelligence object belongs to a certain class. To form an input data array for a technical intelligence system, it is necessary to determine the basic rules for the degree of technical intelligence training.

Key words: ITKS CH, technical means of intelligence, training of the technical intelligence system.

Popov A., Semkina M., Tukhbatullina E. Autonomous Control of Combat Unmanned Aerial Vehicles to Evade Surface-to-Air Missiles Using Deep Reinforcement Learning. – PP. 758–762.

This article proposes a new approach to reinforcement training for combat unmanned aerial vehicle (UAV) missions. Missions with the following objectives are considered: evading guided missiles, flying along the shortest trajectory and flying in a structure. For reinforcement learning, it is important to present the current state of the agent. A new method is proposed for using the coordinates and angle of inclination of the UAV to effectively represent its state.

Key words: Deep reinforcement learning, combat unmanned aerial vehicle, deep learning, trajectory planning, reconnaissance.

Popov A., Semkina M., Tukhbatullina E. Interface Design for Human-Machine Interaction in Controlling Unmanned Aerial Vehicles. – PP. 763–767.

This work explores the development of the control interface for unmanned aerial vehicles (UAVs). UAVs have a high degree of autonomy when performing tasks using a ground controller. The paper considers an immersive interface that helps operators perform one or more automated tasks. This allows operators to assign tasks to drones, while ensuring flight safety by detecting and preventing errors.

Key words: Unmanned aerial vehicle (UAV), immersive interface, in-flight error detection and resolution, UAV operators.

Popov A., Semkina M., Tuhbatullina E. Development and Optimal Configuration of a Half-duplex AKD Protocol for Cognitive Ra-Radio Networks Taking into Account Intrinsic Interference. – PP. 768–772.

This paper proposes an adaptive medium access control (MAC-ACD) protocol for full-duplex (FD) cognitive radio networks, in which secondary users (SEs) of the FD perform channel matching followed by simultaneous spectrum determination and transmit only with maximum power at two different stages in each matching and access cycle. The proposed PD protocol cognitive ACD (PDK-ACD) does not require synchronisation between EPs, makes efficient use of spectrum and reduces self-interference in the PD transceiver. A mathematical model is developed to analyse the throughput of the MAC-ACD protocol.

Key words: adaptive access control (AAC), full-duplex cognitive radio networks, throughput, synchronisation, MAC-AAC protocol, self-interference.

Popov A. , Semkina M. , Tuhbatullina E. Cost-effective RBO placement and Flow Routing in 5G packet xHaul networks. – PP. 773–778.

Ethernet-based packet-switched xHaul networks are considered a promising solution to enable converged and cost-effective transmission of diverse radio data streams in dense 5G radio access networks (RANs). A challenging optimisation problem, which is the focus of this work, in such networks is the placement of distributed processing units (DPUs) implementing a subset of virtualised baseband processing functions on general-purpose processors in dedicated processing pools (PPs).

Key words: 5G, radio access networks (RANs), packet-switched xHaul, delay-sensitive networks, network optimisation, resource allocation, routing, mixed integer programming (MIP), heuristics.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

АБРАМОВА научный сотрудник Военной академии связи
Нина Ивановна им. Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, NIAbram@yandex.ru

АВДЯКОВ кандидат технических наук, доцент кафедры
Владимир Алексеевич теоретических основ телекоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
avdyakov.va@sut.ru

АГАЯН студент группы РТ-31м
Дмитрий Александрович Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
diman-agayan@mail.ru

АЙЕД сотрудник компании ООО "МАРКЕТА",
Хумэйд Мансур Мурад humaidayedh@gmail.com

АЛДАМЖАРОВ старший офицер направления (по внедрению
Аскар Тулебаевич и развитию автоматизированной системы
управления ресурсами материально
технического обеспечения) Управления
цифровизации систем управления ресурсами
Департамента информационных технологий
Министерства обороны Республики
Казахстан, aat@list.ru

АЛЕКСАНДРОВ полковник (запаса), старший преподаватель
Вадим Анатольевич кафедры проводной электросвязи и
фельдъегерско-почтовой связи Военного
учебного центра Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, vadim-aleksandrov@yandex.ru

АЛЬБАДР адъюнкт Военной академии связи
Ходр Баракат им. Маршала Советского Союза
С. М. Будённого, khodr.badr@gmail.com

- АНДРОПОВ ассистент кафедры радиосистем и обработки
Алексей Викторович сигналов Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, andropov.av@sut.ru
- АНИКЕЕВ преподаватель Военной академии связи
Александр Иванович им. Маршала Советского Союза
С. М. Будённого, grigorchuk.spb@mail.ru
- АРСИРИЙ кандидат технических наук, доцент кафедры
Алла Ивановна конструирования и производства
радиоэлектронных средств
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
ars-alla@rambler.ru
- БАБИЧЕВА студент группы ИКТВ-96
Ирина Игоревна Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Yarygina.ira02@mail.ru
- БАГАЕВ аспирант кафедры радиосвязи и вещания
Егор Сергеевич Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
bagaeve13@yandex.ru
- БЕЗБАТЧЕНКО оператор научной роты Военной академии
Антон Алексеевич связи им. Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, abezbatchenko@list.ru
- БЕЛКОВ кандидат технических наук, старший
Сергей Валентинович научный сотрудник Научно-
исследовательского института оперативно-
стратегических обоснований строительства
ВМФ Военного учебно-научного центра
ВМФ «Военно-морская академия имени
Адмирала Флота Советского Союза
Н. Г. Кузнецова», alextip@mail.ru
- БЕЛЯЕВ кандидат технических наук, доцент,
Дмитрий Леонидович сотрудник Академии Федеральной службы
охраны Российской Федерации,
bd133@academ.msk.rsnet.ru

- БЕЛЯЕВА** кандидат технических наук, доцент кафедры
Наталья Николаевна телевидения и метрологии
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
n.belyaeva@inbox.ru
- БИЛАН** научный сотрудник
Виктория Викторовна научно-исследовательского центра
Военной академии связи
им. Маршала Советского Союза С. М.
Буденного, bilanvictoriya@yandex.ru
- БОБРОВСКИЙ** преподаватель кафедры радиосвязи и
Андрей Владимирович вещания Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, bobrovski.andrey.int@gmail.com
- БОЙКО** аспирант, ассистент кафедры Радиосистем и
Игорь Андреевич обработки сигналов Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, igorboyko24na7@gmail.com
- БОРИСОВ** студент группы РТ-31М
Максим Геннадьевич Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
maximka.borisov3@gmail.com
- БОЧАРОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры
Евгений Иванович Электроники и Схемотехники Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, bochei@mail.ru
- БРИТАЕВА** старший преподаватель кафедры высшей
Ольга Хаджи-Муратовна математики Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, olga-britaeva@yandex.ru
- БРУСИН** кандидат технических наук, доцент кафедры
Ефим Александрович Электроники и Схемотехники, Санкт-
Петербургский Государственный
Университет Телекоммуникаций им.
профессора М. А. Бонч-Бруевича,
руководитель проекта института
радионавигации и времени АО «Обуховский
завод», yefim07@inbox.ru

- БУЛАНОВ** аспирант кафедры физики Санкт-
Владислав Николаевич Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
bvn1998@yandex.ru
- БУХИННИК** кандидат технических наук, ведущий
Александр Юрьевич научный сотрудник отраслевой научно-
исследовательской лаборатории передачи
дискретной информации (НИИ «Технологии
связи») Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, bhnnk@mail.ru
- БУЧАТСКИЙ** кандидат технических наук, директор
Александр Николаевич института магистратуры, доцент кафедры
телевидения и метрологии Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
alexanderbuchatsky@yandex.ru
- ВАСИЛЬЕВ** начальник кафедры военного учебного
Дмитрий Николаевич центра Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, dvasilev73@yandex.ru
- ВЕРЛИКОВ** магистрант группы ФП-31м
Никита Владимирович Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, verlikov@internet.ru
- ВИНОГРАДОВ** студент группы ИКТ3-26
Сергей Витальевич Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
sergvinograd121@gmail.com
- ВИНОГРАДОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры
Петр Юрьевич радиосвязи и вещания
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, power@sut.ru
- ВЛАДЫКО** кандидат технических наук, доцент, декан
Андрей Геннадьевич факультета фундаментальной подготовки
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, vladyko@sut.ru

ВОИЩЕВ студент группы РТ-11 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bahamut2003@mail.ru
Олег Сергеевич

ВОЛОСТНЫХ кандидат военных наук, доцент, научный сотрудник научно-исследовательского Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, ra1alo@mail.ru
Виктор Анатольевич

ВОРОБЬЕВ младший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, gsg.1991@mail.ru
Павел Владимирович

ВОРОБЬЕВ кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедры Радиосвязи и Вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vorobievov@bk.ru
Олег Владимирович

ГАЙЛИТ студент группы РТ-22м Санкт-Петербургского государственного университета, danil.gailit@gmail.com
Данил Дмитриевич

ГАРКАВАЯ студентка факультета фундаментальной подготовки группы ФП-02 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, garkavayaav@yandex.ru
Алиса Вячеславовна

ГЛУХОВ кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры электроники и схемотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, laboratoria-mw@yandex.ru
Николай Иванович

ГЛУШАНКОВ доктор технических наук, профессор кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, glushankov57@gmail.com
Евгений Иванович

- ГЛУШКО Артём Вячеславович начальник кафедры военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, artem2608@mail.ru
- ГОЛОВИНОВ Олег Владимирович аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, oleggol93@mail.ru
- ГОРДИЙЧУК Руслан Викторович начальник цикла, старший преподаватель военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича rusgord@rambler.ru
- ГОРОБЦОВ Илья Александрович аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, iliya_gorobtsov@mail.ru
- ГРАЧЕВ Илья Борисович слушатель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, carifan_9-9-9@mail.ru
- ГРЕКОВ Константин Борисович доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, grekovkb@yandex.ru
- ГРИГОРЧУК Александр Николаевич подполковник (запаса), доцент кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи Военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, преподаватель Военной академии связи, grigorchuk.spb@mail.ru
- ГРИДНЕВ Василий Александрович подполковник (запаса), преподаватель кафедры проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи Военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vagridnev161962@mfil.ru

- ГРИЩЕНКО Сергей Сергеевич адъюнкт кафедры военных систем многоканальных электропроводной и оптической связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, krouver264@mail.ru
- ГРУЗДЕВ Дмитрий Анатольевич подполковник, заместитель начальника кафедры проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи Военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, gruzdev.d1977@mail.ru
- ГУЗЕВА Евгения Дмитриевна аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, jain.g@inbox.ru
- ГУЛЯЕВ Руслан Сергеевич магистрант группы ФП-31м Санкт-Петербургского Государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, grulan526@gmail.com
- ГУМИНСКИЙ Олег Андреевич аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, g-oleg_95@mail.ru
- ДВОРНИКОВ Александр Сергеевич кандидат технических наук, начальник НИО-4 НИЦ Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, pitercry@yandex.ru
- ДЕМШЕВСКИЙ Валерий Витальевич кандидат технических наук, старший научный сотрудник АО «НПП «Исток» им. Шокина», demshevskyv.v@yandex.ru
- ДЁШИНА Наталия Олеговна старший преподаватель кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, salo_piter141@mail.ru
- ДМИТРИЕВА Виктория Викторовна старший преподаватель кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, dmitrieva.vv0@gmail.com

- ДОБРОВОЛЬСКИЙ
Станислав Леонидович преподаватель военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dsl1963@yandex.ru
- ДРОБЯСКИН
Андрей Николаевич начальник учебной части, заместитель начальника кафедры военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dan8@mail.ru
- ДУБАКОВ
Александр
Владимирович студент группы РТ-22м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sanek-dubakov@mail.ru
- ДУКЛАУ
Владимир Владимирович старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, duklau@yandex.ru
- ЕГОРОВ
Станислав Геннадьевич старший преподаватель кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sgedorov@gmail.ru
- ЖИГАЛЬЦОВ
Дмитрий Андреевич оператор роты научной Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dimazigaltsov@gmail.com
- ЗАГОРЕЛЬСКИЙ
Владимир Валерьевич преподаватель цикла фельдъегерско-почтовой связи кафедры проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vladimir.zagorelsckij@yandex.ru
- ЗАЙКИН
Руслан Валерьевич курсант 3 факультета автоматизированных систем управления Военной академии связи им. С. М. Буденного, tbilnovspb28@mail.ru
- ЗАЙЦЕВА
Зинаида Викторовна кандидат технических наук, доцент кафедры теоретические основы телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zaitch13@yandex.ru

- ЗАПАЙЩИКОВ** аспирант Санкт-Петербургского
Александр Викторович государственного университета
телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
zapaishikov.av1999@gmail.com
- ЗИЗЕВСКИЙ** адъюнкт Военной академии связи,
Вадим Алексеевич vaz94vaz94@gmail.com
- ЗНОБИЩЕВ** Подполковник, начальник цикла кафедры
Роман Сергеевич проводной электросвязи и фельдъегерско-
почтовой связи Военного учебного центра
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, my.perepiska@mail.ru
- ИВАНЕНКО** кандидат педагогических наук, доцент, зав.
Александр Васильевич кафедрой физической культуры Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, доцент,
ivanenko.spb@mail.ru
- ИВАНЕНКО** старший преподаватель кафедры
Тамара Александровна физической культуры Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, ivanenkotamara61@mail.ru
- ИВАНИН** кандидат технических наук, докторант
Андрей Николаевич кафедры военных систем многоканальных
электропроводной и оптической связи
Военной академии связи им. Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
andreiiivanin@gmail.com
- ИСУПОВА** старший преподаватель кафедры
Екатерина Анатольевна конструирования и производства
радиоэлектронных средств Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
kat_isupova@list.ru
- КАБАЕВ** кандидат педагогических наук, доцент,
Игорь Евгеньевич доцент кафедры Физической культуры
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, kie-13@yandex.ru

- КАЗАНЦЕВА Анна Геннадьевна кандидат технических наук, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, grekovkb@yandex.ru
- КАНАЕВ Болот Бакаевич зав. лабораториями кафедры инфокоммуникационных технологий института электроники и телекоммуникаций КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, tech-astra-kg@mail.ru
- КАПЕЛЮШ Алексеевич Михаил аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, b22033@yandex.ru
- КАРМЫШАКОВ Аскарбек Камалдинович кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий института электроники и телекоммуникаций КГТУ им. И. Раззакова, a.karmyshakov@kstu.kg
- КАЧНОВ Андрей Владимирович ведущий инженер кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 89052880369@mail.ru
- КИЧКО Яна Викторовна адъюнкт кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, kichkoyanka@mail.ru
- КЛЮЕВ Сергей Борисович заместитель начальника научно-производственного комплекса, АО «НПП «Исток» им. Шокина», klyuev194@mail.ru
- КНЯЗЕВ Сергей Александрович пенсионер, г. Санкт-Петербург, knyazef@yandex.ru
- КОВАЛГИН Юрий Алексеевич заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры телевидения и метрологии, Почетный профессор Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kowalgin@sut.ru

- КОВАЛЕВ** кандидат военных наук, доцент, доцент
Игорь Станиславович кафедры Военной академии связи им.
Маршала Советского Союза С. М.
Буденного, iskova@yandex.ru
- КОЗИНЦЕВА** аспирант кафедры телевидения и
Дарья Ивановна метрологии Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, dkozintseva@mail.ru
- КОЗЫРЕВ** преподаватель военного учебного центра
Виталий Михайлович при Санкт-Петербургском государственном
университете телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, kozyrev70@mail.ru
- КОКОРЕВА** Кандидат технических наук, доцент кафедры
Елена Викторовна цифрового телерадиовещания и систем
радиосвязи, доцент Сибирского
государственного университета
телекоммуникаций и информатики,
kokoreva@sibguti.ru
- КОКОРИНА** студент группы ИБС-21 Санкт-
Алина Александровна Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
kokorina_alina2003@mail.ru
- КОЛОСЬКО** кандидат физико-математических наук,
Анатолий Григорьевич доцент кафедры конструирования и
производства радиоэлектронных средств
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, научный сотрудник
Физико-технического института им. А.Ф.
Иоффе Российской академии наук,
agkolosko@mail.ru
- КОНДРАШОВ** Генеральный директор АО «НИИМА
Захар Константинович «Прогресс», Москва, info@i-progress.tech
- КОРОВИН** кандидат технических наук, доцент кафедры
Константин Олегович радиосистем и обработки сигналов Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
korovin.ko@sut.ru

- КОРОТИН** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vekorotin@mail.ru
Владимир Евгеньевич
- КОСТАРЕВ** кандидат педагогических наук, доцент, генерал-лейтенант, начальник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vas@mil.ru
Сергей Валерьевич
- КОТЕНКО** доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории проблем компьютерной безопасности СПб ФИЦ РАН, ivkote@comsec.spb.ru
Игорь Витальевич
- КРОТОВ** аспирант 4 года обучения кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ubl1cag@yandex.ru
Роман Евгеньевич
- КУБАЛОВА** кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kubalovaap@mail.ru
Анна Рудольфовна
- КУЧЕРЯВЫЙ** студент группы ФМ-22м, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, can4oyc@list.ru
Александр Игоревич
- ЛАНДА** кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и схемотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, landa.alexandr@mail.ru
Александр Эдуардович
- ЛАШИН** преподаватель военного учебного центра при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ylashin@yandex.ru
Юрий Федорович
- ЛИКОНЦЕВ** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосистем и обработки сигналов, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, likoncev.an@spb.gut.ru
Алексей Николаевич

- ЛОБОДИН инженер АО «НПП «Исток» им. Шокина»,
Вячеслав Владимирович Lobodin-viacheslav@yandex.ru
- ЛОГВИНОВА кандидат технических наук, доцент кафедры
Нина Константиновна «Теоретические основы телекоммуникаций»
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
logvinova.nk@yandex.ru
- ЛОГИНОВСКАЯ кандидат географических наук, доцент
Алёна Николаевна кафедры экологической безопасности
телекоммуникаций Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, aloginovskaja@bk.ru
- ЛУКОНИН курсант военной академии связи им.
Кирилл Алексеевич Маршала Советского Союза
С. М. Будённого,
kirill.lukonin2004@gmail.com
- ЛУКЪЯНОВ ученый секретарь научно-
Валерий Дмитриевич производственного объединения
«Авангард», доктор физико-математических
наук, профессор, vasn2020@mail.ru
- ЛЯЛИНА аспирант кафедры радиосистем и обработки
Анна Жановна сигналов Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, lyalinanna@gmail.com
- ЛЯЦУК кандидат технических наук, старший
Михаил Зиновьевич научный сотрудник Военной орденов
Жукова и Ленина Краснознаменной
академии связи имени Маршала Советского
Союза С. М. Буденного, HIAbram@yandex.ru
- МАКСИМОВА студент группы РТ-01 Санкт-
Анна Валерьевна Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
maksimova16anya@gmail.com
- МАЛИКОВ кандидат биологических наук, доцент
Умар Маннонович кафедры экологической безопасности
телекоммуникаций Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, umalik@mail.ru

МАНВЕЛОВА кандидат технических наук, доцент, доцент
Наталья Евгеньевна кафедры экологической безопасности
телекоммуникаций Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, главный
специалист ОАО «Авангард»,
manvelova@inbox.ru

МАНДРИК курсант факультета автоматизированных
Дмитрий Владимирович систем управления Военной академии связи
имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, mandrick2013@yandex.ru

МАНЬКО студент группы ФТ-590301 Уральского
Иван Денисович федерального университета,
totaduna@mail.ru

МАРЧЕНКОВ старший преподаватель цикла
Алексей Алексеевич фельдъегерско-почтовой связи кафедры
Проводной электросвязи и фельдъегерско-
почтовой связи военного учебного центра
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, marchelom@mail.ru

МАТЮХИНА кандидат технических наук, доцент кафедры
Татьяна Владимировна конструирования и производства
радиоэлектронных средств Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, tatjanavm@mail.ru

МЕЖЕВОВ аспирант кафедры радиосистем и обработки
Павел Александрович сигналов Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, mezhevov.pav@mail.ru

МЕШАЛКИН кандидат технических наук, старший
Валентин Андреевич научный сотрудник, доцент Военной
академии связи им. Маршала Советского
Союза С. М. Буденного, otesalex@yandex.ru

МИЛОСЕРДОВ кандидат технических наук, начальник
Дмитрий Игоревич группы машинного обучения и
нейросетевых технологий отдела системных
исследований и моделирования «Центра
системного анализа и моделирования» –
филиал АО «Научно-технический центр
радиоэлектронной борьбы»,
dmil94@yandex.ru

- МИТЯНИН Сергей Александрович аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, руководитель отдела разработки ООО «СМА-РТ», s.mityanin@gmail.com
- МОГИЛАТОВ Антон Викторович магистрант группы ФП-21м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, antonmogilatov@yandex.ru
- МУТЫГУЛЛИН Борис Эдуардович студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, mutygullinbe@yandex.ru
- МУХИНА Ангелина Дмитриевна студентка группы РТ-21м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, adm03250@gmail.com
- НГУЕН Туан Ван аспирант кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова, hinhthien08@gmail.com
- НЕВ Даниил Артемович студент группы РТ-21м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, nevdanil3112@gmail.com
- НИКИТИН Юрий Александрович кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры электроники и схемотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, yuriyan@list.ru
- НОГИН Сергей Борисович кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного, iskova@yandex.ru
- ОСИН Никита Алексеевич инженер-электроник ООО «НПП «Мелитта», n-osin@mail.ru
- ОСТРОУМОВА Юлия Сергеевна доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой биологической медицинской физики Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, sinklrit@mail.ru

ПАВЛОВ Федор Федорович кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pavlovfedor@mail.ru

ПАНТЮХИН Олег Игоревич кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, p_oleg99@mail.ru

ПАЩЕНКО Василий Владимирович кандидат технических наук, доцент кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, iskova@yandex.ru

ПЕРЕДИСТОВ Евгений Юрьевич кандидат технических наук, доцент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, менеджер проектов центра индустриального партнерства и продвижения проектов центра трансфера цифровых технологий и технологий систем связи, peredistov.eu@net.sut.ru

ПЕРЕЛЫГИН Сергей Васильевич кандидат технических наук, доцент кафедры аудиовизуальных систем и технологий, доцент кафедры звукорежиссуры Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergey.perelygin@gmail.com

ПЛОТНИКОВ Павел Владимирович кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, plotnikov.pv@sut.ru

ПОДГОРНАЯ Елена Анатольевна кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 1121816@mail.ru

- ПОЛИЩУК Владимир Романович младший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. С.М. Буденного, waferfly@gmail.com
- ПОЛЯКОВ Алексей Андреевич студент военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, alex007dddjjj@yandex.ru
- ПОПОВ Андрей Иванович кандидат технических наук Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Adpopovai@yandex.ru
- ПОПОВИЧ Сергей Игоревич студент группы РТ-22м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergpopowich@mail.ru
- ПОТАПОВ Денис Сергеевич младший научный сотрудник Научно-исследовательского института оперативно-стратегических обоснований строительства ВМФ Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова», denpotapow@yandex.ru
- ПОТКИН Фёдор Сергеевич магистрант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, potkin.fyodor@gmail.com
- ПРАСОЛОВ Александр Александрович кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, prasolov.alex@gmail.com
- ПРОХОРОВ Кирилл Юрьевич аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kuprokhorov@gmail.com
- ПРЯДКИН Андрей Михайлович капитан, адъюнкт 20 кафедры (боевого применения войск связи) Военной академии связи им. С.М. Буденного, tbilnovspb28@mail.ru

- ПЫШКИН** студент группы ИКТВ-96 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pyshkin-e@mail.ru
Егор Александрович
- РАХЫМЖАН** слушатель военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, carifan_9-9-9@mail.ru
Багдат Рахымжанулы
- РОГОЗИНСКИЙ** доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем экологии транспортных систем ИПТ РАН, gleb.rogozinsky@gmail.com
Глеб Гендрихович
- РОДИНА** студент группы РТ-22м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kovalyova-karina99@mail.ru
Карина Андреевна
- РОЩИНСКИЙ** инженер научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети», инженер кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного политехнического университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, rosh.rs@bk.ru
Роман Сергеевич
- РЫБАКОВ** старший преподаватель кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, lexeus.r11@gmail.com
Алексей Игоревич
- РЫЖИКОВА** старший преподаватель кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, t.rigikova@yandex.ru
Татьяна Аркадьевна
- РЮТИН** магистрант группы Р-12м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ryutin.sut@gmail.com
Константин Евгеньевич
- РЯБИКОВ** студент группы РТ-22м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dmitry.ryabikov@mail.ru
Дмитрий Сергеевич

- САГДЕЕВ Александр Константинович кандидат технических наук, доцент военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, brother-aks@yandex.ru
- САЗОНОВ Виктор Викторович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем специального назначения военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого, vmktor-sazonov@yandex.ru
- САМАРКИН Денис Сергеевич начальник цикла, старший преподаватель военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, denst2006@yandex.ru
- САПУНОВА Лидия Петровна адъюнкт кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, lidiya.karmanec@mail.ru
- СВИНЬИНА Ольга Андреевна старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, olga.svinyina@gmail.com
- СЕДЫШЕВ Эрнест Юрьевич кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и схемотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, laboratoria-mw@yandex.ru
- СЕМИН Андрей Викторович преподаватель Военной академии связи, grigorchuk.spb@mail.ru
- СЕМКИНА Маргарита Руслановна курсант Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, semkinamargarita931@gmail.com
- СЕРГЕЕВ Алексей Николаевич старший преподаватель кафедры фотоники и линии связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, a32@bk.ru

- СИДОРЕНКО** Евгений Николаевич начальник цикла, старший преподаватель военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, evgen42msd@yandex.ru
- СИДОРКОВИЧ** Дарья Романовна инженер кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, преподаватель Санкт-Петербургского колледжа телекоммуникаций им. Э. Т. Кренкеля, d.sidorkovitch@yandex.ru
- СИМОНИНА** Ольга Александровна кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, olga.simonina@sut.ru
- СИМОНОВА** Полина Владимировна курсант военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого, polinasimonova832@gmail.com
- СКРЫКОВ** Илья Андреевич студент военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, smeet1337@gmail.com
- СМАГЛИЕНКО** Татьяна Георгиевна кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tsmagl@mail.ru
- СМИРНОВА** Дина Андреевна магистрант группы ФП-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sm.dina.a@yandex.ru
- СОКОВ** Сергей Александрович студент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), sokovclan@gmail.com
- СОЛОВЬЕВ** Владимир Гаевич доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного; ведущий научный сотрудник Псковского государственного университета, solovyev_v55@mail.ru

- СОПОВ инженер кафедры радиосвязи и вещания
Дмитрий Александрович Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, sopovdima_99@mail.ru
- СОТЕНКО кандидат технических наук, доцент кафедры
Сергей Михайлович конструирования и производства
радиоэлектронных средств Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, sotenkosm@yandex.ru
- СТАРОДУБЦЕВ доктор военных наук, профессор, профессор
Юрий Иванович кафедры Военной академии связи им.
Маршала Советского Союза С.М.
Буденного, prof.starodubtsev@gmail.com
- СТАХЕЕВ кандидат технических наук, доцент,
Иван Геннадиевич заведующий кафедрой специальных средств
связи Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, yagridnev161962@mail.ru
- СТЕПАНОВ кандидат технических наук, доцент,
Андрей Борисович заместитель директора института
магистратуры по учебной работе, доцент
кафедры радиосистем и обработки сигналов
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
dsp.sut@yandex.ru
- СТЕПИЧЕВ оператор роты (научной) Военной академии
Андрей Дмитриевич связи имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru
- СТЕПЫНИН кандидат военных наук, доцент кафедры
Дмитрий Владимирович пожарной безопасности технологических
процессов и производств санкт-
петербургского университета
противопожарной службы МЧС России,
доцент tbilnovspb28@mail.ru
- СТУРМАН доктор географических наук, профессор
Владимир Ицхакович кафедры экологической безопасности
телекоммуникаций Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, stv031055@mail.ru

- СУББОТИН** кандидат технических наук, докторант
Дмитрий Васильевич кафедры военных систем многоканальных
электропроводной и оптической связи
Военной академии связи им. Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
d1sub@yandex.ru
- СУДЕНКОВА** студент группы РТ-11 Санкт-
Анастасия Вячеславовна Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. Проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
wwsudana@outlook.com
- СУРАВЦЕВ** аспирант кафедры высшей математики
Руслан Витальевич Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, canelorus7@gmail.com
- СЫРБУЛ** оператор роты (научной) Главного
Василий Андреевич управления связи Вооруженных сил
Российской Федерации,
syrbul.vassiliy@gmail.com
- СЫРОВЕТНИК** магистр Санкт-Петербургского
Дмитрий Сергеевич государственного электротехнического
университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова
(Ленина), инженер, ООО «Эйртэго»,
syrovetnikds@mail.ru
- ТАМБОВЦЕВ** магистр кафедры сетей связи и передачи
Глеб Ильич данных, интернета вещей и
самоорганизующихся сетей, Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, quanuhs@yandex.ru
- ТАТАРЕНКОВ** старший преподаватель кафедры
Дмитрий Александрович телевидения и метрологии Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, duferob@gmail.com
- ТИМЧЕНКО** кандидат технических наук, доцент кафедры
Владимир Иванович радиосистем и обработки сигналов Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
timchen@mail.ru

- ТИПИКИН кандидат технических наук, начальник
Алексей Алексеевич отдела Научно-исследовательского
института оперативно-стратегических
обоснований строительства ВМФ Военного
учебно-научного центра ВМФ «Военно-
морская академия имени Адмирала Флота
Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,
alextip@mail.ru
- ТКАЧЕВ кандидат технических наук, начальник
Дмитрий Федорович отдела научно-исследовательского центра
Военной академии связи им. Маршала
Советского Союза С.М. Буденного
dimas.portnoy@inbox.ru
- ТУМАНОВА кандидат технических наук, старший
Евгения Ивановна научный сотрудник, доцент кафедры
телевидения и метрологии Санкт-
Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А.Бонч-Бруевича, tumanova.ei@net.sut.ru
- ТУРИЩЕВА Александра старший киномеханик ООО «Максимир-
Владимировна Кино», turishvaalex2000@yandex.ru
- ТУХБАТУЛЛИНА курсант Военной академии связи им.
Эвелина Фанилевна Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, Tuxbatullina2003@mail.ru
- ТУЧКЕВИЧ аспирант кафедры телевидения и
Артём Никитович метрологии Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
tu4kewi4@yandex.ru
- УПОРОВ студент группы ЭП–21М Санкт-
Михаил Евгеньевич Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича, m.uporov@mail.ru
- УРВАНЦЕВА кандидат технических наук, доцент кафедры
Наталья Львовна физики Санкт-Петербургского
государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-
Бруевича, n.urv@yandex.ru
- УШКОВА магистрант группы Р-22м Санкт-
Ирина Геннадьевна Петербургского государственного
университета телекоммуникаций им. проф.
М. А. Бонч-Бруевича,
ushkova.irina2015@yandex.ru

- ФЕДОРОВ Андрей Сергеевич ассистент кафедры радиосвязи и вещания, начальник научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, as.fdrv@bk.ru
- ФЕДОРОВ Максим Артемович студент группы РТ-31м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, max123f@inbox.ru
- ФЕДОРОВ Сергей Леонидович кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergf7@mail.ru
- ФЕДОСЕЕВ Денис Олегович кандидат технических наук, доцент, начальник отдела (организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров) Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, gr-247@yandex.ru
- ФЕДОСОВ Александр Юрьевич заведующий лабораторией кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, fedosov_1797@mail.ru
- ФИЛИППОВ Сергей Владимирович кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, f_s_v@list.ru
- ФИЛИППОВ Денис Романович сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, defisskill@mail.ru
- ФОКИН Григорий Алексеевич доктор технических наук, профессор кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, fokin.ga@sut.ru
- ХАНИН Самуил Давидович доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики

- Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, sd_khanin@mail.ru
- ХМЫРОВ Семен Сергеевич аспирант лаборатории проблем компьютерной безопасности СПб ФИЦ РАН khmyrov.s.s@gmail.com
- ХРЕНОВ Андрей Александрович студент группы РТ-21м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, knerov00@yandex.ru
- ЦАРИК Владимир Игоревич магистр по направлению «Прикладная математика и информатика» (Санкт-Петербургский государственный университет, 2020), соискатель ученой степени кандидата технических наук (Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича), ведущий инженер ООО «Эйртэго», wladimirzarik@mail.ru
- ЦАРИК Дмитрий Владимирович Директор ООО «СТЦ» dvtsar@gmail.com
- ЦВЕТКОВ Дмитрий Алексеевич магистрант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. Проф. М. А. Бонч-Бруевича, mitya.tsvetkov.1@mail.ru
- ЧАБАЕВА Елена Алексеевна студент группы ЭБМ-21з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, skripunka99@mail.ru
- ЧЕРНОВ Игорь Николаевич старший преподаватель кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, chernov.in@sut.ru
- ЧЕРНЫШОВ Артем Геннадьевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, chernyshov.ag@sut.ru

- ЧУДНОВ** Александр Михайлович доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, chudnow@yandex.ru
- ШАЛУНОВ** Сергей Борисович начальник направления ООО «СТЦ», sshalunov@stc-spb.ru
- ШАМСИЕВ** Бахтияр Газиевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shamsiev2000@mail.ru
- ШАНИН** Александр Михайлович адъюнкт Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
- ШАРИХИНА** Юлия Валерьевна кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kjval@mail.ru
- ШАТЁРНЫХ** Юлия Сергеевна сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, julia_29032001@bk.ru
- ШЕРЕМЕТ** Никита Викторович магистрант группы Р-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ryutin.sut@gmail.com
- ШИЛКОВ** Владимир Ильич кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической безопасности производственных комплексов Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, vi.shilkov@urfu.ru
- ШУМАКОВ** Павел Петрович кандидат технических наук, заведующий кафедрой теоретических основ телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shumakov.pp@sut.ru

ШУРЫГИНА ассистент кафедры инфокоммуникационных
Ксения Игоревна систем и сетей Сибирского
государственного университета
телекоммуникаций и информатики,
miraclele@yandex.ru

ЩЕРБАТЫЙ старший преподаватель кафедры
Павел Евгеньевич теоретических основ телекоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
tec.ffp@net.sut.ru

ЩУКИН адъюнкт научно-исследовательского центра
Андрей Владимирович Военной академии связи им. Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
your_friend83@mail.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамова Н. И.	5, 11	Воробьев П. В.	99
Авдяков В. А.	474, 482	Гайлит Д. Д.	137
Агаян Д. А.	16	Гаркавая А. В.	482
Айед Х. М. М.	20	Глухов Н. И.	495
Алдамжаров А. Т.	629	Глушанков Е. И.	69, 141, 145, 150, 160, 165, 170
Александров В. А.	635	Глушко А. В.	678
Альбадр Х. Б.	640	Глушко А. В.	684
Андропов А. В.	25	Головинов О. В.	176
Аникеев А. И.	643, 649, 646, 653, 658	Гордийчук Р. В.	646
Арсирий А. И.	30	Гордеев М. А.	470
Бабин Н. Н.	35	Горобцов И. А.	180, 186
Бабичева И. И.	40	Грачев И. Б.	629
Багаев Е. С.	51	Греков К. Б.	191
Безбатченко А. А.	489	Григорчук А. Н.	635, 643, 646, 649, 653, 658
Белков С. В.	56	Гриднев В. А.	635, 678
Беляев Д. Л.	662, 667	Грищенко С. С.	688, 691
Беляева Н. Н.	61	Груздев Д. А.	635, 696
Билан В. В.	671	Гузева Е. Д.	195
Бобровский А. В.	65	Гуляев Р. С.	538
Бойко И. А.	69	Гуминский О. А.	201
Борисов М. Г.	25	Дворников А. С.	206, 543
Бочаров Е. И.	495	Дворников С. В.	209
Бритаева О. Х.-М.	500	Демшевский В. В.	548
Брусин Е. А.	504	Деткова В. М.	552
Буланов В. Н.	510	Дмитриева В. В.	218, 222
Бухинник А. Ю.	474	Добровольский С. Л.	649, 653
Бучатский А. Н.	74, 79	Долматова О. А.	552
Васильев В. В.	85	Дробяскин А. Н.	658
Васильев Д. Н.	643	Дубаков А. В.	114
Верликов Н. В.	515	Дуклау В. В.	61
Виноградов П. Ю.	91	Дёшина Н. О.	213
Виноградов С. В.	518	Егоров С. Г.	141
Владыко А. Г.	523, 528	Жигальцов Д. А.	206
Воищев О. С.	94	Загорельский В. В.	700
Войтенко В.	533	Заикин Р. В.	704
Волостных В. А.	99, 104, 109	Зайцева З. В.	558
Воробьев Д. С.	127	Запайщиков А. В.	226
Воробьев О. В.	40, 114, 117, 122, 132	Зизевский В. А.	649, 653
Воробьев П. А.	104	Знобищев Р. С.	635

Иваненко А. В.	710	Марченков А. А.	700
Иваненко Т. А.	710, 719	Матюхина Т. В.	236, 241
Иванин А. Н.	688, 691	Межевов П. А.	94, 273, 276
Изместьева Е. А.	231	Мешалкин В. А.	127, 330
Исупова Е. А.	236, 241	Милосердов Д. И.	334
Кабаев И. Е.	710	Митянин С. А.	150
Казанцева	191	Мицкевич А. А.	268
Канаев Б. Б.	564	Могилатов А. В.	591
Капелюш М. А.	246	Мутыгуллин Б. Э.	246
Кармышаков А. К.	564	Мухина Е. И.	155
Качнов А. В.	40, 117, 122	Нгуен Т. В.	338
Кичко Я. В.	251	Нев Д. А.	291
Клюев С. Б.	548	Никитин Ю. А.	595, 598
Князев С. А.	571	Ногин С. Б.	724
Ковалгин Ю. А.	201	Осин Н. А.	343
Ковалёв И. С.	629, 724	Остроумова Ю. С.	732
Козинцева Д. И.	257	Павлов Ф. Ф.	601, 607
Козырев В. М.	728	Панихидников С. А.	35
Кокорева Е. В.	262	Пантюхин О. И.	724
Кокорина А. А.	578	Пащенко В. В.	724
Колосько А. Г.	213, 246, 268	Передистов Е. Ю.	518, 552, 587
Кондрашов З. К.	145	Перелыгин С. В.	343, 348
Коровин К. О.	25, 218, 222, 273, 276	Петренко М. И.	5
Коротин В. Е.	281	Плотников П. В.	500, 523, 528, 533, 578
Костарев С. В.	732	Подгорная Е. А.	500
Котенко И. В.	736	Полищук В. Р.	489
Кравец Е. В.	286	Поляков А. А.	684, 696, 754
Кротов Р. Е.	281	Поляков Д. Н.	127
Кубалова А. Р.	582	Попов А. И.	758, 763, 768, 773
Кулинкович А. В.	85	Попов Е. О.	246
Кучерявый А. И.	587	Попович С. И.	353
Ланда А. Э.	495	Посметьев А. А.	357
Лашин Ю. Ф.	728	Потапов Д. С.	56
Ликонцев А. Н.	291, 470	Поткин Ф. С.	222
Липатников В. А.	5	Прасолов А. А.	362, 367, 373, 377, 383, 389
Лободин В. В.	548	Прохоров К. Ю.	74, 395
Логвинова Н. К.	558	Прядкин А. М.	704
Логиновская А. Н.	296	Пышкин Е. А.	117
Луконин К. А.	741	Рақымжан Б. Р.	629
Лукьянов В. Д.	489	Рогозинский Г. Г.	74
Лыпкань В. Н.	301	Родина К. А.	160, 362
Лялина А. Ж.	306	Роцинский Р. С.	367, 373, 377, 383
Лящук М. З.	11	Рыбаков А. И.	281
Максимова А. В.	311	Рыжикова Т. А.	213
Маликов У. М.	316	Рылов Е. А.	170
Манвелова Н. Е.	320	Рютин К. Е.	400, 405
Мандрик Д. В.	744	Ряби́ков Д. С.	132
Манько И. Д.	749	Сагдеев А. К.	643, 646, 649, 653, 658, 684, 696, 754
Маркова Л. В.	325	Сазонов В. В.	640, 741, 744
Мартынов С. В.	301		

Самаркин Д. С.	684, 696, 754	Федоров С. Л.	61, 209, 257
Сапунова Л. П.	251	Федосеев Д. О.	671
Свинына О. А.	389	Федосов А. Ю.	191, 209
Седышев Э. Ю.	495, 515, 538, 591, 613	Федосова А. А.	209
Семин А. В.	643, 646, 658	Федотов Д. Д.	357
Семиндеев К. И.	410	Федюшин В. Б.	622
Семкина М. Р.	758, 763, 768, 773	Филиппов Д. Р.	662
Сергеев А. Н.	618	Филиппов С. В.	246
Сидоренко Е. Н.	754	Фисечко Н. С.	438
Сидоркович Д. Р.	51, 122	Фокин Г. А.	400, 405, 443, 449, 455, 460
Симонова О. А.	231, 414	Ханин С. Д.	732
Симонова Г. С.	325	Хименкова Д. А.	438
Симонова П. В.	741	Хмыров С. С.	736
Синичкин Я. А.	268	Хренов А. А.	334
Скрыков И. А.	684, 696, 754	Царик В. И.	465
Смаглиенко Т. Г.	61	Царик Д. В.	145
Смирнова Д. А.	613	Цветков Д. А.	145
Соков С. А.	246	Чабаева Е. А.	320
Соловьев В. Г.	732	Чернов И. Н.	16, 311, 438
Сопов Д. А.	51	Черных Л. М.	552
Сорокин А. В.	170	Чернышов А. Г.	137, 353, 410
Сотенко С. М.	236, 241	Чернышова А. В.	286
Стародубцев Ю. И.	99, 109	Чуднов А. М.	251
Стахеев И. Г.	678	Шалунов С. Б.	231, 414
Степанов А. Б.	418	Шамсиев Б. Г.	618
Степичев А. Д.	543	Шанин А. М.	330
Степынин Д. В.	704	Шарихина Ю. В.	552, 571, 622
Стурман В. И.	423	Шатёрных Ю. С.	667
Субботин Д. В.	688, 691	Шеремет Н. В.	460
Суденкова А. В.	145	Шилков В. И.	749
Суравцев Р. В.	523	Шумаков П. П.	482
Сырбул В. А.	330	Шурыгина К. И.	262
Сыроветник Д. С.	165	Щербатый П. Е.	474
Тамбовцев Г. И.	528	Щукин А. В.	671
Татаренков Д. А.	79, 347, 428		
Тимченко В. И.	16		
Типикин А. А.	56		
Ткачев Д. Ф.	104, 109, 127, 330		
Токмакова Д. Е.	301		
Туманова Е. И.	195, 395		
Турищева А. В.	348		
Тухбатуллина Э. Ф.	758, 763, 768, 773		
Тучкевич А. Н.	433		
Упоров М. Е.	296		
Урванцев В. Г.	622		
Урванцева Н. Л.	571, 622		
Ушкова И. Г.	400		
Федоров А. С.	367, 373, 377, 383		
Федоров М. А.	276		
Федоров П. Н.	301		



АПИНО
ІСАІТ

APINO.SUT.RU