

АПИНО
ICAIT

11TH INTERNATIONAL CONFERENCE
ON ADVANCED INFOTELECOMMUNICATIONS ICAIT 2022

**XI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**



2022

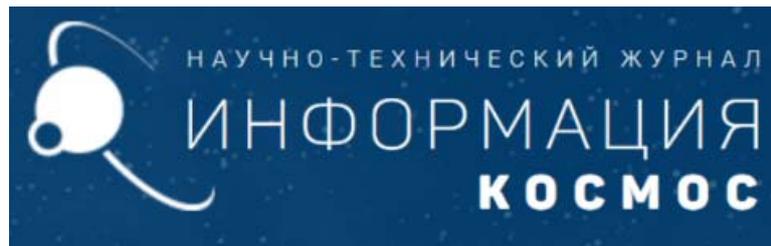
СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ



APINO.SPBGUT.RU

СПбГУТ)))

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЁРЫ



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ •
научное рецензируемое издание • электронный научный журнал •
Telecom IT — ISSN 2307-1303 •

УДК 001:061.3(082)
ББК 72 А43

Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. А. В. Шестакова; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич. СПб. : СПбГУТ, 2022. Т. 3. 687 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Бачевский С. В., доктор технических наук, профессор, ректор СПбГУТ (Россия)

Заместитель председателя

Шестаков А. В., доктор технических наук, ст. науч. сотрудник, проректор по научной работе СПбГУТ (Россия)

Ответственный секретарь

Елагин В. С., кандидат технических наук, доцент, директор научно-исследовательского института технологий связи СПбГУТ (Россия)

Члены программного комитета

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

Tina Tsou, Liaison rapporteur Huawei Technologies, editor positions in ITU-T, IETF and ETSI, Huawei (China)

Matthias Schnöll, professor, Ph. D., Fachbereich Elektro-technik, Anhalt University of Applied Sciences (Germany)

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

Edison Pignaton de Freitas, professor adjunto, Ph. D., Federal University of Rio Grande do Sul (Brasil)

Andrej Kos, professor, Ph. D., University of Ljubljana (Slovenia)

Janusz Pieczerek, M. Sc., Orange Labs (Poland)

Сеилов Ш. Ж., доктор технических наук, президент Казахской Академии Инфокоммуникации (Казахстан)

Кирик Д. И., кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиотехнологий связи СПбГУТ

Окунева Д. В., кандидат технических наук, декан факультета инфокоммуникационных сетей и систем СПбГУТ

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

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

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

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

Гири В. А., полковник, начальник военного учебного центра СПбГУТ

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ СПбГУТ, Россия

Председатель

Маишков Г. М., доктор технических наук, профессор, первый проректор–проректор по учебной работе

Сопредседатель

Алексеев И. А., кандидат педагогических наук, проректор по воспитательной работе и связям с общественностью СПбГУТ (Россия)

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

Бурдин А. И., директор административно-хозяйственного департамента

Чистова Н. А., директор финансово-правового департамента

Нестеров А. А., начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров

Казачков Д. Б., начальник управления информатизации – заместитель проректора по информатизации

Григорян Г. Т., начальник управления маркетинга и рекламы

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

Карташова Н. И., главный специалист отдела организации научно-исследовательской работы и интеллектуальной собственности

В научных статьях участников конференции исследуются состояние и перспективы развития мирового и отечественного уровня IT 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 Е. А. Аникевич

Оформление Г. И. Юрьев

Верстка Е. М. Аникевич

Подписано в печать 01.10.2022.

Вышло в свет 31.10.2022. Формат 60×90 1/8.

Уст. печ. л. 42,94. Заказ № 088-ИТТ-2022.

пр. Большевиков, д. 22, корп. 1.

Россия, Санкт-Петербург, 193232

СОДЕРЖАНИЕ

Радиотехнологии связи	5	Radio Technology Communication
Сети связи специального назначения	407	Special-Purpose Communication Networks
Цифровая экономика, управление и бизнес-информатика	552	Digital Economy, Management and Business Informatics
Аннотации	627	Annotations
Авторы статей	659	Authors of Articles
Авторский указатель	684	The Author's Index

РАДИОТЕХНОЛОГИИ СВЯЗИ

УДК 621.397
ГРНТИ 47.51.31

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ВИДЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ

А. М. Александров¹, О. В. Головинов², А. И. Макаров¹

¹СКБ «Энергия»

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Доказательство того, что телевизионная камера соответствует заданным ей требованиям – важная часть процесса разработки. На всех этапах разработки целесообразно оценивать это соответствие и, при необходимости, вносить корректировки. В статье описывается методика, оценки дальности видения подводной телевизионной камеры.

подводное видеонаблюдение, дальность видения, диск Секки.

В телевидении существует несколько методов оценки телевизионных камер. Их можно разделить на качественные и количественные, а также по месту контроля освещенности - в плоскости объекта или в плоскости иллюминатора камеры.

Количественная оценка, и контроль освещенности в плоскости объекта осложнены ввиду специфики подводного видеонаблюдения, в силу чего чувствительность камеры при работе под водой характеризуется заданной на этапе разработки величиной дальности видения камеры, равной:

$$L = n * Z_6, \quad (1)$$

где Z_6 – относительной прозрачность воды по диску Секки, характеризующая оптические свойства среды, в которой планируется применять глубоководную камеру; n – коэффициент, показывающий разницу в дальности видения человеческого глаза и камеры [1].

Прямая проверка дальности видения камеры на этапе разработки достаточно затруднена, поскольку такая проверка требует наличия бассейна глубиной не менее $l_1 = Z_6$, наполненного водой, имеющей показатель ослабления света, обеспечивающий относительную прозрачность, равную заданной Z_6 .

Для выполнения проверки телевизионных камер предлагается в качестве модели водной среды, ослабляющей свет, проходящий в ней по тракту осветитель-мишень-камера, использовать комбинированный фильтр, состоящий из одного или нескольких поглощающих фильтров, обеспечивающий подобную степень ослабления света, что и создает слой воды толщиной $l_2 = L$ с показателем ослабления ε , соответствующим относительной прозрачности воды Z_6 .

Спектральная характеристика поглощения комбинированного фильтра должна быть схожа со спектральной характеристикой ослабления морской воды, то есть иметь минимум в сине-зеленой области спектра 450–550 нм и выраженный рост при сдвиге в красную область спектра [2].

В качестве мишени используется диск Секки.

Освещенность E_1 в плоскости иллюминатора камеры, находящейся под водой на расстоянии l от мишени равна:

$$E_1 = E_{\text{осв}} * \rho * e^{-\varepsilon * 2l}, \quad (2)$$

где $E_{\text{осв}}$ – освещенность в плоскости осветителя, ε – показатель ослабления света в воде, ρ – коэффициент диффузного отражения мишени [3].

Для упрощения будем считать, что осветитель расположен в одной плоскости с камерой и расстояние от осветителя до мишени также равно l .

Освещённость E_2 в плоскости иллюминатора камеры, находящейся в воздушной среде с установленным перед камерой комбинированным ослабляющим фильтром (рис. 1) можно рассчитать, как

$$E_2 = E_{\text{осв}} * \rho * 10^{-D}, \quad (3)$$

где D – оптическая плотность комбинированного фильтра [4].



Рис. 1. Схема стенда проверки дальности видения камеры

Приравняв значения E_1 в формуле (1) и E_2 в формуле (2), получим выражение, связывающее оптическую плотность комбинированного фильтра D с показателем ослабления воды ε :

$$E_{\text{осв}} * \rho * e^{-\varepsilon * 2l} = E_{\text{осв}} * \rho * 10^{-D}. \quad (4)$$

Следовательно:

$$e^{-\varepsilon * 2l} = 10^{-D}. \quad (5)$$

Тогда

$$D = \frac{\varepsilon * 2l}{\ln(10)}, \quad (6)$$

где l – расстояние от плоскости иллюминатора до мишени.

Один из способов связи прозрачности воды по диску Секки Z_6 и показателя ослабления света в воде ε , предложен в работе [5]:

$$\varepsilon = C_1 * Z_6^{C_2}, \quad (7)$$

где C_1 и C_2 – константы для одного из двух типов акваторий:

– для акваторий, где концентрация фитопланктона превышает концентрацию минеральной взвеси, $C_1 = 0,9891$, $C_2 = -0,741$,

$$\varepsilon = 0,9891 * Z_6^{-0,741}, \quad (8)$$

такие акватории характерны для открытого океана;

– для акваторий, где концентрация минеральной взвеси превышает концентрацию фитопланктона, $C_1 = 3,0213$, $C_2 = -0,897$,

$$\varepsilon = 3,0213 * Z_6^{-0,897}, \quad (9)$$

такие акватории характерны для прибрежных вод.

Исходя из заданного Z_6 , по формулам (6) и (9) можно рассчитать необходимую оптическую плотность фильтра D_1 и D_2 , для которых в качестве l предлагается взять значения $l_1 = Z_6$ и $l_2 = n * Z_6$.

Фильтры рекомендуется подбирать с максимально близким к требуемому значениям D_1 и D_2 .

Перед проверкой дальности видения камеры определяется требуемая величина освещенности мишени E_m на расстоянии l_2 с участием как минимум трех экспертов.

Для этого через комбинированный фильтр с оптической плотностью D_1 при отсутствии внешнего освещения эксперт наблюдает мишень, установленную на уровне глаза перпендикулярно оптической оси глаза эксперта, при этом с помощью осветителя производится подбор освещенности мишени таким образом, чтобы наблюдаемая человеческим глазом на расстоянии l_1 мишень была на грани видимости (рис. 2). Освещенность на мишени E_m контролируется люксметром.

Проверку рекомендуется проводить не менее трех раз, а затем вычисляется усредненная по результатам измерений освещенность на мишени $\overline{E_m}$ [6].



Рис. 2. Схема стенда подбора освещенности

Далее на расстоянии l_2 от мишени устанавливается телевизионная камера таким образом, чтобы оптическая ось камеры была перпендикулярна плоскости мишени и ее изображение находилось в центре экрана технологического компьютера. Перед иллюминатором камеры устанавливается фильтр с оптической плотностью D_2 (Рис 1).

При отсутствии внешнего освещения путем изменения расстояния между осветителем и мишенью, добиваются, чтобы освещенность мишени стала равной $\overline{E_m}$, после чего, на экране технологического компьютера оценивается полученное с камеры изображение.

Если в полученном изображении мишень различима, требования к камере выполнены.

Предлагаемая методика проверки дальности видения камеры носит оценочный характер, поскольку, зависимость $\varepsilon = C_1 * Z_6^{C_2}$ является лишь одной из моделей зависимости $\varepsilon = f(Z_6)$. Кроме того, на значения освещенности на входе фильтра, при котором глаз оператора фиксирует исчезновение и появление изображения мишени влияет величина порога контрастной чувствительности глаза наблюдателя, который для каждого человека свой. В связи с чем, значение E_m также зависит от наблюдателя.

Тем не менее, предложенная методика позволяет оценить дальность видения подводной камеры еще на этапе разработки без необходимости организовывать натурные испытания.

Список используемых источников

1. Войтов А. А., Сергеев В. В., Соколов В. А., Форсов Б. Ю. Формирование изображений в активных системах подводного видения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 5. С. 21–31.
2. Шифрин К. С. Введение в оптику океана. Л. : Гидрометиздат, 1983. 290 с.

3. Головинов О. В., Макаров А. И. К расчету необходимой освещенности для подводной видеосъемки с активной подсветкой // Студенческая весна – 2021. 75-я Юбилейная региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2021. Т. 1. С. 8–11.

4. Каталог цветного стекла. М. : Машиностроение, 1967. 62 с.

5. Костылев Н. М., Колючкин В. Я., Степанов Р. О. Математическая модель распространения лазерного излучения в морской воде // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 127. № 10. С. 558–562.

6. РД 52.24.496-2018 Методика измерений температуры, прозрачности и определение запаха воды. Росгидромет, 2018.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом О. В. Украинским.*

УДК 621.397
ГРНТИ 47.51.31

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ

А. М. Александров¹, О. В. Головинов¹, О. В. Украинский²

¹СКБ «Энергия»

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Обнаружение пожароопасных ситуаций на ранних этапах – задача, всегда остающаяся актуальной. В статье проводится краткий анализ технических решений, выполняющих данную задачу, используя видеосистемы и техники обработки изображений.

системы пожаротушения, пожарная сигнализация, телевизионная камера.

Задача предотвращения пожаров и других стихийных бедствий всегда остается актуальной. Разработка совершенных средств пожаротушения, а также техники раннего обнаружения пожароопасных ситуаций, окупается возможностью предотвратить или снизить потери от пожара. В современном мире благодаря успехам технологии совершенствуются средства пожаротушения, организация тушения пожаров и соответствующий транспорт, однако наиболее важным инструментом противопожарной техники, очевидно, являются методы и технические средства раннего обнаружения возгораний.

Целью настоящей работы является краткий анализ технических решений в этой области в передовых странах. На примере использования телевизионных (ТВ) методов и методов обработки изображений в числе средств

противопожарной профилактики можно показать широкое и эффективное использование видеоинформационных систем для предотвращения, выявления пожароопасных ситуаций, а также для повышения оперативности и надежности средств пожаротушения.

Как известно, наиболее эффективным методом борьбы со стихийными бедствиями является их профилактика. Интенсивное развитие информационных технологий в последние годы позволило в значительной степени автоматизировать контроль за состоянием пожароопасных объектов и, в частности, автоматизировать визуальный контроль, дополнив его наблюдением за тепловизионной картиной защищаемого объекта или помещения.

Найден целый ряд остроумных решений обнаружения начинающегося пожара по наличию задымления [1], однако по мнению специалистов такой метод выявления возгорания недостаточно оперативен и не позволяет в полной мере предотвратить последствия пожара. Наиболее популярным решением задачи выявления пожароопасных ситуаций еще с прошлого столетия считается визуальный контроль пожароопасной области при наблюдении в инфракрасном (ИК) диапазоне. Распространенным решением является совмещение в одном корпусе двух ТВ камер для видимого и ИК диапазонов с последующей совместной обработкой полученных изображений [2] (рис. 1).



Рис. 1. Прибор фирмы CamTelligence для обнаружения пожароопасной ситуации

Германские фирмы в качестве основных европейских разработчиков высокотехнологичных противопожарных систем интенсивно работают над повышением эффективности обнаружения возгораний. Примером является универсальная система обнаружения PYROsmart [3] (рис. 2, см. ниже), представляющую собой результат совместной разработки фирм ORGLMEISTER Infrarot-Systeme GmbH и VIMTEC GmbH.

Эта система содержит встроенные средства обработки изображений и позволяет анализировать совмещенное изображение в видимом и ИК диапазонах, выявлять координаты очага возгорания и управлять работой остальных систем пожаротушения.



Рис. 2. Система обнаружения возгорания PYROsmart

Совершенствование и появление новых систем раннего обнаружения возгораний в 2021 году было продемонстрировано на выставке таких систем в Мюнхене [4], которая показала высокую эффективность систем обнаружения возгораний с применением информационных и видеотехнологий. В частности, для больших защищаемых площадей следует отметить разработки фирмы Rosenbauer [5]. Наибольший интерес с точки зрения технических решений представляет собой аппаратура Ignis3D [6], позволяющая из нескольких точек пространства склада или иного охраняемого помещения контролировать появление возгораний и управлять положением стволов, направляющих огнетушащего вещества в нужном направлении (рис. 3).



Рис. 3. Работа аппарата Ignis3D

Кроме того, совместное использование нескольких подобных аппаратов совместно с ТВ камерами и стволами подачи огнетушащего вещества позволяет локализовать очаг возгорания с большей точностью (рис. 4).

Отечественные разработки систем обнаружения возгораний или пожарных извещателей также основаны на использовании видеотехнологий и техники обработки изображений [7, 8, 9]. В качестве положительных качеств ряда отечественных разработок следует назвать возможность использования практически в любом помещении, а также на открытом воздухе в случае возникновения необходимости складирования пожароопасных материалов. Применение стереоскопических методов для обработки изображений от нескольких ТВ камер позволяет, используя принципы триангуляции, локализовать точку возгорания и, управляя положением струи огнетушащего вещества, направить ее в оптимальном направлении.

Современные решения в области систем пожаротушения и, что наиболее эффективно, систем обнаружения пожароопасных ситуаций, позволяют отметить наметившуюся тенденцию к широкому внедрению интеллектуальных видеоинформационных систем, которые позволяют предотвращать возгорания с большей вероятностью и в значительно более короткие сроки.

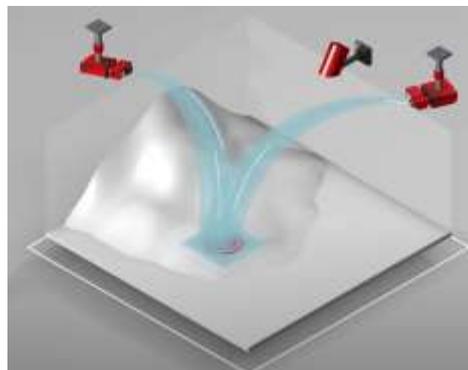


Рис. 4. Использование комплекса пожаротушения фирмы Rosenbauer

Список используемых источников

1. Brandschutz Wegweiser. Technischer Brandschutz und Brandschutzsysteme // 2. Aufl., Siemens, 2013, 309 p.
2. Каталог фирмы CamTelligence. URL: <https://www.camtelligence.de/mobotix/>
3. Описание системы PYROsmart. URL: https://www.orglmeister.de/userFiles/File/Produkte/PYROsmart/PYROsmart_engl_05.12.pdf
4. Выставка противопожарной техники в Мюнхене. URL: <https://www.feuerwehrfachjournal.de/posts/sicherheitsexpo-muenchen-24.-25.-november-2021-86/>
5. Каталог фирмы Rosenbauer. URL: <https://online.pubhtml5.com/eqju/bhin/#p=1>
6. Пресс-релиз к выпуску системы Ignis3D от фирмы Rosenbauer. URL: <https://www.rosenbauer.com/filemin/newspdf/News-5227-e75581a6.zip>
7. Александров А. М., Польщикова К. А., Украинский О. В. Пожарные извещатели с видеоканалом: текущее состояние и перспективы развития // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Санкт-Петербург, 2020. Т. 3. С. 9–13.
8. Мотин Л. А., Преснов В. М., Политов А. А., Фещук В. В. Способ автоматического пожаротушения и автоматическая система пожаротушения. Патент РФ № RU2046613C1.

9. Антонов Л. Ю., Александров А. М. Способ автоматического пожаротушения и автоматическая система для его осуществления. Патент РФ № RU2411974С1.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ LORA

Р. А. Андреев, А. А. Прасолов, А. С. Федоров

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

Для корректного планирования и последующего развертывания сетей связи необходимо провести предварительные расчеты зоны покрытия. В этих целях можно использовать расчетные модели распространения радиоволн. Представлен краткий обзор известных моделей распространения радиоволн, их краткая характеристика, а также особенности и условия использования. Проведен анализ их применимости для технологии LoRa. Расчеты проведены для нелицензируемых частотных диапазонов 433 МГц и 868 МГц с учетом ограничений нормативно-правовой базы, использованы параметры реально применяемого оборудования, описанные в технической документации.

технология LoRa, помехоустойчивость, дальность радиосвязи.

Интернет вещей (IoT) быстро развивается для применения в широком спектре приложений. В результате возникают новые проблемы, связанные с выполнением требований при сохранении заданного качества. Эти проблемы могут включать энергопотребление, качество обслуживания, локализацию, безопасность, а также моделирование и определение характеристик распространения беспроводных каналов. Среди этих проблем последняя имеет решающее значение для установления беспроводной связи «точка-точка» между датчиками. Моделирование каналов также различается в зависимости от особенностей окружающей местности, которые оказывают непосредственное влияние на распространение беспроводных сигналов. Это ставит перед планировщиками сети сложную задачу эффективного проектирования и развертывания приложений IoT без понимания соответствующей модели канала для анализа покрытия и прогнозирования оптимальных конфигураций развертывания. В результате в последние годы эта задача вызвала значительный интерес в научных и промышленных кругах [1].

Для корректного развертывания сети LoRa [2] необходимо предварительно произвести расчеты покрытия сети.

Распространение сигнала в свободном пространстве в системах подвижной связи зависит как от свойств физической среды и параметров используемого оборудования, так и от перемещения устройств. На основе собранных экспериментальных данных для различных типовых условий разработано несколько моделей распространения сигнала, позволяющих оценить медианные потери мощности в зависимости от расстояния R до базовой станции, типа среды распространения, а также высот передающей и приемной антенн.

Сравним результаты расчетов распространения радиоволн посредством известных моделей, в частности, двухлучевой и многолучевой моделей, Окамура-Хата, COST-231-Хата [3] и Ericsson 9999 [4] с результатами измерений описанными в [5]. Типичный случай для г. Санкт-Петербург показан на рис. 1.

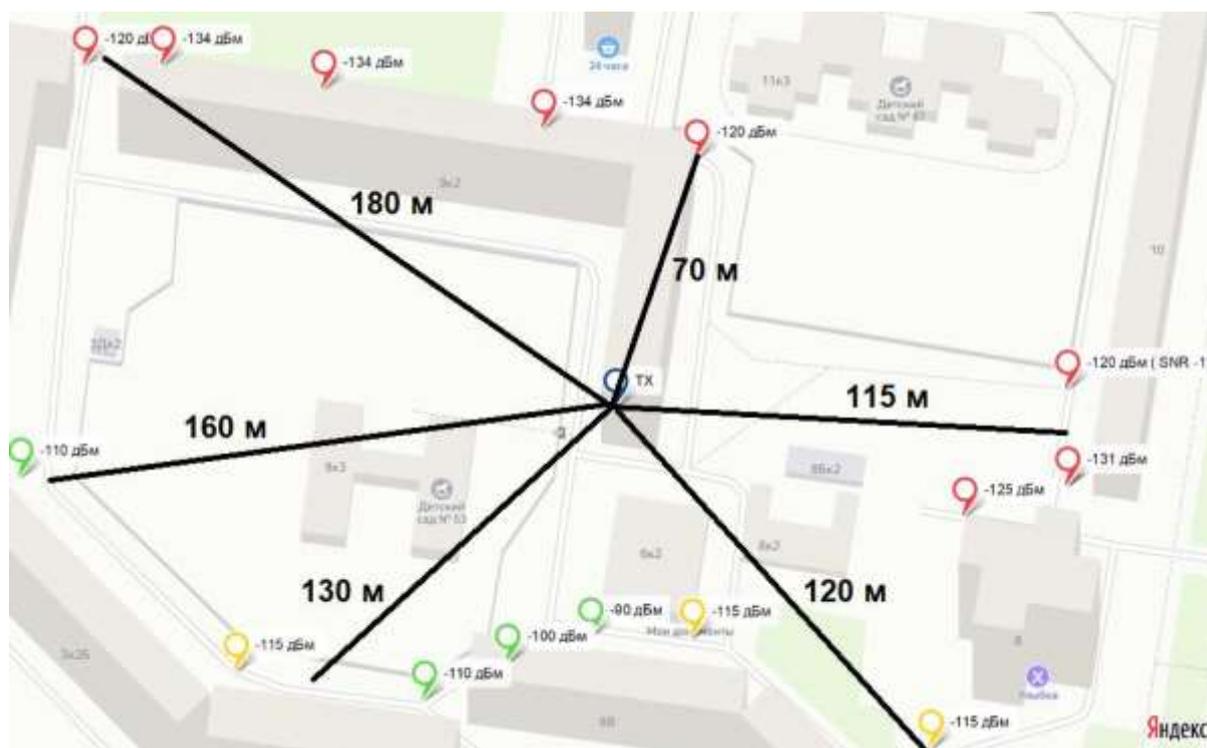


Рис. 1. Результат измерения дальности связи по технологии LoRa в диапазоне 868 МГц

Все расчеты проведены для типичной ситуации, основные технические характеристики которой приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Основные характеристики SX1272

Частота, МГц	434/868
Мощность излучения БС, мВт	100
Коэффициент усиления антенны БС	1

Коэффициент усиления антенны АС	1
Высота подвеса БС, м	30
Высота подвеса оконечного оборудования, м	3
Потери в АФУ, дБм	4
Чувствительность приемника для SF 12, дБм	-137

Для нахождения уровня сигнала в заданной точке по различным моделям с учетом меняющихся характеристик оборудования, таких как высоты подвеса и высоты установки оконечных станций, изменение коэффициентов усиления антенн, использовался алгоритм, учитывающий ограничения налагаемые на модели распространения. В качестве примера, на рис. 2 показаны потери, а на рис. 3 уровень сигнала в городе для диапазона 868 МГц. Остальные результаты расчета сведены в таблицу 2 (см. ниже).

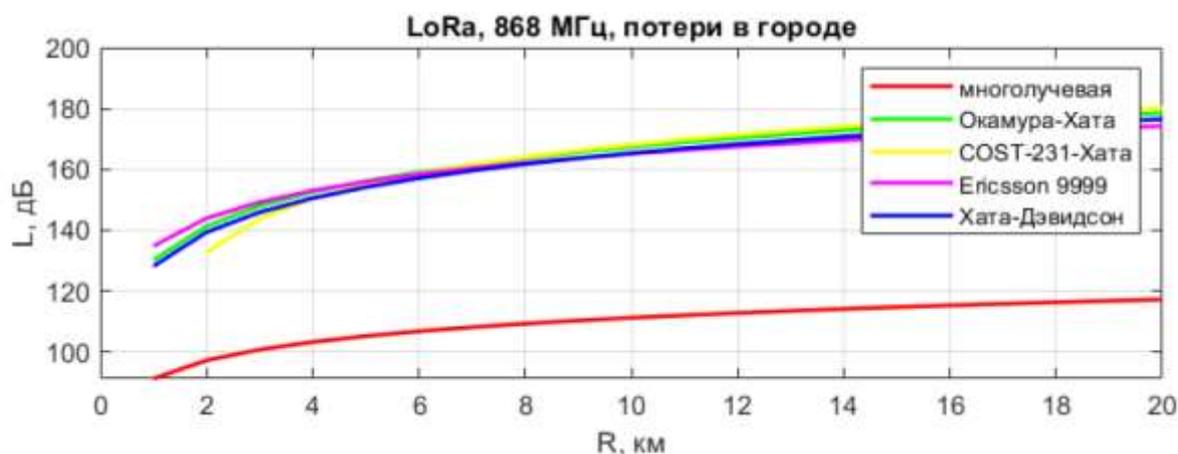


Рис. 2. Величина потерь в городе для диапазона 868 МГц

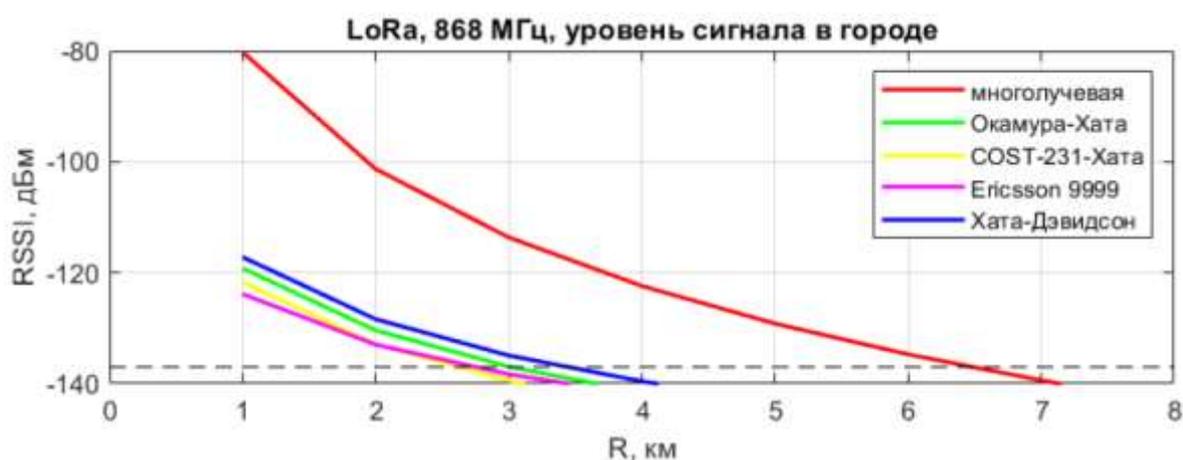


Рис. 3. Уровень сигнала в точке приема в городской местности для диапазона 868 МГц

Исходя из результатов измерения [5], можно сделать следующие выводы:

1. Рассчитанные значения не совпадают с результатами измерений [5], возникает проблема того, что отсутствует «адекватная» модели для расчета покрытия сети, построенной по технологии LoRa. Расхождения могут быть вызваны в связи с ограничениями параметров используемых моделей (расстояния, высоты и т. д.)

2. Модель Ericsson имеет более высокие потери в сельской местности по сравнению с застроенной местностью, что заставляет усомниться в целесообразности ее использования кроме городской среды.

ТАБЛИЦА 2. Дальность связи технологии LoRa в различных диапазонах

Местность	Модель	Рассчитанная дальность связи, км	
		433 МГц	868 МГц
Сельская местность	Двухлучевая	19	26,3
	Многолучевая	29,6	23,9
	Окамура-Хата	19	17,4
	COST-231-Хата	4,6	3,1
	Хата-Дэвидсон	19,6	19,7
	Ericsson 9999	1,1	1,1
Пригород	Многолучевая	11,7	10,7
	Окамура-Хата	6,6	5,5
	COST-231-Хата	6,6	3,1
	Хата-Дэвидсон	4,6	6,3
	Ericsson 9999	1,3	1,3
Город	Многолучевая	6,9	6,5
	Окамура-Хата	4	3
	COST-231-Хата	4	2,6
	Хата-Дэвидсон	4	3,4
	Ericsson 9999	3	2,7

Список используемых источников

1. Alobaidy H. A. H. et al. Wireless Transmissions, Propagation and Channel Modelling for IoT Technologies: Applications and Challenges // IEEE Access. 2022. Т. 10. С. 24095–24131.

2. LoRaWAN Specification V1.1 [Электронный ресурс] // LoRa Alliance, 2017. URL: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_-v1.1.pdf (дата обращения: 23.03.2022).

3. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи : пер. с польск. И. Д. Рудинского; под ред. А. И. Ледовского. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 536 с.

4. Saeed A., Rehman H. U., Masood M. H. Performance Analysis and Comparison of Radio Propagation Models for Outdoor Environment in 4G LTE Network. 2013. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:830542/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 23.03.2022).

5. Андреев Р. А., Прасолов А. А., Федоров А. С. Исследование дальности связи технологии LoRa в условиях мегаполиса // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021). Юбилейная X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 21–27.

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ИЗВЕСТНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ NB-IOT

Р. А. Андреев, А. А. Прасолов, А. С. Федоров

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

Для корректного планирования и последующего развертывания сетей связи необходимо провести предварительные расчеты зоны покрытия. В этих целях можно использовать расчетные модели распространения радиоволн. Представлен краткий обзор известных моделей распространения радиоволн, их краткая характеристика, а также особенности и условия использования. Проведен анализ их применимости для технологии NB-IoT. Представлены графические и табличные результаты расчетов.

технология NB-IoT, помехоустойчивость, дальность радиосвязи.

Беспроводной сегмент сетей связи IoT относится к уровню устройства и уровню сети, на базе которых соответственно организуются сеть радиодоступа и опорная сеть. В наше время предлагается большой и разнообразный пул радиотехнологий для реализации систем IoT. Среди узкополосных систем связи, работающих в общем порядке, выделяют три системы – EC-GSM, LTE-M и NB-IoT. В целом, назвать эти технологии целиком самостоятельными нельзя – все представляют собой один из вариантов развития существующих систем мобильной связи (GSM и LTE), переработанных для удовлетворения требований при использовании в системах IoT.

Если технология LTE-M по большей степени ориентирована на сравнительно более высокую скорость передачи данных (из-за чего обладает меньшим бюджетом радиолинии и, соответственно, обеспечивает меньшую дальность связи), то технология NB-IoT является оптимизированной к основным требованиям к устройствам IoT – большая дальность связи, малые скорости передачи данных, высокая энергоэффективность [1].

Выбор точной модели канала для применения при развертывании сети беспроводного IoT затруднен из-за несовершенства, дополнительных деталей и ограничений в точке размещения. Эти ограничения могут включать меняющуюся местность, большие объекты (например, здания и высокие деревья) и различные движущиеся объекты с переменной скоростью. Другими словами, качество беспроводного канала передачи Интернета вещей существенно отличается при использовании в средах с условиями канала, отличными от исходной среды разработки. Кроме того, продолжающееся расширение беспроводных сетей требует дальнейших исследований распространения сигнала, чтобы гарантировать эффективное покрытие и эффективность обслуживания [2].

При этом в последние годы было описано множество моделей каналов [3–4]. Однако в литературе недостаточно исследований, которые обобщают и описывают доступные модели каналов, подходящие для широкого спектра беспроводных систем на основе IoT [5].

Сравним результаты расчетов распространения радиоволн посредством известных моделей, в частности, двухлучевой и многолучевой моделей, Окамура-Хата, COST-231-Хата, Хата-Дэвидсона [6] и Ericsson 9999 [7] с результатами измерений описанными в [8] (рис. 1).

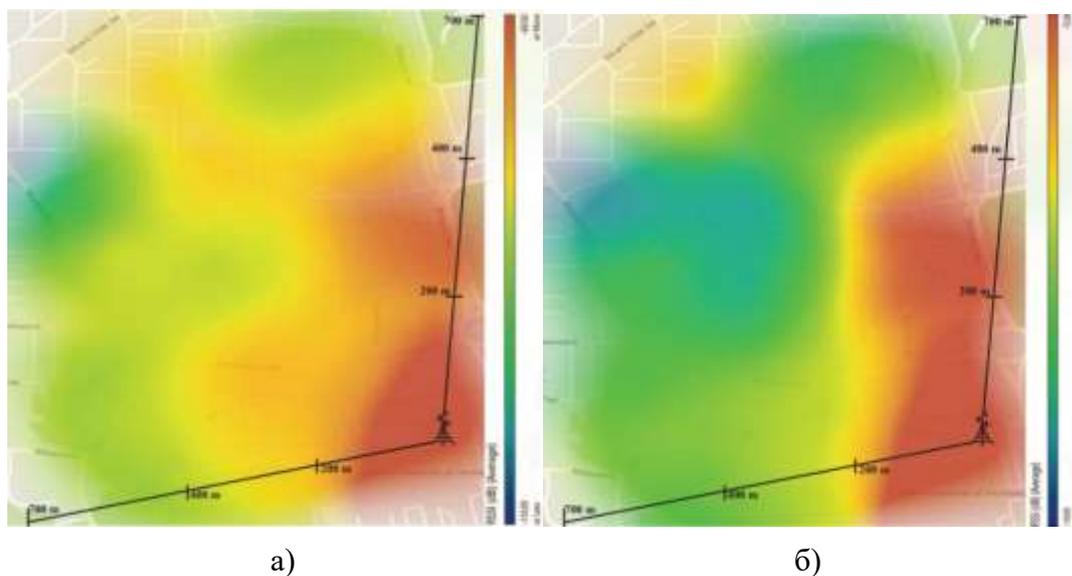


Рис. 1. Покрытие NB-IoT для сценария вне помещений (а) и внутри (б) с точки зрения RSSI [8]

Все расчеты проведены для типичной ситуации, основные технические характеристики которой приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные для расчета

Направление	DL
Мощность излучения, дБм	23
КУ антенны БС, дБи	11
КУ антенны МС, дБи	0
Потери в АФТ, дБ	3
Высота подвеса БС относительно земной поверхности, м	30
Высота оконечного оборудования относительно земной поверхности, м	1,5
Чувствительность ПРМ, дБм	-110

Для нахождения уровня сигнала в заданной точке по различным моделям с учетом меняющихся характеристик оборудования, таких как высоты подвеса и высоты установки оконечных станций, изменение коэффициентов усиления антенн, использовался алгоритм, учитывающий ограничения налагаемые на модели распространения. В качестве примера, на рис. 2 показан изменения уровня сигнала в диапазоне В5 (832–862 МГц), а на рис. 3 уровень сигнала в городе для диапазона В31 (453–457,4 МГц). Остальные результаты расчета сведены в таблицу 2 (см. ниже).

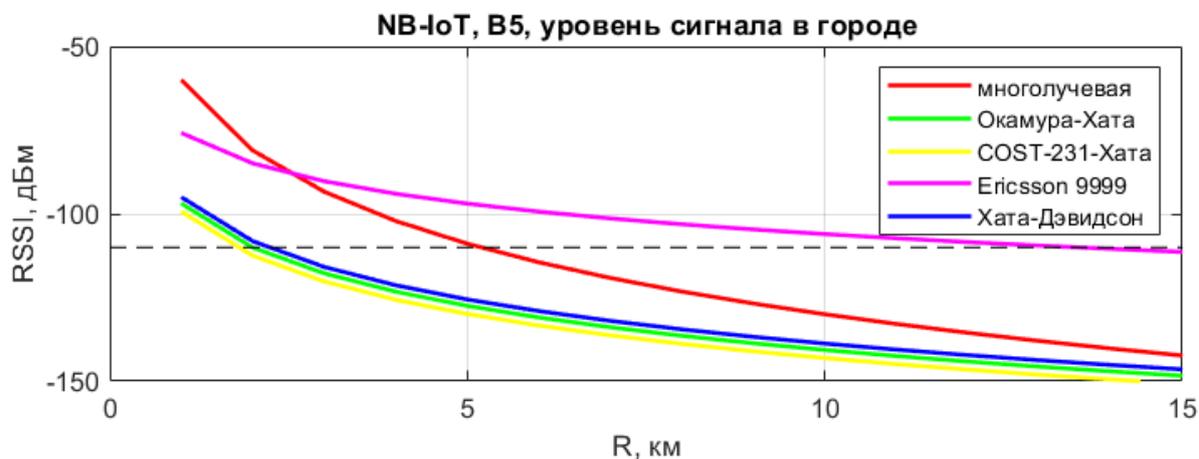


Рис. 2. Уровень сигнала в точке приема в городской местности для диапазона В5

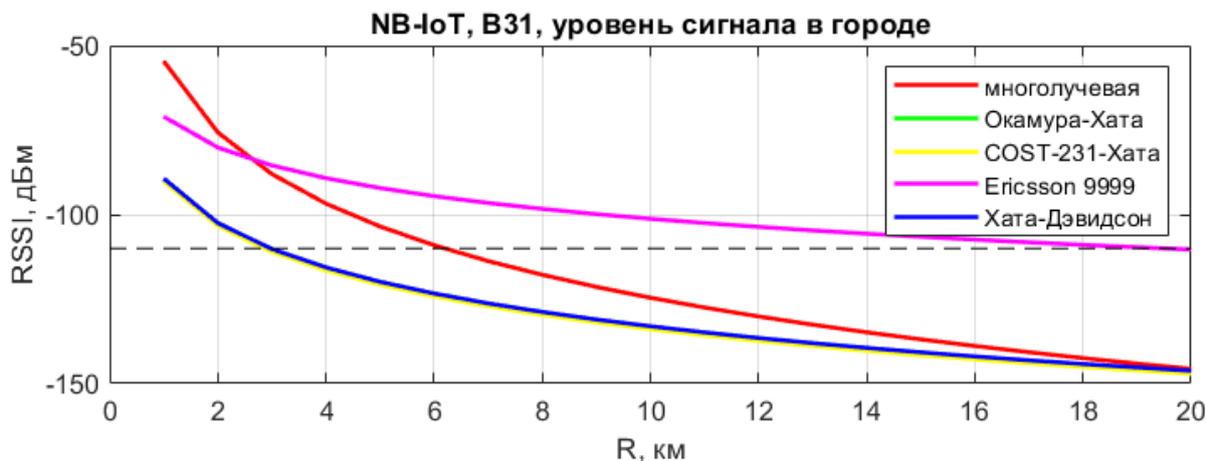


Рис. 3. Уровень сигнала в точке приема в городской местности для диапазона B31

Эмпирическая модель Окумура-Хата, являющаяся наиболее популярной, действительна для частот в диапазоне от 150 МГц до 1500 МГц и высот от 30 до 200 м для передающей и от 1 м до 10 м для приемной антенн. Одним из недостатков модели Окумура-Хата является то, что ее оценка не учитывает профиль местности. На основании данной модели появились несколько адаптированных моделей, расширяющих поддерживаемый диапазон частот, расстояния и высоты антенн. К этим моделям, в частности, относятся рассматриваемые COST-231-Хата, Хата-Дэвидсона и Ericsson 9999.

ТАБЛИЦА 2. Дальность связи технологии NB-IoT в различных диапазонах

Местность	Модель	B1	B3	B5	B7	B8	B31
Сельская местность	Двухлучевая	22,6	22,7	22,5	22,4	22,5	22,6
	Многолучевая	11,2	12,6	17,8	10	17	24,2
	Окамура-Хата	–	–	8,8	–	8,5	11,3
	COST-231-Хата	–	37,4	39,3	–	39,1	41
	Хата-Дэвидсон	–	–	9,7	–	9,6	11,6
	Ericsson 9999	1,6	1,6	1,8	1,6	1,8	2,1
Пригород	Многолучевая	5,8	6,1	8,1	5,4	7,8	10,1
	Окамура-Хата	–	–	3,3	–	3,2	4,5
	COST-231-Хата	–	37,5	39,2	–	39	40,7
	Хата-Дэвидсон	–	–	3,7	–	3,6	4,6
	Ericsson 9999	2,1	2,1	2,5	2	2,5	2,9
Город	Многолучевая	3,9	4,2	5,1	3,8	5	6,2
	Окамура-Хата	–	–	2	–	1,9	2,9
	COST-231-Хата	–	1	1,8	–	1,7	2,9
	Хата-Дэвидсон	–	–	2,2	–	2,1	3

Местность	Модель	B1	B3	B5	B7	B8	B31
	Ericsson 9999	8,6	9,1	13,4	7,9	12,8	19,6

Исходя из результатов измерения и результатов теоретических расчётов, можно сделать следующие выводы:

1. Модели затухания для технологии NB-IoT должна учитывать потери как внутри зданий, так и снаружи, что является достаточно сложной задачей, а существующие модели в таких случаях неточны.

2. Теоретические модели неприменимы ко всем сценариям внутри помещений, поскольку общий бюджет канала слишком сложен, чтобы его можно было полностью охарактеризовать линейной зависимостью.

3. Необходимы дополнительные исследования для определения применимости различных существующих моделей каналов, предложения новых моделей, учитывающих различные сценарии и имеющиеся в продаже устройства.

Список используемых источников

1. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // *Future generation computer systems*. 2013. V. 29. No. 7. pp. 1645–1660.

2. Castro B. S. L. et al. Comparison between known propagation models using least squares tuning algorithm on 5.8 GHz in Amazon region cities // *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*. 2011. V. 10. No. 1. pp. 106–113.

3. Xu W. et al. Measurement, characterization, and modeling of lora technology in multifloor buildings // *IEEE Internet of Things Journal*. 2019. V. 7. No. 1. PP. 298–310.

4. Souza Bezerra N. et al. Temperature impact in LoRaWAN—A case study in Northern Sweden // *Sensors*. 2019. V. 19. No. 20. pp. 4414.

5. Alobaidy H. A. H. et al. Wireless Transmissions, Propagation and Channel Modelling for IoT Technologies: Applications and Challenges // *IEEE Access*. 2022. V. 10. pp. 24095–24131.

6. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи : пер. с польск. И. Д. Рудинского; под ред. А. И. Ледовского. М. : Горячая линия-Телеком, 2006. 536 с.

7. Saeed A., Rehman H. U., Masood M. H. Performance Analysis and Comparison of Radio Propagation Models for Outdoor Environment in 4G LTE Network. 2013. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:830542/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 23.03.2022).

8. Malik H. et al. NB-IoT network field trial: Indoor, outdoor and underground coverage campaign // *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)* // IEEE, 2019. pp. 537–542.

УДК 621.396.677.33
ГРНТИ 47.45.29

МЕТОДИКА ПОИСКА АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ СОВМЕЩЁННОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КОНЦЕНТРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

А. В. Андропов¹, С. В. Кузьмин²¹ООО «Специальный Технологический Центр»² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

С развитием легкой и сверхлегкой авиации для обеспечения радиосвязи требуются компактные и низкопрофильные антенны, но при этом, без ограничения функциональных возможностей. Решить данную задачу помогают концентрические антенные решетки. Из-за сильной взаимной связи излучателей возникают трудности с поиском необходимого амплитудно-фазового распределения. В работе представлена методика поиска, основанная на суммировании парциальных диаграмм направленности, умноженных на весовые коэффициенты. Искомое амплитудно-фазовое распределение, или указанные весовые коэффициенты, находится в результате оптимизации методом роя частиц.

диаграмма направленности, кольцевая антенная решётка, синтез диаграмм направленности, метод роя частиц.

Низкопрофильная совмещённая кольцевая концентрическая антенная решётка, подробно описанная в [1], представлена на рис. 1. Она состоит из двух кольцевых антенных решёток (АР). Внутренняя работает на центральной частоте 5,0 ГГц, внешняя – на центральной частоте 2,5 ГГц.

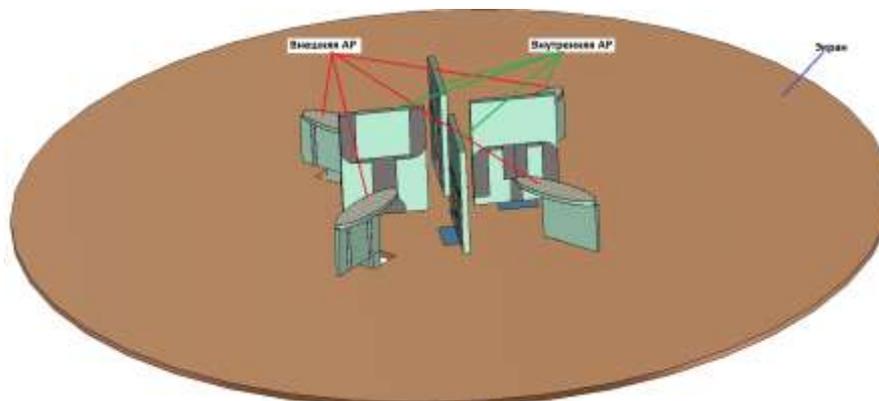


Рис. 1. Двухдиапазонная кольцевая антенная решётка

В зависимости от того, с какими весовыми коэффициентами будут сложены сигналы на выходах каждой АР, получится та или иная диаграмма направленности (ДН). Критерии для выбора весовых коэффициентов могут быть различными. Например, формирование максимума ДН в заданном направлении или минимум среднеквадратичной ошибки при сравнении с опорным сигналом в ходе решение задачи адаптации. Рассмотрим случай, когда нам необходимо максимизировать коэффициент направленного действия (КНД) в заданном направлении.

Когда рассматриваются линейные или плоские двумерные антенные решётки, задача синтеза ДН, как правило, сводится к нахождению амплитудно-фазового распределения (АФР) для множителя решётки. Поскольку множитель решётки является дискретным преобразованием Фурье от АФР, то применяются соответствующие методы синтеза оконных функций для формирования заданного спектра. Указанные методы подробно изложены в литературе [2–9]. Взаимные связи элементов антенной решётки могут быть учтены, например, как в [8].

Не все задачи имеют прямое аналитическое решение. При усложнении требований к форме ДН возникает необходимость поиска дополнительных вспомогательных коэффициентов, например, как в [8]. В итоге приходят к применению методов оптимизации [10], среди которых наибольшее распространение получили генетический алгоритм и метод роя частиц.

В кольцевых АР понятие множителя решётки весьма условно. ДН всех антенных элементов для заданного направления различны, тем более, если учесть взаимное влияние. Причём, в каждом направлении нужно учитывать не только амплитудную, но и фазовую ДН.

Метод, описанный в [8] для линейной антенной решётки, может быть применён и для кольцевой. Сложности будут связаны с учётом фазовой парциальной ДН каждого элемента со своим началом отсчёта фаз. В итоге, нужно будет искать весовые коэффициенты, используя методы оптимизации.

На основе анализа методов синтеза ДН, изложенных в [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], для нахождения АФР кольцевой АР, по заданному критерию максимизации КНД, был выбран метод парциальных ДН, для осуществления которого предлагается методика, содержащая следующие этапы:

1. Для каждого излучающего элемента АР находится электрическое поле в дальней зоне в сферической системе координат (r, ϑ, φ) . Поскольку аналитический расчёт поля затруднён, то применяется один из численных методов решения задач электродинамики, реализованный в современных системах автоматизированного проектирования. Решение ищется для излучающего элемента в составе АР, при условии, что остальные излучающие элементы нагружены на согласованные нагрузки. Т. е., в результате получа-

ется набор трёхмерных парциальных ДН с учётом взаимных связей. Сохранять результаты необходимо таким образом, чтобы у всех антенн была единая точка отсчёта фазы. В случае рассматриваемой четырёхэлементной кольцевой АР результатом выполнения данной операции будет набор из четырёх матриц.

2. В результате сложения полей, полученных на первом этапе, каждое из которых предварительно умножается на весовой коэффициент (комплексное число), получается суммарная ДН АР. Набор четырёх весовых коэффициентов и является АФР. Из полученной трёхмерной ДН АР вычисляется КНД в заданном направлении (ϑ , φ) сферической системы координат.

3. Задаётся критерий для оптимизации. В рассматриваемом случае – максимизация КНД в заданном направлении (ϑ , φ) сферической системы координат.

4. В результате оптимизации методом роя частиц осуществляется перебор некоторого количества АФР до выполнения критерия из п. 3 методики с заданной точностью.

Рассмотрим применение методики на примерах. Будем искать АФР для показанной на рис. 1 антенны на частоте 2,7 ГГц (задействованы внешние излучатели), такое, чтобы в заданном направлении (ϑ , φ) КНД был максимальным. Возьмём значения амплитуды от 0 до 1,0 В с шагом 0,1 В, а фазу от 0° до 360° с шагом $11,25^{\circ}$. Всего в каждом канале может быть 363 значения весового коэффициента. Поскольку каналов 4, то число возможных комбинаций равно 363^4 , или 17363069361 вариантов АФР.

Для иллюстрации условий задачи и привязки системы координат на рис. 2 показана ДН одного элемента антенной решётки, расположенного в направлении 45° по φ , на фоне АР. Все остальные излучатели нагружены на согласованные нагрузки. Фактически показана парциальная ДН излучателя. Здесь и далее результаты получены в САПР методом конечных разностей во временной области.

Теперь воспользуемся описанной методикой и постараемся увеличить КНД в направлении $\varphi = 45^{\circ}$, $\vartheta = 50^{\circ}$ за счёт использования всех излучателей. В результате получим следующее амплитудное распределение (АР) в Вольтах (0,4 0,9 0,3 0,2) и фазовое распределение (ФР) в градусах ($-67,50$ $-168,75$ $-101,25$ $45,00$). При этом $\varphi_{\max} = 52^{\circ}$, $\vartheta_{\max} = 51^{\circ}$, КНД = 9,2 дБ. В направлении $\varphi = 45^{\circ}$, $\vartheta = 50^{\circ}$ КНД увеличится по сравнению с КНД одного элемента до 9,15 дБ.

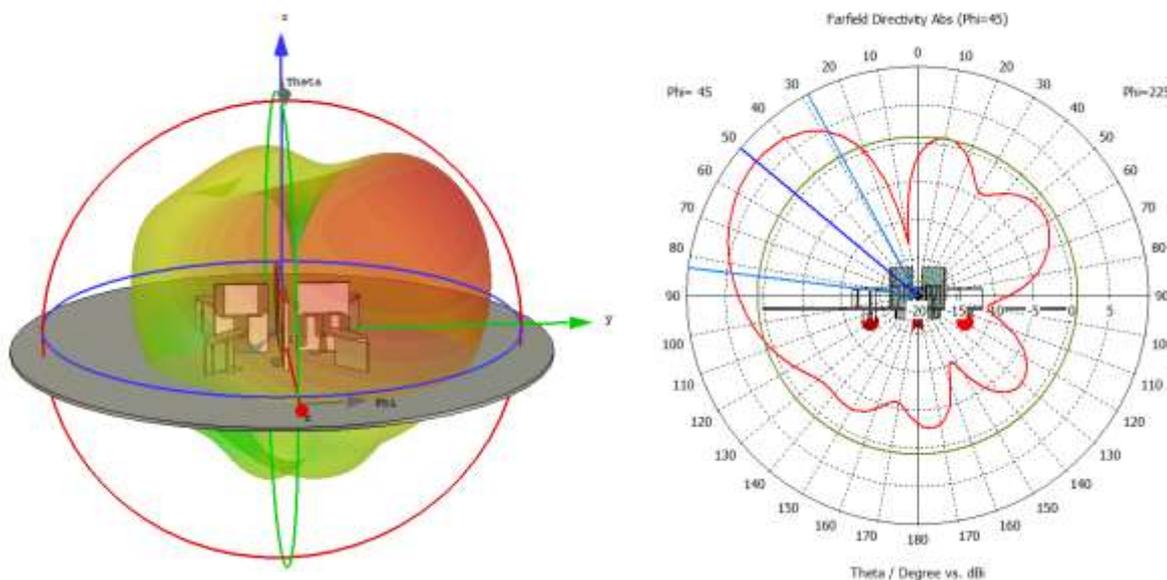


Рис. 2. ДН антенного элемента с учётом взаимного влияния.
 $\varphi_{\max} = 45^{\circ}$, $\vartheta_{\max} = 50^{\circ}$, КНД = 7,3 дБ

Теперь повернём ДН по φ на 90° , а ϑ оставим прежним, равным 50° . Получим АР (0,2 0,7 0,7 0,2), ФР (11,25 -123,75 -123,75 11,25). На рис. 3 (см. ниже) показана полученная при данном АФР ДН.

Предложенная методика позволяет находить требуемое АФР за сравнительно небольшое время (секунды). Построенный для получения результатов алгоритм не является оптимальным по быстродействию и может быть усовершенствован. Увеличение скорости расчётов возможно с применением специализированных аппаратных средств.

Использование разнообразных критериев позволит как непосредственно найти необходимое АФР, так и исследовать потенциальные возможности антенны, с учётом взаимных связей.

Методика может быть распространена на АР с произвольным расположением излучающих элементов.

При решении задачи адаптации устанавливаются критерии, связанные с сигналом, а не с ДН АР [11]. В результате находится оптимальный вектор весовых коэффициентов. Этому вектору соответствует ДН определённой формы. Поскольку за-

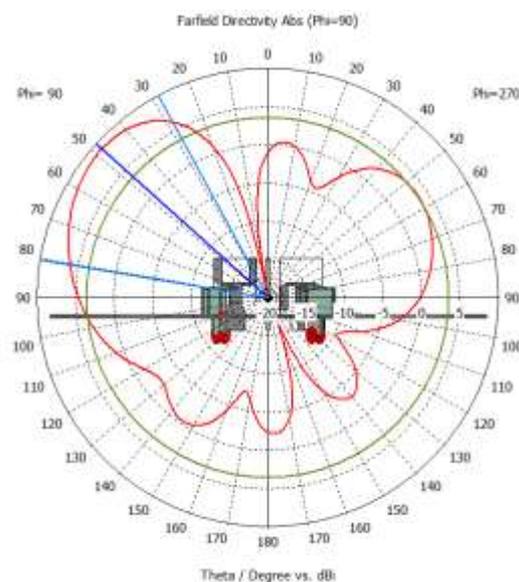


Рис. 3. ДН антенной решётки
 $\varphi_{\max} = 90^{\circ}$, $\vartheta_{\max} = 48^{\circ}$, КНД = 9,0 дБ

дача синтеза ДН решается за небольшое время, то можно предположить, что и решение задачи адаптации в системе с участием рассматриваемой антенны возможно методом роя частиц.

Список используемых источников

1. Andropov A. V., Kuzmin S. V., Korovin K. O. Design of Airborne Dual-band Low-profile Antenna Array // Springer Proceedings in Physics. Ser. "International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies – Proceedings of the YETI 2020" 2021. pp. 675–681.
2. Хансен Р. С. Фазированные антенные решетки. 2-е изд. М. : Техносфера, 2012.
3. Вендик О. Г., Парнес М. Д. Антенны с электрическим сканированием. М. : Сайнс-Пресс, 2002.
4. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Воскресенского Д. И. 4-е изд. М. : Радиотехника, 2012. 744 с.
5. Амитей, Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток : пер. с англ. А. Н. Гридина [и др.] / Под ред. А. Ф. Чаплина. – М. : Мир, 1974. – 453 с.
6. Steinberg B.D. Principles of Aperture and Array System Design. – New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1976. 356 p.
7. Вендик И. Б., Вендик О. Г., Козлов Д. С. и др. Диаграммообразование в антенных решётках : монография / редактор Е. И. Ворошилова. М. : Физматлит, 2020. 110 с.
8. Французов А. Д. Метод неортогональных парциальных диаграмм синтеза линейных антенных решёток // Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника. 2014. № 5.
9. Зелкин Е. Г., Кравченко В. Ф. Задачи синтеза антенн и новые методы их решения. М.: ИПРЖР, 2002. – 72 с.
10. Brown A. D. Electronically Scanned Arrays MATLAB Modeling and Simulation, Boca Raton. NW: CRC Press, 2012. 229 p.
11. Григорьев В. А., Щесняк С. С., Гулюшин В. Л., Распаев Ю. А., Лагутенко О. И., Щесняк А. С. Адаптивные антенные решетки : учебное пособие в 2-х частях / под общ. ред. В. А. Григорьева. Часть 1. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 179 с.

УДК 654.1

ГРНТИ 49.43.29

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИГНАЛООБРАЗУЮЩИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СТАНДАРТА 5G NR

И. А. Бабанов

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

Рассматриваются принципы организации и упорядочивания корней сигналообразующих последовательностей для генерации преамбул канала RACH. Приведены форматы возможных конфигураций преамбул канала случайного доступа. Проведено исследование корреляционных свойств преамбул, упорядоченных различным образом.

Рассчитаны уровни коэффициентов корреляции и дан анализ распределения их значений в зависимости от длины ZС-последовательности и способа упорядочивания корней.

5G NR, PRACH, ZС-последовательность, коэффициент корреляции, случайный доступ.

В 5G NR, как и в LTE, при запросе мобильного терминала на доступ к сети передают преамбулы на основе ZС-последовательностей различной длины. Длина последовательности может составлять 139, 571, 839, 1151 символ в зависимости от конфигурации.

Выбор элементов ZС-последовательностей производится по формуле:

$$x_u(i) = e^{-j\frac{2\pi ui(i+1)}{L_{RA}}}, i = 0, 1, \dots, L_{RA} - 1.$$

Особенностью передачи преамбулы по каналу PRACH является то, что передача осуществляется на параллельных несущих, как представлено на рис. 1 [1].

Одним из ключевых параметров, предъявляемым к преамбулам, построенным на основе ZС-последовательностей, является требование низкой взаимной корреляции. Для обеспечения допустимого уровня корреляции в стандарте корни последовательностей упорядочены специальным образом.

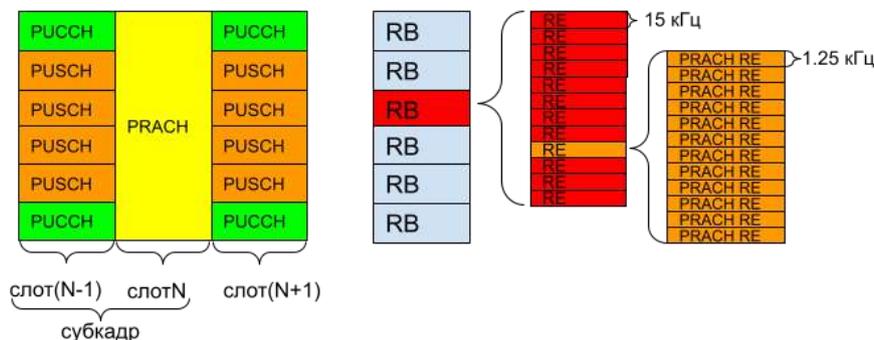


Рис. 1. Расположение ресурсов канала PRACH в субкадре и сетке ресурс-блоков

Вне зависимости от длины преамбулы передача осуществляется на N поднесущих и $N = L_{RA}$. Для различных форматов преамбулы используется разное расстояние между поднесущими f^{RA} [2]. Специфицированы расстояния в 1,25 и 5 кГц для преамбул длиной 839 элементов. Для преамбул длиной 139 элементов расстояния между поднесущими определены как 15, 30, 60 и 120 кГц. Для преамбул длиной в 571 элемент используется расстояние между поднесущими 30 кГц и для 1151 15 кГц.

Корреляционные свойства ZС-последовательностей, используемых в стандарте LTE, были проанализированы в [3]. В данной работе проанализированы преамбулы, разработанные для стандарта 5G NR.

Для начала рассмотрим корреляционные свойства неупорядоченных последовательностей, построенных на основе корней u от 1 до 139 и от 1

до 839. На рис. 2 представлены результаты вычисления коэффициента корреляции для последовательностей длиной в 139 и 839 элементов.

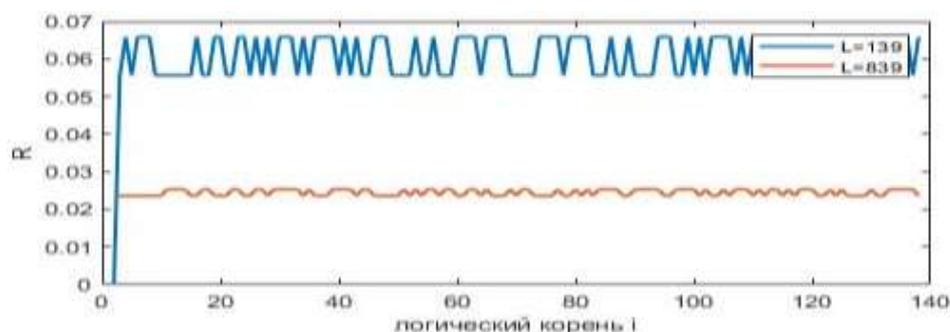


Рис. 2. Значение коэффициента корреляции между соседними корнями ZС-последовательности в случае отсутствия специального упорядочивания

Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что последовательности большей длины обладают более низкой корреляцией. Интуитивно это понятно, так как чем длиннее последовательность, тем у нее больше возможностей быть непохожей на другую. Также стоит отметить, что зависимость коэффициента корреляции от длины последовательности нелинейная и в рассматриваемом случае увеличение длины последовательности более, чем в 4 раза, дает снижение коэффициента корреляции чуть более, чем в два раза.

В стандарте NR для преамбул длиной 839 символов представлена таблица со специальным образом упорядоченными корнями ZС-последовательностей. Первые 10 строк логических и физических корней последовательности приведены в таблице 1 [2].

ТАБЛИЦА 1. Соответствие логических корней физическим корням ZС-последовательности для L = 839

Логический номер корневой последовательности	Номер и физической корневой последовательности (в порядке возрастания соответствующих логических корней)
0–19	129 710 140 699 120 719 210 629 168 671 84 755 105 734 93 746 70 769 60 779
20–39	2 837 1 838 56 783 112 727 148 691 80 759 42 797 40 799 35 804 73 766
40–59	146 693 31 808 28 811 30 809 27 812 29 810 24 815 48 791 68 771 74 765
60–79	178 661 136 703 86 753 78 761 43 796 39 800 20 819 21 818 95 744 202 637
80–99	190 649 181 658 137 702 125 714 151 688 217 622 128 711 142 697 122 717 203 636
100–119	118 721 110 729 89 750 103 736 61 778 55 784 15 824 14 825 12 827 23 816

Логический номер корневой последовательности	Номер и физической корневой последовательности (в порядке возрастания соответствующих логических корней)
120–139	34 805 37 802 46 793 207 632 179 660 145 694 130 709 223 616 228 611 227 612
140–159	132 707 133 706 143 696 135 704 161 678 201 638 173 666 106 733 83 756 91 748
160–179	66 773 53 786 10 829 9 830 7 832 8 831 16 823 47 792 64 775 57 782
180–199	104 735 101 738 108 731 208 631 184 655 197 642 191 648 121 718 141 698 149 690

Для остальных вариантов преамбул в [2] также размещены соответствующие таблицы, но отметим, что эти таблицы построены сходным образом, когда корни последовательностей перемежаются навстречу друг другу, как это показано в таблице 2.

Расчётные коэффициенты корреляции для последовательностей по таблицам 1 и 2 приведены на рис. 3. В данном исследовании оценивались корреляционные свойства последовательностей, образованных соседними корнями. На практике такая ситуация возникает при использовании параметра `zeroCorrelationZoneConfig` больше 1. В этом случае с увеличением циклического сдвига все чаще будет происходить смена корня последовательности и при генерации 64 преамбул с максимальным циклическим сдвигом 69 в полученном наборе будет 21 преамбула, образованная последовательными корнями с нулевым циклическим сдвигом.

ТАБЛИЦА 2. Соответствие логических корней физическим корням ZC-последовательности для $L = 139$

Логический номер корневой последовательности	Номер и физической корневой последовательности (в порядке возрастания соответствующих логических корней)
0–19	1 138 2 137 3 136 4 135 5 134 6 133 7 132 8 131 9 130 10 129
20–39	11 128 12 127 13 126 14 125 15 124 16 123 17 122 18 121 19 120 20 119
40–59	21 118 22 117 23 116 24 115 25 114 26 113 27 112 28 111 29 110 30 109
60–79	31 108 32 107 33 106 34 105 35 104 36 103 37 102 38 101 39 100 40 99
80–99	41 98 42 97 43 96 44 95 45 94 46 93 47 92 48 91 49 90 50 89
100–119	51 88 52 87 53 86 54 85 55 84 56 83 57 82 58 81 59 80 60 79
120–137	61 78 62 77 63 76 64 75 65 74 66 73 67 72 68 71 69 70 - -
138–837	N/A

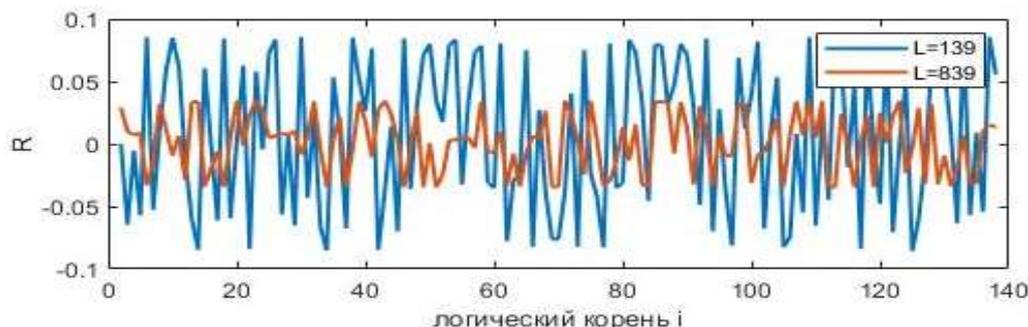


Рис. 3. Значение коэффициента корреляции для $L = 139$ и $L = 839$ упорядоченных в соответствии с таблицами 1 и 2

Как следует из рис. 3, для последовательностей длиной в 139 символов коэффициент корреляции может достигать значений близких к 0,1, в то время как для последовательностей длиной 839 символов коэффициент корреляции не превышает 0,04. При этом не следует забывать, что корреляция снижается с ростом длины последовательности. Поэтому для того, чтобы выявить, какой вклад вносит именно упорядочивание корней, построим аналогичный график для преамбулы длиной в 839 элементов, где корни будут упорядочены по таблице 2.

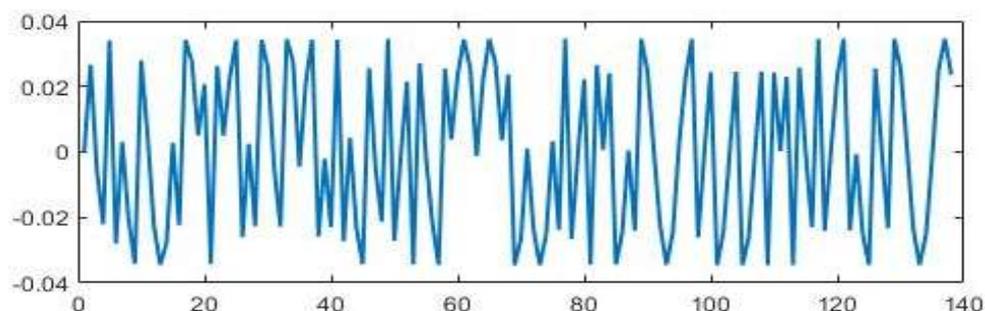


Рис. 4. Значение коэффициентов корреляции для ZC-последовательности длиной 839 элементов, но упорядоченных по таблице 2

Из приведенного на рис. 4 графика видно, что разброс значений корреляции остался в тех же пределах что и при использовании стандартной таблицы для $L = 839$.

Произведем оценку статистических показателей, построив гистограммы распределения коэффициентов корреляции для каждого из рассмотренных случаев (рис. 5).

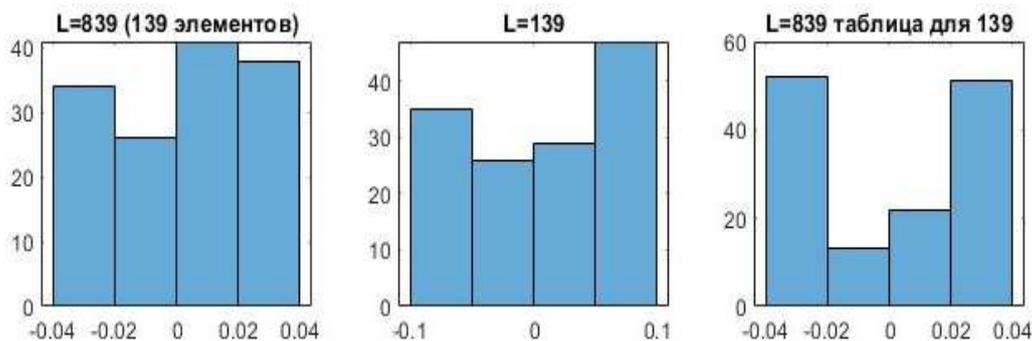


Рис. 5. Распределение значений коэффициента корреляции в зависимости от длины последовательности и способа упорядочивания корней

Из рис. 5 следует, что использование упрощенных таблиц приводит к заметному статистическому увеличению коэффициента корреляции между последовательностями, образованными соседними корнями. Однако в стандарте NR при генерации «длинных» преамбул использование упрощенных таблиц не приводит к снижению надежности процедуры доступа к сети за счет увеличенной длины самой последовательности.

Список используемых источников

1. Бабанов И. А., Андреев Р. А. Технологии доступа к сети 5G NR // Экономика и качество систем связи. 2019. № 4. С. 45–53.
2. 3GPP TS 38.211 V16.3.0 NR; Physical channels and modulation. 2020. 128 p.
3. A. Laya, L. Alonso en J. Alonso-Zarate, “Efficient Contention Resolution in Highly Dense LTE Networks for Machine Type Communications” // In GLOBECOM, 2015.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, профессором О. В. Воробьевым.*

Статья представлена на X Юбилейной международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», прошедшей 24–25 февраля 2021 года.

УДК 654.1
ГРНТИ 49.43.29

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТЕКТОРА ПРЕАМБУЛ КАНАЛА СЛУЧАЙНОГО ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАТЛАВ

И. А. Бабанов, О. В. Воробьев

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

Демонстрируется вариант использования модели, построенной в MATLAB для тестирования детектора канала случайного доступа стороннего производителя на примере srsRAN. Показывается пример генерации сигнала, приводится модель и схема эксперимента. Приводятся данные результатов тестирования, полученные на практике для заданной конфигурации канала и указанных параметров теста.

5G, NR, 4G, LTE, PRACH, ZC-последовательность, MatLab, srsRAN, Lte Toolbox.

В стандартах 4G Lte и 5G NR в качестве преамбулы случайного доступа используются ZC – последовательность различной длинной. На конференции АПИНО-2021 был представлен доклад показывающий, что корреляционные свойства последовательностей различны в зависимости от используемых при их построении корней. И основываясь на этих результатах было проведено исследование качества детектора преамбул реализованного в одной из имплементаций БС стандарта Lte. В качестве критерия качества выступало количество успешно детектированных преамбул для каждого из тестовых наборов.

Преамбула канала случайного доступа строится на основе ZC-последовательности заданного корня в зависимости от используемой конфигурации канала ZC-последовательность повторяется один или более раз, также перед передачей к ней добавляется циклический префикс в начале передачи и защитный интервал в конце. В зависимости от формата преамбулы, ZC-последовательность повторяется от одного до 4 раз [1]. Построение ZC-последовательности осуществляется в соответствии с формулой:

$$x_u(i) = e^{-j\frac{2\pi ui(i+1)}{L_{RA}}}, i = 0, 1, \dots, L_{RA} - 1.$$

В качестве объекта исследования была выбрана программная реализация канала Physical Random Access Channel (PRACH) сделанная компанией Software Radio Systems (SRS) в решении srsRAN. Данное решение позволяет организовать полноценную сеть на основе стандарта LTE или NR.

Для моделирования сигнала использовался пакет Matlab с применением дополнения LTE Toolbox. Использование инструментария Lte Toolbox значительно упрощает построение сигнала канала случайного доступа и требует лишь указания параметров канала PRACH

В рамках исследования были построены полные наборы преамбул длины 839 элементов для всех 839 логических корней для всех циклических сдвигов. Все построенные наборы преамбул были сохранены в бинарном виде для дальнейшего декодирования в канале PRACH srsRAN.

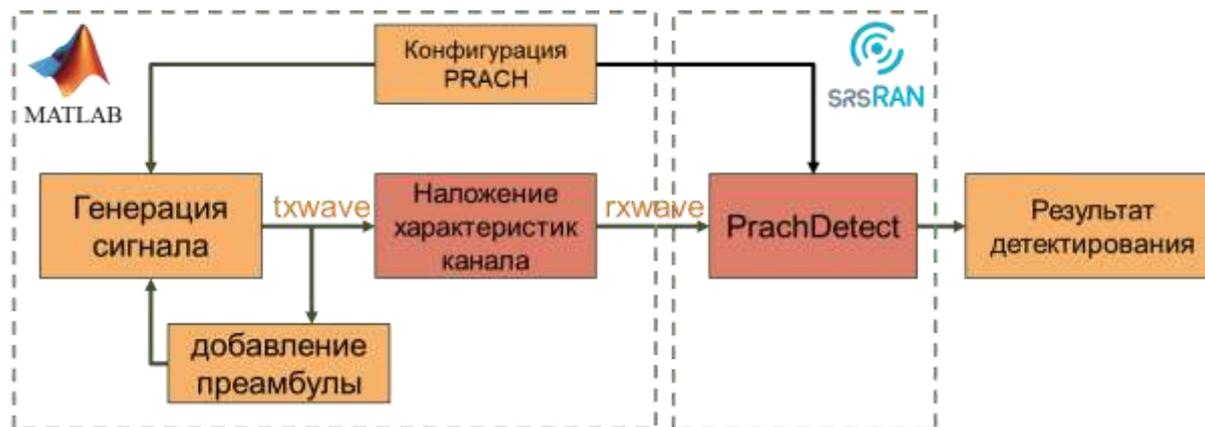


Рис. 1. Схема генерации сигнала и детектирование преамбул

Схема моделирования сигнала представлена на рис. 1. На стороне Матлаб использовался LTE Toolbox в котором последовательно генерировался набор преамбул, сгенерированные преамбулы суммировались и на набор суммированных преамбул накладывались характеристики радиоканала. В качестве результата генерации сохранялись как «чистые» наборы преамбул, так и преамбулы, подвергнутые воздействию радиоканала. Эксперимент проводился для набора из 64 и 48 одновременно передаваемых преамбул. Ниже приводится листинг кода Matlab для генерации одной из преамбул (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Пример кода для генерации символа PRACH с одной преамбулой

```
ue.DuplexMode = 'FDD';
ue.NULRB = 6;
chs.Format = 0;
chs.HighSpeed = 0;
chs.CyclicShiftIdx = 5;
chs.FreqOffset = 0;
chs.SeqIdx = 4;
chs.PreambleIdx = [ 0 ];

[prachSym,prachInfo] = ltePRACH(ue,chs);
```

Результат работы Matlab был представлен наборами бинарных файлов, содержащих цифровое представление сгенерированного сигнала. Для взаимодействия с сгенерированными наборами бинарных данных были дополнены инструментальные функции srsRAN осуществляющие чтение бинарных данных из указанного файла.

Принцип детектирования преамбулы основывается на вычислении корреляции между принятым сигналом и одним из ожидаемых сигналов. В случае с lte/5g вычисляется корреляция принятого сигнала с одной из 64 возможных преамбул как описано в [2]. В случае успешного детектирования, в результате вычисления корреляции с одной из заранее известных последовательностей определяется пиковое значение сигнала. На основании величины пикового значения принимается решение о приеме или не-отсутствии приема преамбулы. Для этого пиковое значение сравнивается с заданным изначально пороговым значением. Если пиковое значение выше заданного порога, то преамбула считается принятой. По расположению пикового значения делается оценка удаленности МС от БС.

Результат исследования приведен рис. 2 и 3. Первый график показывает успешность детектирования в случае передачи 64 преамбул.

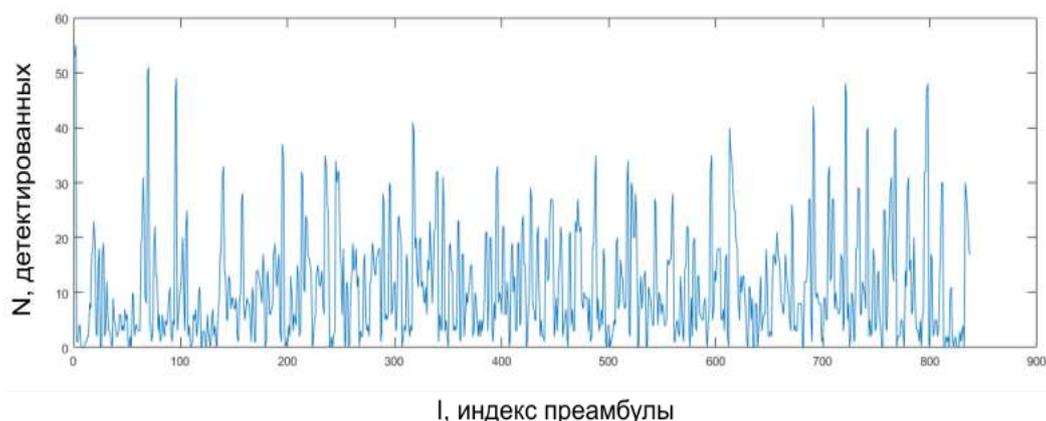


Рис. 2. Результат детектирования преамбул в случае передачи 64 преамбул

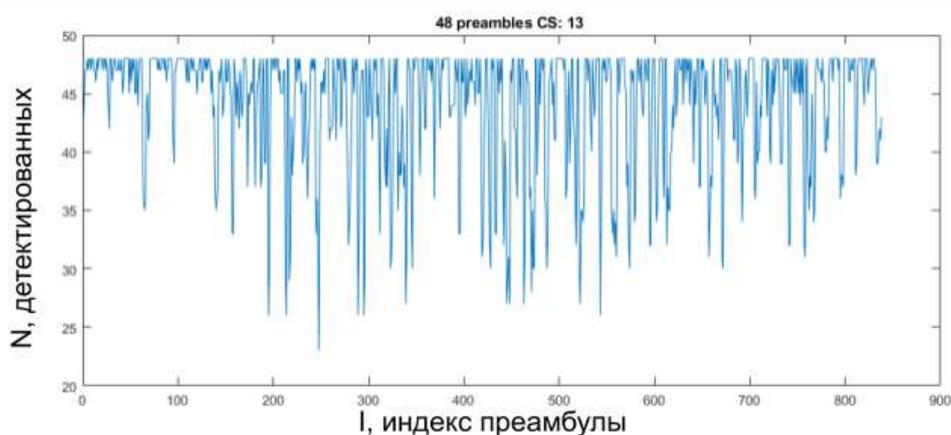


Рис. 3. Результат детектирования преамбул в случае передачи 48 преамбул

График на рис. 2 приведен для случая передачи 48 преамбул. На графике однозначно видна неравномерность детектирования в зависимости от логических корней, использованных для построения преамбулы.

В таблице 2. Приведены 20 корней преамбул с максимальной и минимальной возможностями детектирования.

ТАБЛИЦА 2. Результаты наилучших и наихудших детектирований

Логические индексы с наилучшими показателями детектирования		Логические индексы с наихудшими показателями детектирования			
логический индекс корня	количество детектированных преамбул	логические индексы с 0 детектированных преамбул			
1	53	7	179	501	755
2	55	8	198	527	756
69	50	9	223	528	769
70	51	10	239	535	776
95	46	25	240	536	792
96	49	26	242	576	800
317	41	36	254	592	813
613	40	52	257	612	814
691	44	54	267	630	818
721	48	110	307	635	822
722	46	119	350	636	825
742	40	120	407	639	826
768	40	124	423	681	827
797	47	128	462	682	832
798	48	134	498	725	

Совершенно определенно можно сказать, что для разных реализаций детектора канала PRACH результат детектирования будет отличаться. Изначально в экспериментах кроме БС srsRAN использовался пример детектора преамбул из Matlab Lte Toolbox, но ввиду очевидной примитивности представленного детектора, в ходе исследования от сравнения результатов решено было отказаться. Так как такое сравнение было бы не объективным в силу указанной выше простоты реализации.

Однако, несмотря на то что результат детектирования будет отличаться в зависимости от реализации декодера, добиться равномерности детектирования все равно не представляется возможным в силу различности корреляционных свойств ZC-последовательностей, лежащих в основе сигнала в канале PRACH как показано в [3]. А значит в дальнейшем можно будет

выделить наиболее и наименее успешно детектируемые наборы преамбул и на основе этих результатов повысить эффективность работы канала случайного доступа.

Список используемых источников

1. Бабанов И. А., Андреев Р. А. Технологии доступа к сети 5G NR // Экономика и качество систем связи. 2019. № 4. С. 45–53.
2. 3GPP TS 38.211 V16.3.0 NR; Physical channels and modulation. 2020. 128 p.
3. A. Laya, L. Alonso en J. Alonso-Zarate, “Efficient Contention Resolution in Highly Dense LTE Networks for Machine Type Communications” // In GLOBECOM, 2015.

УДК 504.056

ГРНТИ 87.19.02

ЭКОСИСТЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Н. Н. Бабин

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

Экосистема Балтийского моря неустойчива, поскольку нет видов, которые могли бы заменить пострадавшие и исчезнувшие. Формы жизни на дне Балтийского моря изучаются в течение почти 100 лет. Изучено воздействие на флору избытка питательных веществ, (особенно прибрежного водорослевого пояса), избытка удобрений с сельскохозяйственных полей и выхлопных газов от производства электроэнергии, и движения автомобилей. Улучшение ситуации возможно с помощью урегулирования проблемы обильного улова и защитой окружающей среды.

экосистемы, продуктивность фауны, загрязняющие вещества, фильтрующая способность.

Когда речь идет об экологических проблемах, морской жизни зачастую не уделяется должного внимания. Но вода является главной жертвой загрязняющих веществ, поэтому экологические последствия для жизни в воде заметны уже на ранней стадии загрязнения [1].

Балтийское море очень чувствительно к загрязнителям, его экосистемы неустойчивы, поскольку нет видов, которые могли бы заменить пострадавшие и исчезнувшие. Улучшить ситуацию можно регулированием вылова морской фауны и защитой окружающей среды [2].

Наиболее богатые системы Балтийского моря – прибрежные экосистемы. Твердое дно вблизи побережья наиболее богато видами, в то время как сообщества неглубокого мягкого дна имеют меньше видов. Самой бедной биологической средой являются открытые водные системы, хотя они

охватывают большие территории. Мелководная прибрежная зона отличается высокой продуктивностью. Со стоком с суши питательные вещества доступны для первичной продукции фитопланктона, водорослей и морских трав, здесь свет редко выступает в роли ограничивающего фактора. Это дает большое количество пищи для мидий и рыб, обитающих на этих мелководных участках. Мелководные прибрежные районы также являются важными местами размножения и разведения многих видов рыб [2, 3].

Немаловажный фактор – тип дна. Поскольку морские водоросли получают питательные вещества из воды, дно просто предлагает им место для прикрепления. Твердые грунты являются наиболее подходящими субстратами для зеленых, коричневых и красных водорослей, в то время как гольфы и фанерогамы населяют донные отложения (песок, глина и ил) в защищенных местах. Неглубокие днища, подверженные сильным волновым воздействиям или проточной воде, представляют собой эрозионные и транспортные днища. Из-за волновой активности на открытых участках песчаное дно часто полностью лишено растительности. Более глубокие и мягкие днища функционируют как дно накопления. Они часто содержат загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы, и могут быть обеднены кислородом из-за большого количества накопленного органического материала. Оба фактора представляют угрозу для животных, живущих в этих средах. С другой стороны, в неглубоких донных отложениях укоренившиеся водные растения способны поглощать тяжелые металлы и переносить их к своим побегам, тем самым делая их доступными для пищевой цепи [4].

Распространение растений на морском дне зависит от нескольких факторов окружающей среды. Вертикальное распределение связано с условиями освещения. Придонная растительность достигает 18...25 м в собственно Балтийском море, около 30 м в районе моря Бельта, до 10 м в Ботническом заливе [1, 5].

Типичная зональность обычно наблюдается на скалистых берегах с преобладанием зеленых водорослей у поверхности, за ними следуют коричневые водоросли, а на самых глубинах – красные водоросли. На еще большей глубине, где свет ограничивает рост водорослей, встречаются различные сообщества животных.

В самой верхней зоне на ближайшем к берегу твердом грунте в течение года происходит типичная смена видов. Смена начинается весной, когда исчезает ледяной покров, с обильного цветения диатомовых водорослей, покрывающих голые скалы вокруг линии воды. Позже диатомовые водоросли заменяются нитчатыми бурными водорослями *Pilayella littoralis*. Летом зону покрывают зеленые водоросли *Cladophora glomerata*, а осенью и зимой – красные нитчатые водоросли *Ceramium tenuicorne*. Погода влияет на развитие сообщества нитчатых водорослей летом. Климат Балтийского моря характеризуется чередованием континентальных и океанических условий

в разные годы. Эти погодные условия, например, низкий или высокий уровень воды, совпадающий с холодной зимой, влияют на структуру и состав сообщества нитчатых водорослей вдоль побережья [2, 4].

Водоросли являются основными производителями в этой экосистеме. Среди потребителей преобладают личинки насекомых, пресноводные улитки и мелкая рыба в северных частях Балтийского моря. Южнее преобладают мелкие ракообразные, например, гаммариды и изоподы, любимая летняя еда мелких рыбок. Летом в зоне нитчатых водорослей также размножаются разные улитки. Большая часть продукции из этой зоны, включая водоросли и многих мелких животных, вырывается и уносится в защищенные бухты или откладывается на дне моря.

На каменистом дне с глубины, где ограничение света препятствует росту водорослей, полностью доминирует голубая мидия. Пояс мидий обычно начинается на глубине нескольких метров и может достигать 30 метров. Некоторые виды красных водорослей все еще могут расти в сине-зеленом свете в верхней части этой зоны. Глубже встречаются только некоторые виды беспозвоночных, например, полихеты. Голубая мидия питается микроскопическими частицами органического вещества, падающими на дно, путем фильтрации воды. Их фильтрующая способность очень высока. Теоретически общее количество мидий в пределах 160 квадратных километров в районе Аско на севере Балтийского моря может фильтровать всю вышележащую водную массу (средняя глубина около 20 м) один раз в два с половиной месяца. Летом фильтрующая способность еще выше. Таким образом, твердые частицы потребляются, метаболически обрабатываются и выводятся неорганические соли.

Голубые мидии в верхней зоне являются пищей для хищных птиц, например, гаги могут нырять на глубину до 10 метров. На больших глубинах мидии служат основным кормом камбалы. Основные хищники синих мидий в Каттегате хрупкая звезда *Asterias rubens* и краб *Carcinus maenas* не смогли приспособиться к низкой солености в самом Балтийском море, что объясняет, почему голубые мидии успешно справляются с жизнью в Балтийском море (рис.) [1, 3].

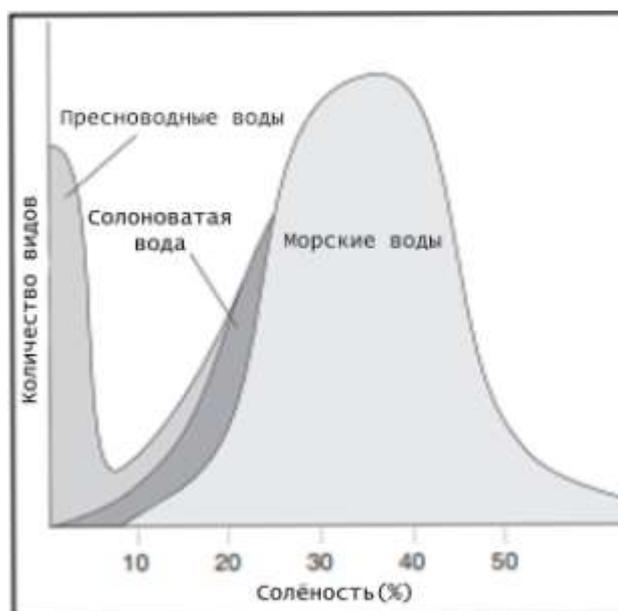


Рисунок. Видовое разнообразие и соленость

Таким образом, голубые мидии играют важную роль в переработке питательных веществ, как показали исследования метаболизма сообществ с пластиковыми корпусами в собственно Балтийском море. Питательных веществ, азота и фосфора, выделяемых мидиями на определенной территории, достаточно, чтобы удовлетворить потребности в производстве макроводорослей. Голубые мидии всего Балтийского моря выделяют в трофическую зону примерно 80 000 тонн неорганического фосфора, 100 000 тонн органического и 250 000 тонн неорганического азота в год. Эти цифры примерно такие же, как и общий объем поступления этих веществ в Балтийское море с суши. Однако вклад биогенных веществ в голубые мидии – это рециркуляция, в то время как вклад суши – это новое добавление питательных веществ в экосистемы.

Влияние пресной воды очевидно в охраняемых мелководных бухтах на побережье. Органический осадок здесь часто покрыт тростниковыми поясами и затопленной растительностью, состоящей из цветковых растений, смешанных с морскими бурыми водорослями. Морской угорь растет в этих бухтах на песчаных грунтах, богатых органическими веществами, но никогда не достигает такой же плотности и продуктивности, как в полностью морских водах. На фауну мелководных заливов сильно влияют пресноводные виды. Личинки насекомых стрекоз и поденок часто встречаются вместе с пресноводными видами рыб, например, лещами, щуками и окунями. На мелководном мягком дне от пролива до южной части Ботнического залива преобладают одни и те же виды животных: корюшка, обыкновенный бычок и песчаный бычок, а также грязевые улитки, тряпичные черви и ракообразные.

Производительность в этой области высока, поскольку система работает как на солнечной энергии, так и на твердых органических веществах, переносимых с суши. Весной наблюдается всплеск продуктивности, когда вода нагревается и микрофлора цветет, стимулируя вторичную продукцию. В это время года здесь нерестится много рыбы, поскольку потенциальная пища для личинок изобилует. Фактически, личинки рыб потребляют большую часть продукции. Неглубокое мягкое дно функционирует как ловушка для питательных веществ, и большая часть питательных веществ хранится в виде биомассы растений [4].

Архипелаги в северной части Балтийского моря, Аланское море и Архипелаговое море – все это мелководные районы, где, суша постепенно поднимается из моря в виде тысяч островов, образуя огромный лабиринт с множеством заливов. Поднятие суши в некоторых случаях может привести к обособлению водоемов с мягким дном. Они постепенно становятся достаточно мелкими, чтобы позволить расти водным растениям, и теряют контакт с морем. Эта изоляция показывает отличительную топографическую и ботаническую последовательность, где можно наблюдать четыре различных

фазы. Ювенильная стадия формируется, когда первые водные растения заселяют наиболее защищенные части водоема, окруженного суши и неглубокими порогами. Эти растения каждый год вносят свой вклад в поднятие почвы, создавая богатые питательными веществами отложения. Этот процесс приводит к образованию так называемого лощины, мелкой котловины, полностью окруженной суши, с выходом к морю одного или нескольких узких отверстий. Количество видов достигает наибольшей численности в начале этой стадии. Следующий этап имеет связь с морем только тогда, когда уровень море становится высоким. Конкуренция и неблагоприятные условия окружающей среды на этом этапе сокращают количество видов до одной пары, в основном это фанерогам *Najas marina* и каменистая *Chora tomentosa*. Окончательное исключение произойдет на стадии, где уменьшение солености приведет к новой последовательности пресноводных растений, если только местность не зарастет болотной или наземной растительностью.

Факторы окружающей среды действуют параллельно с конкуренцией и влияют на смену видов и биомасс растений. Лощины нагреваются быстрее, чем воды архипелага за пределами лова, что делает их излюбленным местом кормления молодых рыб. Однако более важным аспектом для динамики питательных веществ является концентрация кислорода, которая в значительной степени контролирует поток растворенных питательных веществ из отложений. Азот и фосфор высвобождаются из отложений в анаэробных условиях на поверхности отложений из-за химического восстановления и активности бактерий. Низкий уровень кислорода и анаэробные условия учащаются по мере продолжения изоляции. Весной микроводоросли используют эти питательные вещества, особенно на стадии глобализации.

Переход от ювенильной стадии к специфическому явлению солоноватой воды завершается через несколько сотен лет, что с геологической точки зрения очень короткое время. Общая площадь пастбищ на архипелаге невелика, но они являются важными местами кормления для многих организмов и местами отдыха для перелетных водоплавающих птиц весной. Указанные мелководные районы, богатые растительностью, очень динамичны, и видовой состав может сильно меняться в разные годы из-за воздействия маловодья, замерзания и высыхания.

Список используемых источников

1. Дуринк Д., Сков Х., Дженсен Ф. П., Пил С. Важные морские районы Балтийского моря для зимних птиц: отчет Норвежского полярного института. Копенгаген: Датское орнитологическое общество. 110 с.
2. Янке К. Биологические взаимодействия и их роль в структуре сообществ в скалистой приливной зоне Гельгоlanda (Немецкая бухта, Северное море) // Морские съемки Гельгоlanda. 1990. № 44. С. 219–263.

3. Дроздов В. В. Принципы оценки устойчивости экосистем Балтийского, Белого, Черного и Азовского морей к климатическим изменениям // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 19. С. 127–139.
4. Кииррикки М. Экспериментальные доказательства того, что *floating eggs vesiculosus (Phaeophyta)* контролирует нитчатые водоросли посредством хлыстового эффекта // Европейский журнал психологии. 1996. № 31. С. 61–66.
5. Руц О. Биогеомониторинг токсичных хлорорганических соединений в экосистеме Балтийского моря // Экологическая химия. 1998. № 7. С. 55–64.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.45.29

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 5G MATLAB

О. С. Барышев, Г. А. Фокин

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

В рамках данной работы рассмотрены функциональные возможности Matlab в области моделирования систем NR. Рассмотрены сценарии использования 5G NR и сфера применения 5G Toolbox. Представлены уровни протоколов плоскости пользователя 5G NR для пользовательского оборудования и узла сети радиодоступа NR. Рассмотрены физические, транспортные и логические каналы на линии вверх и вниз, затронутые в 5G Toolbox. 5G Toolbox предоставляет стандартные функции и справочные примеры для моделирования, симуляции и проверки систем связи 5G New Radio.

5G Toolbox, Matlab, eMBB, mMTC, URRLC, QoS Flows.

Стремительное развитие прикладных пакетов моделирование в целом и специального программного обеспечения Matlab вместе с пакетом расширения 5G Toolbox [1] в частности обусловлено актуальностью исследований и разработок в области сверхплотных сетей радиодоступа пятого и последующих поколений [2, 3, 4], включая вопросы управления лучом [5, 6] и новые сценарии позиционирования устройств диапазона миллиметровых волн [7–11]. С точки зрения радиointерфейса востребованность пакета расширения 5G Toolbox [1] обусловлена все большим распространением подхода модельно-ориентированного проектирования с использованием программно-конфигурируемого радио [12–20].

New Radio (NR) – это радиointерфейс, поддерживающий мобильную связь пятого поколения. 5G NR продолжает путь LTE, обеспечивая гораздо более высокие скорости передачи данных и гораздо более высокую эффективность для мобильной широкополосной связи. Широкий спектр использования 5G NR классифицируется по трем основным сценариям.

Усовершенствованная мобильная широкополосная связь (eMBB) – этот сценарий является наиболее важным сценарием использования, который касается связи, ориентированной на человека. Варианты использования eMBB имеют различные проблемы. Например, для «горячих точек» требуются более высокие скорости передачи данных, более высокая плотность пользователей и потребность в большой емкости. Широкая зона покрытия подчеркивает мобильность и удобство работы пользователей с более низкими требованиями к скорости передачи данных и плотности пользователей.

Связь массового машинного типа (mMTC) – этот сценарий касается машинно-ориентированных вариантов использования, характеризующихся большим количеством подключенных устройств. Обычно требования к скорости передачи данных в приложениях mMTC невысоки. Сценарии использования mMTC требуют высокой плотности подключения на месте, низкой стоимости и длительного срока службы батареи.

Сверхнадежная связь с малой задержкой (URLLC) – этот сценарий охватывает как связь людей, так и связь критически важного машинного типа, требующую малой задержки, надежности и высокой доступности. Типичные варианты использования URLLC включают трехмерные игры, беспилотные автомобили, критически важные приложения, удаленную медицинскую хирургию и беспроводное управление промышленным оборудованием.

Эта классификация основана на предполагаемых сценариях использования и определяет ключевые возможности 5G. На основе этих возможностей интерфейс 5G NR разработан таким образом, чтобы адаптироваться к непредвиденным случаям использования, которые со временем будут развиваться и появляться.

5G Toolbox предоставляет возможность реализации для спецификации физического уровня 5G NR и спецификаций модели канала. На рис. 1 показан объем 5G Toolbox с точки зрения спецификаций и возможностей их подключения.

5G Toolbox предоставляет стандартные функции и справочные примеры для моделирования, симуляции и проверки систем связи 5G New Radio (NR). Набор инструментов поддерживает моделирование на уровне каналов, тестирование

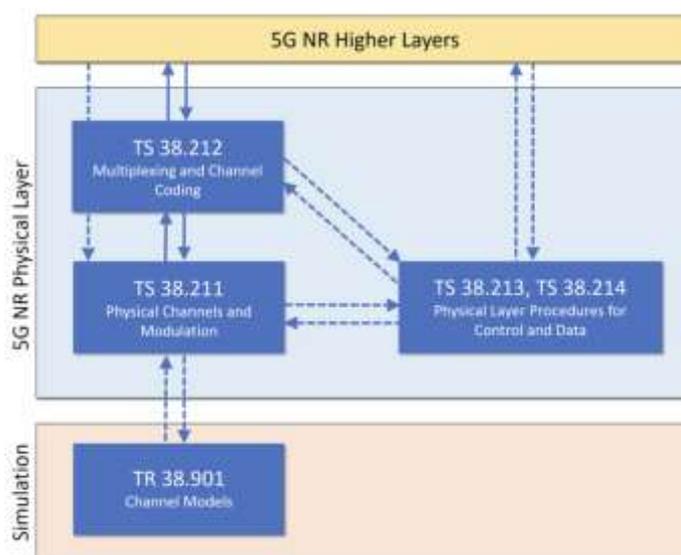


Рис. 1. 5G Toolbox с точки зрения спецификаций

на уровне каналов, тестирование

на соответствие и генерацию тестовых сигналов. 5G Toolbox содержит функции и справочные примеры, которые помогут охарактеризовать спецификации основной полосы восходящего и нисходящего каналов и смоделировать влияние радиочастотных схем и источников помех на производительность системы. Используя 5G Toolbox можно генерировать сигналы и настраивать испытательные стенды программно или интерактивно с помощью приложения Wireless Waveform Generator. С помощью этих сигналов можно убедиться, что разрабатываемые проекты, прототипы и реализации соответствуют 3GPP 5G NR.

Сеть 5G NR состоит из следующих протокольных объектов:

- а) протокол адаптации служебных данных (SDAP – *Service data adaptation protocol*);
- б) протокол конвергенции пакетных данных (PDCP – *Packet data convergence protocol*);
- в) управление радиоканалом (RLC – *Radio link control*);
- г) контроль доступа к среде передачи (MAC – *Medium access control*);
- д) физический уровень (PHY – *Physical layer*).

Протокол SDAP является новым в 5G NR по сравнению со стеком протоколов LTE. SDAP обрабатывает новую структуру QoS системы 5G (в ядре 5G). SDAP применяется также к LTE при подключении к ядру 5G. Внедрение SDAP обеспечивает сквозную структуру QoS, которая работает в обоих направлениях. Чтобы реализовать ключевые возможности 5G NR, другие уровни стека предоставляют различные улучшения по сравнению со своими аналогами LTE. Протоколы PDCP, RLC и MAC обрабатывают такие задачи, как сжатие заголовков, шифрование, сегментация и конкатенация, а также мультиплексирование и демупльтиплексирование. PHY обрабатывает кодирование и декодирование, модуляцию и демодуляцию, а также преобразование антенн.

На рис. 2 показан стек протоколов плоскости пользователя 5G NR для пользовательского оборудования (UE) и узла сети радиодоступа NR (gNB).

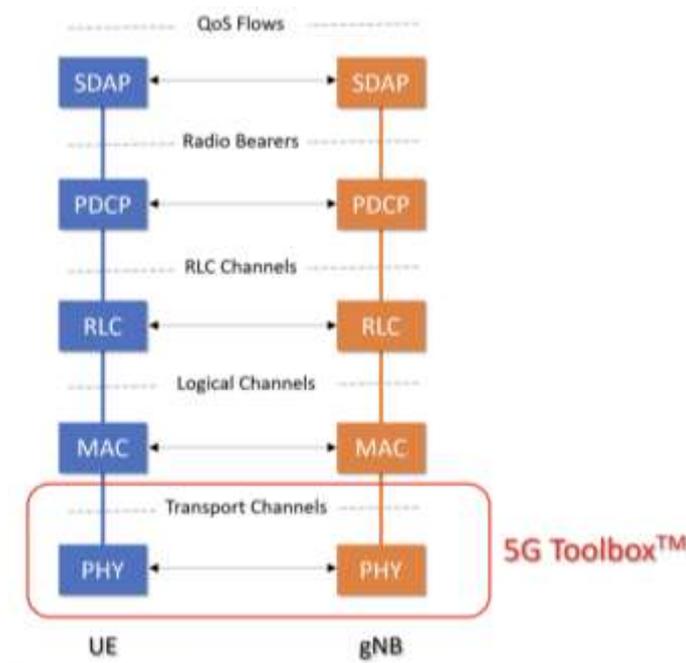


Рис. 2. Стек протоколов плоскости пользователя 5G NR для оборудования UE и gNB

5G Toolbox поддерживает физический уровень 5G NR, включая физические каналы и сигналы. Набор инструментов также поддерживает взаимодействие с частями уровней RLC и MAC, включая транспортные и логические каналы.

Данные нисходящей линии связи 5G NR соответствуют отображению между логическими, транспортными и физическими каналами, как показано на рис. 3. 5G Toolbox предоставляет выделенные красным функции нисходящего канала для физических, транспортных каналов и управляющей информации.

Данные восходящей линии связи 5G NR соответствуют отображению между логическими, транспортными и физическими каналами, как показано на рис. 4. 5G Toolbox предоставляет выделенные красным цветом функции восходящего канала для физических, транспортных каналов и управляющей информации.

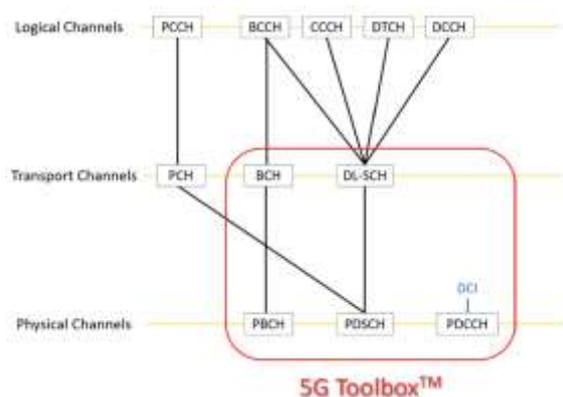


Рис. 3. Функции 5G Toolbox в DL для физических, транспортных каналов и управляющей информации

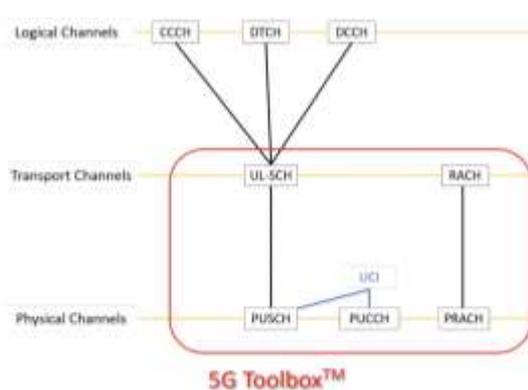


Рис. 4. Функции 5G Toolbox в Uplink для физических, транспортных каналов и управляющей информации

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. 5G Toolbox. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/products/5g.html> (дата обращения 14.02.2022).
2. Фокин Г. А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Т-Сотт-Телекоммуникации и Транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
3. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66–73.
4. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66–73.
5. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125,

07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.

6. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

7. Фокин Г. А. Процедуры позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2021. № 11. С. 2–8.

8. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.

9. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.

10. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб. : СПбГУТ. 2020. 558 с.

11. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М. : Горячая Линия – Телеком. 2021. 456 с.

12. Фокин Г. А., Лаврухин В. А., Волгушев Д. Б., Киреев А. В. Модельно-ориентированное проектирование на основе SDR // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 2 (60). С. 94–99.

13. Фокин Г. А., Буланов Д. В., Волгушев Д. Б. Модельно-ориентированное проектирование систем радиосвязи на основе ПКР // Вестник связи. 2015. № 6. С. 26–30.

14. Волгушев Д. Б., Киреев А. В., Фокин Г. А. Модельно-ориентированный синтез систем радиосвязи на основе программно-конфигурируемого радио // 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. 50–53.

15. Лаврухин В. А., Фокин Г. А. Разработка LPD-приемопередатчика с поддержкой ММО на основе программно-конфигурируемого радио в приложении к управлению роботом // Extreme Robotics. 2016. Т. 1. № 1. С. 119–128.

16. Фокин Г. А., Лаврухин В. А., Волгушев Д. Б., Киреев А. В. Практическая реализация приемопередатчика ОФМ-2 на SDR платформе Ettus B210 в среде GNU // Информационные технологии моделирования и управления. 2016. Т. 99. № 3. С. 178–187.

17. Борисов Е. Г., Машков Г. М., Фокин Г. А. Экспериментальный стенд оценки точности позиционирования на основе программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 3-х т. СПб. : СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 120–125.

18. Фокин Г. А. Современные тенденции в области программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2017. Т. 1. С. 271–276.

19. Фокин Г. А. Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио: обзор современных тенденций в области создания комплекса подготовки специалистов // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 78–94.

20. Фокин Г. А. Технологии программно-конфигурируемого радио. М. : Горячая Линия – Телеком, 2019. 316 с.

УДК 654.072.2
ГРНТИ 47.43.25

МЕТОД ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ КОМПЛЕКСА РАДИОКОНТРОЛЯ В ОВЧ-СВЧ ДИАПАЗОНЕ

П. В. Башлаков¹, П. И. Кузин², Д. А. Стариков¹, В. В. Луканин³

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил республики Ангола

³Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний России

В данной статье представлен метод проактивного управления параметрами комплексами радиоконтроля в ОВЧ – СВЧ диапазонах, который состоит в построении математической модели на основе системного анализа и синтезе алгоритма управления с прогнозированием.

радиоконтроль, радиолинии ОВЧ – СВЧ диапазона, прогнозная модель, комплексы радиоконтроля.

Суть решения задачи моделирования метода проактивного управления параметрами комплексами радиоконтроля (КРК) в ОВЧ – СВЧ диапазоне состоит в построении математической модели на основе системного анализа и синтезе алгоритма управления (АУ) для получения желаемых характеристик протекания процесса или целей управления. Состояние КРК характеризуется некоторыми количественными величинами результативности, изменяющимися во времени, то есть переменными состояниями. Процесс управления можно разделить на несколько этапов [1, 2]:

- сбор и обработка информации;
- анализ, систематизация, синтез;
- выбор метода управления;
- внедрение выбранного метода управления;
- оценка эффективности выбранного метода управления.

Эффективным подходом к анализу и синтезу систем управления с ограничениями, получившим широкое признание и применение в практике управления сложными технологическими процессами, является метод управления с прогнозирующей моделью (управление с прогнозированием, управление со скользящим горизонтом) [3, 4]. Применение этого подхода позволяет достаточно просто учитывать явные ограничения на переменные

состояния и управления. При этом получается стратегия управления с обратной связью, но удается избежать «проклятия размерности», которое препятствует синтезу управлений с обратной связью при ограничениях.

Большинство подобных систем управления допускают возможность оптимизации, базирующейся на накопленной статистике управления и реализуемой в виде программно-алгоритмической надстройки над КРК. Данный факт в совокупности с возможностью получения существенного экономического или иного эффекта послужил стимулом к разработке идеологии улучшенного (или прогрессивного) управления Advanced Process Control (APC) [5, 6]. При этом различные реализации прогнозного управления технологий могут формироваться на основе различных методологических платформ. Самое широкое применение получила система на основе управления с прогнозной моделью Model Predictive Control (MPC), способной иметь дело с интерактивными параметрами процессов, моделировать сложные динамические характеристики, удерживать процесс в заданных пределах, надежно реагировать на нарушения в процессе и неполадки и т. п.

Прогнозная модель является улучшением классического управления с отрицательной обратной связью, в котором учитывается предсказание поведения объекта управления на различные типы входных воздействий. Обратная связь в таких системах управления используется для корректировки неточностей, связанных с внешними помехами и неточностью математической модели объекта управления. Регулятор вводится в эмпирическую модель процесса для того, чтобы предсказать дальнейшее его поведение, основываясь на предыдущих значениях переменных состояния.

Управление на основе прогнозной модели, созданной в последние годы и значительно развилось. Термин управление на основе прогнозирующей модели не определяет конкретную стратегию управления, но дает очень вполне достаточный диапазон методов управления, которые делают явное использование модели процесса, чтобы получить управляющий сигнал, минимизируя заданную функцию потерь. Эти методы конструирования приводят к линейному управлению, которые имеют практически ту же самую структуру и представляют соответствующие степени свободы. Идеи, появляющиеся в большей или меньшей степени в области всей прогностической группы управления, в основном:

- явное использование модели, чтобы предсказать прохождения процесса в будущие моменты времени (горизонт);

- определение последовательности процессов управления, минимизирующей значения заданной функции потерь;

- реализованная стратегия, так, чтобы в каждый момент горизонт был перемещен в будущее, которая включает применение первого управляющего сигнала последовательности, вычисленной в каждом шаге.

Достоинством MPC - подхода, определяющим его успешное использование в практике построения и эксплуатации систем управления, служит относительная простота базовой схемы формирования обратной связи, сочетающаяся с высокими адаптивными свойствами. Последнее обстоятельство позволяет управлять многомерными и многосвязными объектами со сложной структурой, включающей нелинейности, оптимизировать процессы в режиме реального времени в рамках ограничений на управляющие и управляемые переменные, учитывать неопределенности в задании объектов и возмущений. Кроме того, возможен учет временного запаздывания, учет изменений критериев качества в ходе процесса и отказов датчиков системы измерения. Различные алгоритмы MPC (также названный управление с прогнозом дальнего действия – *Long Range Predictive Control*) только отличаются по модели, используемой, чтобы учитывать особенности процессов, помехи и функцию цены, которая будет минимизирована. Этот тип управления имеет открытую природу.

КРК представляется объектом, как система со своим устройством и механизмом функционирования, а также внешне воспринимаемым поведением. Связь с реальностью осуществляется с помощью цепочки гипотез, идеализаций и упрощений. С помощью математических методов описывается идеальный объект, построенный на этапе содержательного моделирования. Математическое моделирование – это опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель), находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом, способная замечать его в определенных отношениях и дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте. При моделировании должно учитываться, что КРК содержит посты и реализует алгоритмы адаптации к стохастическим условиям.

Выделяются два основных класса задач, связанных с математическими моделями: прямые и обратные. Прямая задача: структура модели и все её параметры считаются известными, главная задача – провести исследование модели для извлечения полезного знания об объекте. Обратная задача: известно множество возможных моделей, надо выбрать конкретную модель на основании дополнительных данных об объекте. Чаще всего структура модели известна, и необходимо определить некоторые неизвестные параметры. Дополнительная информация может состоять в дополнительных эмпирических данных, или в требованиях к объекту (задача проектирования).

Особенности развития информационных систем, объединяющих постов комплекса, требуют реализации стратегии инновационного развития, базирующейся на использовании лучшего опыта и применения соответству-

ющих систем знаний, накопленных в них. Задача синтеза КРК рассматривается, как процесс соединения или объединения разрозненных понятий в целом или в наборе. В подавляющем большинстве работ алгоритмы адаптации были введены в рассмотрение эвристически, они не отражают конечной цели адаптивного управления, при исследовании эффективности отсутствует единый подход, что не позволяет производить анализ эффективности радиоконтроля с учетом реальных факторов, таких как неточность оценивания состояния каналов взаимодействия, инерционность в исполнении команд управления и ошибки, возникающие при передаче блоков данных протоколов. Поэтому целесообразно формализовать процесс функционирования системы адекватной математической моделью, отражающей наиболее характерные черты системы управления. В качестве одной из возможных моделей можно использовать представление КРК, как системы с переменной структурой, поведение которой на случайных интервалах времени характеризуется различными структурами и описывается вероятностными законами. При этом переход одной структуры в другую происходит в случайный момент времени в зависимости от значения фазовых координат системы. Задача анализа систем с переменной структурой, как правило, решается на основе теории марковских случайных процессов и, в частности, уравнения Фоккера – Планка – Колмогорова.

Формализуем КРК, как совокупность постов, который в каждый момент времени может находиться в одном из N возможных состояний, и устройства управления (УУ), которое переводит управляющий элемент из одного состояния в другое для достижения заданного качества функционирования. Работа УУ описывается булевым вектором управления $\bar{u}_N(t) = \{u_k(t)\}_{k=1}^N$, компоненты которого при нахождении КРК в момент времени t в k -м состоянии имеют вид $\bar{u}_k(t) = 1, \{u_i(t)\}_{i=1, i \neq k}^N = 0$. В моменты t' переключения КРК из одного состояния в другое, вектор изменяется таким образом, что выполняется условие:

$$(\bar{u}_N(t-0), \bar{u}_N(t+0)) = 0. \quad (1)$$

Достаточно общей математической моделью такой системы является управляемый случайный процесс, описывающий рабочее состояние ОУ, который определяется выражением:

$$\eta(t) = \left(\bar{\xi}_N(t), \bar{u}_N(t) \right). \quad (2)$$

Обычно для анализа систем, формализуемых регенерирующими случайными процессами, используют метод имитационного моделирования, при котором в машинном масштабе времени воспроизводится динамика функционирования элементов системы, а в результате моделирования

формируется траектория случайного процесса, описывающего рабочее состояние органа управления радиоконтроля. Для статистической оценки показателей эффективности разработаны методы определения точности полученных оценок при конечном числе сформированных циклов регенерации. Однако результаты, полученные таким путем, имеют частный характер и при изменении количества состояний системы N или вида функции моделирование следует проводить заново. Тогда выражение для показателя эффективности можно представить в виде:

$$\bar{\rho} = \int_{\xi_{\text{доп}}}^{\infty} v(y)A(y)dy / \int_{\xi_{\text{доп}}}^{\infty} \bar{\omega}(y)\bar{\tau}(y)dy. \quad (3)$$

Таким образом, задача определения значения $\bar{\rho}$ сведется к численному интегрированию числителя и знаменателя выражения (3). Предложенный метод управления параметрами КРК в ОВЧ – СВЧ диапазоне является двух-этапным: на первом этапе методом статистического моделирования определяются зависимости, на втором путем численного интегрирования – значения числителя и знаменателя (3). В более общем виде задача определения показателей результативности радиоконтроля осуществляется методом имитационного моделирования. При этом показатели результативности радиоконтроля определяются, как среднее значение соответствующих функционалов по ансамблю реализаций.

Список используемых источников

1. Липатников В. А., Кузин П. И. Метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 18–22.
2. Кузнецов И. А., Липатников В. А., Шевченко А. А. Способ многофакторного управления безопасностью информационно-телекоммуникационной сети системы менеджмента качества предприятий интегрированных структур // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 6. С. 23–28.
3. Костарев С. В., Липатников В. А. Анализ состояния и динамики качества объектов автоматизированной системы менеджмента предприятия интегрированной структуры // Информационные системы и технологии. 2015. № 3 (89). С. 52–64.
4. Липатников В. А., Кузин П. И. Способ адаптивного измерения параметров источников радиоизлучения в СВЧ диапазоне // Метрология в радиоэлектронике. Тезисы докладов научно-технической конференции. ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений». 2016. С. 146–156.
5. Липатников В. А., Кузин П. И., Рабин А. В. Передачи сигналов в каналах связи с замираниями Накагами // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 71–78.
6. Кузин П. И., Панкин А. А. Выявление несанкционированных воздействий в сетях спутниковой связи // Телекоммуникации. 2015. Вып. 10. С. 18–21.

УДК 62.5
ГРНТИ 49.45.01

РАЗВИТИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ЦИФРОВОМУ ПРЕОБРАЗОВАНИЮ КОМПОНЕНТНЫХ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕВИДЕНИИ

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

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

Понятие компонентных сигналов появилось вместе с цветным телевидением, эти сигналы образуют основу электрической передачи изображения - как аналоговым, так и цифровым способом. Изучение работы с такими сигналами с помощью аналогового лабораторного оборудования не позволяет реализовать всё разнообразие возможных приёмов обработки телевизионного изображения.

В статье описано моделирование основных методов обработки сигналов изображения для их передачи по современному каналу вещательного телевидения, а также показаны результаты работы разработанного алгоритма в среде MATLAB. Содержатся сведения об опыте изучения работы с компонентными сигналами на практических занятиях.

компонентные сигналы, цветоделенные изображения, цветоразностные сигналы.

Опыт преподавания основ телевидения, накопленный в последние годы, а также уровень технической грамотности и профильной подготовки современных студентов, показали острую необходимость в значительном повышении степени популярности изложения материала, а также в привлечении простых и наглядных средств для демонстрации изучаемых явлений. Примером таких средств является лабораторный практикум по преобразованию компонентных сигналов в телевидении, который создается авторами на кафедре телевидения и метрологии и о возможностях которого идет речь в настоящей работе.

Компонентными сигналами принято называть основные сигналы, передающие цветные изображения [1, 2]. Они выполняют основную функцию в процессе передачи визуальной информации и изучаются в курсе телевидения. К таким сигналам относятся сигнал яркости, сигналы цветоделенных изображений и цветоразностные сигналы.

Лабораторная база кафедры обладает достаточно широкими возможностями для наблюдения и изучения свойств телевизионных сигналов. Имеется целый ряд лабораторных работ – например, процесс формирования

и обработки компонентных сигналов исследуется и моделируется в лабораторной работе № 7 в курсе аналогового телевидения [3], а также в ряде других работ. Тем не менее, инструменты для исследования и, следовательно, изучения передачи изображения ограничиваются возможностями аппаратной реализации лабораторной работы. Студент не может, например, посмотреть, как выглядит на экране отдельно каждый из цветоразностных сигналов, как скажется на изображении появление какого-либо вида искажений сигнала или изменение характеристик канала передачи, проверить, за счет чего можно с минимальным ущербом сократить информацию в изображении, и т. д. Для изучения основ работы с телевизионными сигналами необходимо понимание процессов на физическом уровне, нужны более широкие возможности для экспериментов и проведения анализа типа «что если», который используется в других распространенных программных продуктах, например, в Microsoft Excel.

Для более глубокого изучения, т. е. для демонстрации и моделирования преобразований телевизионных сигналов в разрабатываемом лабораторном практикуме используется среда MATLAB [4]. Этот язык изучался студентами практически любого профиля обучения на младших курсах. Текст программы получается простым, наглядным и позволяет при изучении материала, а также при выполнении практических заданий или лабораторных работ, вносить изменения в выполняемый алгоритм обработки и тут же наблюдать результат изменений на полученном изображении.

Разработанный лабораторный практикум представляет собой реализованный в среде MATLAB алгоритм передачи цветного изображения, используемый в аналоговых и цифровых системах телевидения. Объектом исследования и имитации передачи является цветное изображение, например, таблицы УЭИТ, заданное в виде графического файла и позволяющее подвергать его различным преобразованиям благодаря интерактивному характеру работы.

В процессе работы с практикумом выполняются следующие операции:

- обработка исходного полноцветного изображения с целью выделения трех изображений, соответствующих стандартным цветоделенным составляющим,
- формирование из полученных изображений черно-белого полутонового изображения, соответствующего сигналу яркости,
- формирование изображений, условно соответствующих цветоразностным сигналам, передаваемым на приемную сторону телевизионной системы по стандартной схеме передачи,
- приведение изображений, условно соответствующих цветоразностным сигналам, к униполярному виду, т. е. адаптация их для наблюдения на экране монитора,

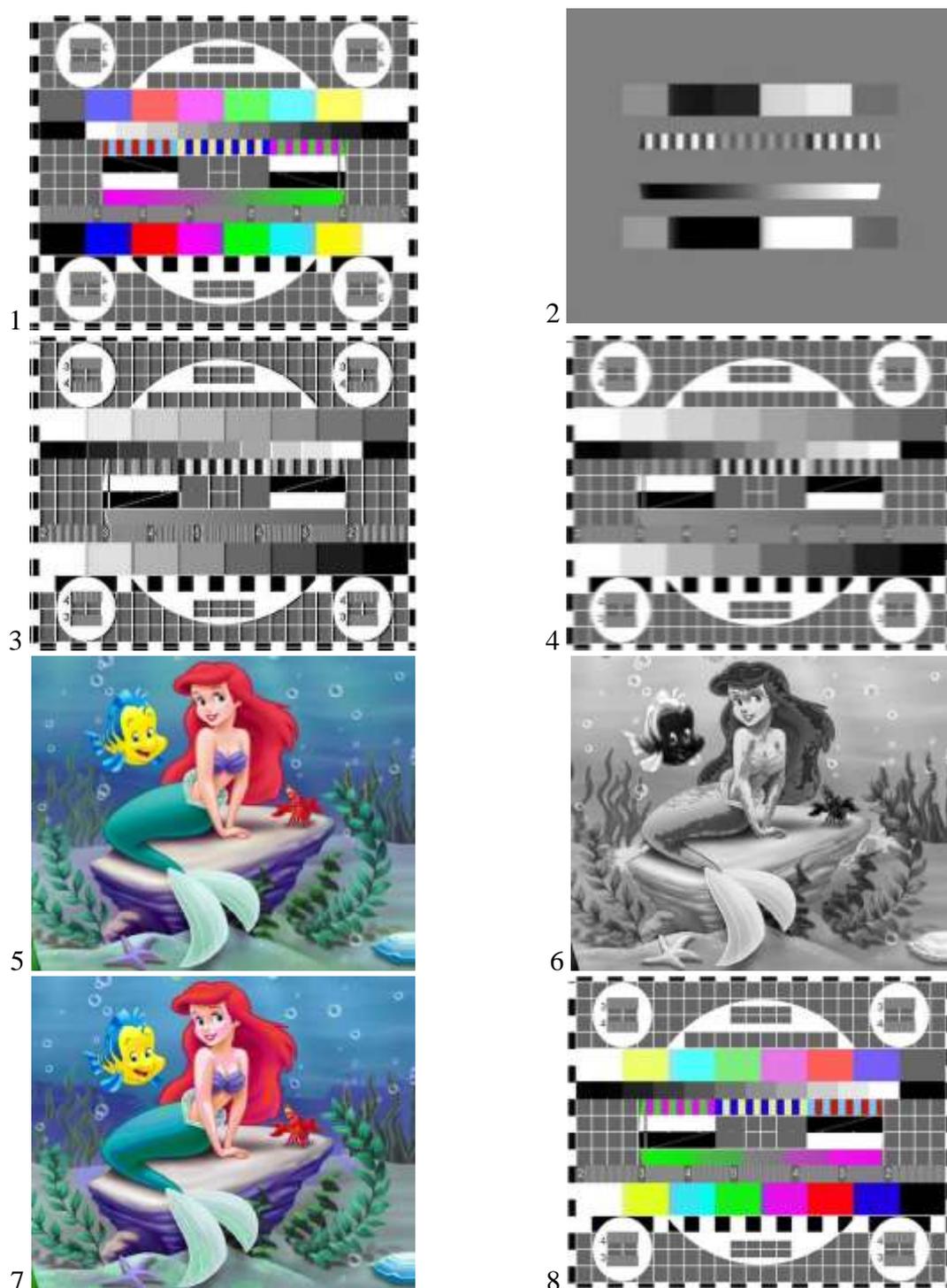


Рис. 1. Примеры изображений, наблюдаемых в процессе работы с практикумом:
1 – исходное изображение УЭИТ; 2 – изображение, соответствующее сигналу $R-Y$;
3 – изображение в канале яркости с подъемом верхних частот; 4 – изображение в канале яркости со спадом верхних частот; 5 – изображение для проверки возможности видеокompрессии путем сокращения числа уровней квантования цветоразностных сигналов в процессе передачи; 6 – изображение синей цветоделенной составляющей при квантовании цветоразностных сигналов на 8 уровней;
7 – изображение при квантовании цветоразностных сигналов на 8 уровней;
8 – изображение УЭИТ при квантовании цветоразностных сигналов на 8 уровней

– обработка изображений, соответствующих двум передаваемым цветоразностным сигналам и сигналу яркости, для моделирования процесса видеокомпрессии путем снижения информации в изображениях благодаря изменению условий дискретизации сигналов и квантования, а также путем реализации линейных фильтров верхних и нижних частот для моделирования влияния особенностей канала передачи и других факторов на качество изображения,

– формирование изображения, соответствующего третьему, восстановленному, цветоразностному сигналу, полученному из двух цветоразностных сигналов, переданных на приемную сторону,

– формирование изображений, соответствующих восстановленным на приемной стороне сигналам цветоделенных изображений, сигналу яркости, а также сигналу восстановленного цветного изображения.

Интерактивный характер работы с практикумом позволяет наблюдать результат выполненных действий на экране монитора, при необходимости записать полученное изображение в файл с целью последующего изучения и количественной оценки искажений соответствующими средствами.

На рис. 1 (см. выше) показаны примеры изображений, наблюдаемых в процессе работы с практикумом.

Еще одним примером моделирования процесса обработки компонентных сигналов в телевидении с помощью разрабатываемого лабораторного практикума является возможность адаптации характеристик сигнала с широким динамическим диапазоном (HDR – *High Dynamic Range*) к возможностям стандартных воспроизводящих устройств. Такая адаптация применяется, например, в современных смартфонах при фотосъемке в режиме HDR, а также в прикладном телевидении в тех случаях, когда сигнал от камеры, имеющий разрядность, например, 12 бит, необходимо воспроизвести на устройстве отображения со стандартным динамическим диапазоном (8 бит). В системах прикладного телевидения для визуализации информации, содержащейся в четырех младших разрядах сигнала изображения, используют прием, известный под названием «контрастная лупа» [5], а также выделяют на экране нужную информацию, например, цветом. Результат моделирования такого приема показан на рис. 2. В качестве исходного было сформировано изображение с разрядностью 12 бит, содержащее одинаковые строки с незаметным на глаз линейным увеличением яркости, созданным изменениями в разрядах с восьмого по двенадцатый. От точки 1 до точки 2 изменения происходят только в разрядах 9–12, и на этом участке включается режим «контрастной лупы». Младшие разряды (9–12) на этом участке визуализируются, будучи преобразованными в более заметные (например, в разряды 2–5), и соответствующая часть изображения выделяется условным цветом (рис. 2 в нижней части). Очевидно,

что этот прием работает только в прикладном телевидении и годится только для черно-белых полутоновых изображений.

В вещательном телевидении при изучении технологии HDR, например, по технологии HLG (*Hybrid Log-Gamma*) аналогично можно моделировать влияние характеристики передачи телевизионного тракта (гамма-характеристики) на качество изображения.

Как показал опыт практических занятий, моделирование основных преобразований ТВ сигналов в сочетании с последующей визуализацией результата является эффективным инструментом изучения работы с сигналом изображения, причем как для аналогового телевидения, так и для цифрового.

Новые и интересные решения, которые постоянно появляются в современной телевизионной технике, требуют изучения в лабораторных условиях. Поэтому развитие лабораторного практикума по преобразованию сигналов в телевидении происходит постоянно, и это расширяет демонстрационные возможности лабораторий кафедры.

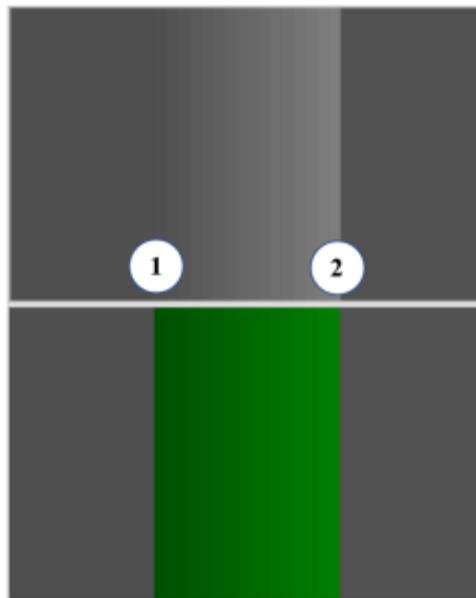


Рис. 2. Пример условной визуализации изображения с увеличенным динамическим диапазоном

Список используемых источников

1. Воробьев С. П., Давыдов А. Е., Ефимов В. В., Курносков В. И. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Том 1: Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии / Под ред. С. П. Воробьева, изд. 2-е, перераб. и доп. СПб. : Научное издание, 2019. 739 с.
2. Джакония В. Е. и др., Телевидение : учебник для вузов. 4 изд. М., 2007, 616 с.
3. Беляева Н. Н., Бучатский А. Н., Гоголь А. А., Друзин Я. В., Дуклау В. В., Ерганжиев Н. А., Ермаков А. В., Коганер С. Э., Мишненков И. Б., Мухин И. А., Смаглиенко Т. Г., Украинский О. В., Федоров С. Л., Черный В. Я., Черная А. В. Телевидение: лабораторный практикум / Под ред. проф. А. А. Гоголя. СПб. : Линк, 2009.
4. Солонина А. И., Клионский Д. М., Меркучева Т. В., Перов С. Н. Цифровая обработка сигналов и MATLAB : учебное пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 512 с.
5. Дмитриев А. Я. Разработка и исследование способов оптимальной реализации функциональных узлов информационного телевизионного канала связи : дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.13 / Дмитриев Алексей Яковлевич. Новосибирск. 2000. 281 с.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

ОЦЕНКА НЕСОВЕРШЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ КАНАЛА В СИСТЕМАХ MASSIVE MIMO

И. А. Бойко

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

Целью данной работы являлось получение оценки корреляционной матрицы при не-точности статической информации в восходящем канале систем MIMO. Рассматривается решение задачи оценки корреляционной матрицы при малом объеме статической выборки наблюдения, когда канальная матрица может стать вырожденной или плохообусловленной. При этом оценка корреляционной матрицы может быть получена с помощью аппроксимации корреляционных матриц пилот-сигналов и канала методом регуляризации. Приведено математическое описание обработки сигналов в модели uplink для систем MIMO, а также моделирование результатов описанного алгоритма в среде MATLAB. На основе результатов моделирования проведён анализ СКО оценки канального вектора от изменения параметров регуляризации алгоритма, объёма выборки и количества элементов антенной решётки БС.

MIMO, оценка несовершенной корреляционной матрицы, корреляционная канальная матрица, итерационные алгоритмы, MATLAB, регуляризация.

Практически каналы пространственно коррелированы [1], таким образом, что элементы канального вектора коррелированы между собой. Корреляционная канальная матрица характеризует пространственные характеристики канала и необходима для оценки канального вектора и последующей демодуляции сигналов методом минимума среднеквадратической ошибки (МСКО). Элементы канального вектора, характеризующие комплексные затухания сигнала от мобильного терминала (МТ) до элементов антенной решётки базовой станции (БС), получают из пилот-сигналов, вычислив сначала корреляционную матрицу пилот-сигналов, а затем и корреляционную канальную матрицу.

Обычно в литературе предполагается, что корреляционная канальная матрица точно известна, что, однако это не всегда имеет место на практике, поскольку характеристики корреляционной канальной матрицы сильно зависят от количества элементов антенной решётки БС и от количества выборки статистики [2]. Элементы матрицы оцениваются с погрешностями вследствие ошибок в канале и конечности объема обучающей выборки [3].

При использовании временного разделения каналов (TDD) восходящая (UL) и нисходящая (DL) линии связи работают в разных временных

слотах, но в одной и той же полосе частот. На базовой станции (БС) строение прекодера DL зависит от оценки канала, которая была получена в предыдущем слоте UL. В TDD, обычно предполагается взаимность каналов [4]. В условиях massive MIMO TDD имеет большую производительность по сравнению с частотным разделением каналов (FDD), поскольку FDD имеет удовлетворительную производительность лишь в условиях прямой видимости и при высоких значениях райсовского коэффициента ν .

Рассмотрим канал UL с L сотами, каждая из которых включает в себя БС с M антеннами и K одноантенных МТ. Статистику канала, достаточную для точной оценки корреляционной матрицы, можно представить в виде блока статистики с временем наблюдения $T_s = 0,5$ с и шириной полосы пропускания на частоте 2 ГГц $B_s = 10$ МГц. Блок статистики состоит из множества когерентных блоков, в пределах которого характеристики канала остаются постоянными, длительностью $T_c = 1$ мс, $B_c = 200$ кГц. Таким образом, общее число когерентных блоков в блоке статистики равно:

$$\tau_s = \frac{B_s T_s}{B_c T_c} = \frac{B_s T_s}{\tau_c} = \frac{10^6 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}} = 2500.$$

При таком большом числе когерентных блоков вычисление идеального канального вектора требует много времени. Можно оценить канальный вектор с меньшим числом выборки, однако при этом корреляционная матрица будет плохообусловленной, что требует проведение процедуры регуляризации [3].

Будем полагать, что БС и МТ идеально синхронизированы и работают в соответствии с протоколом на основе пилот-сигнала. Существуют K ортогональных пилот-сигналов, которые повторно используются во всех сотах. Идеальная оценка канального вектора $\hat{\mathbf{h}}$ методом МСКО выглядит следующим образом [5]:

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{R}\mathbf{Q}^{-1}\mathbf{y},$$

где \mathbf{R} – истинная корреляционная канальная матрица, \mathbf{Q} – истинная корреляционная матрица пилот-сигналов, \mathbf{y} – вектор пилот-сигналов, незагрязнённых пилот-сигналами от других МТ.

Оценка канального вектора с меньшим числом выборки $N_Q < \tau_s$ состоит из нескольких этапов.

1. Вычисление выборочной корреляционной матрицы пилот-сигналов:

$$\hat{\mathbf{Q}}_1^s = \frac{1}{N_Q} \sum_{n=1}^{N_Q} \mathbf{y}(n)\mathbf{y}^H(n).$$

Согласно закону больших чисел эргодических каналов, при $N_Q \rightarrow \infty$ выборочная корреляционная матрица пилот-сигналов стремится к истинной. При малом объёме выборки ошибки во всех элементах матрицы сильно

вливают на её структуру. Для того, чтобы решить эту проблему используется процедура регуляризации.

2. Регуляризация корреляционной матрицы пилот-сигналов, которая представляет собой линейную комбинацию выборочной корреляционной матрицы и её диагонализированной матрицей:

$$\hat{\mathbf{Q}}(\eta) = \eta \hat{\mathbf{Q}}_1^s + (1 - \eta) \hat{\mathbf{Q}}_1^{diag}.$$

Точность определения оценки ковариационной матрицы пилот-сигналов будет зависеть от параметра η .

3. Вычисление выборочной корреляционной канальной матрицы. В данном способе при таком большом числе когерентных блоков предполагается использование вспомогательных пилот-сигналов. Метод заключается в том, что вспомогательные пилот-сигналы излучают все остальные МТ, кроме исследуемой, для которой вычисляется канальный вектор. Таким образом, оценка выборочной корреляционной канальной матрицы представляет собой разницу между корреляционной матрицей основных пилот-сигналов и между корреляционной матрицей вспомогательных пилот-сигналов:

$$\hat{\mathbf{R}}^s = \hat{\mathbf{Q}}_1^s - \hat{\mathbf{Q}}_2^s.$$

4. Регуляризация корреляционной канальной матрицы:

$$\hat{\mathbf{R}}(\mu) = \mu \hat{\mathbf{R}}^s + (1 - \mu) \hat{\mathbf{R}}^{diag}.$$

Точность определения оценки корреляционной матрицы пилот-сигналов будет зависеть от параметра μ .

5. Вычисление оценки канального вектора:

$$\hat{\mathbf{h}} = \hat{\mathbf{Q}}^{-1}(\eta) \hat{\mathbf{R}}(\mu) \mathbf{y}.$$

В качестве модели используется 8-элементная антенная решётка. Результаты моделирования проведены в среде MATLAB.

На рис. 1 представлены семейства зависимостей нормированной среднеквадратической ошибки (СКО) от количества дополнительных пилот-сигналов при различных значениях параметра регуляризации ковариационной матрицы пилот-сигналов η и фиксированных значениях параметра μ . Из графиков на рис. 1 видно, что для обеспечения наименьшей СКО при малом количестве пилот-сигналов необходимо выбирать меньшие значения параметра η .

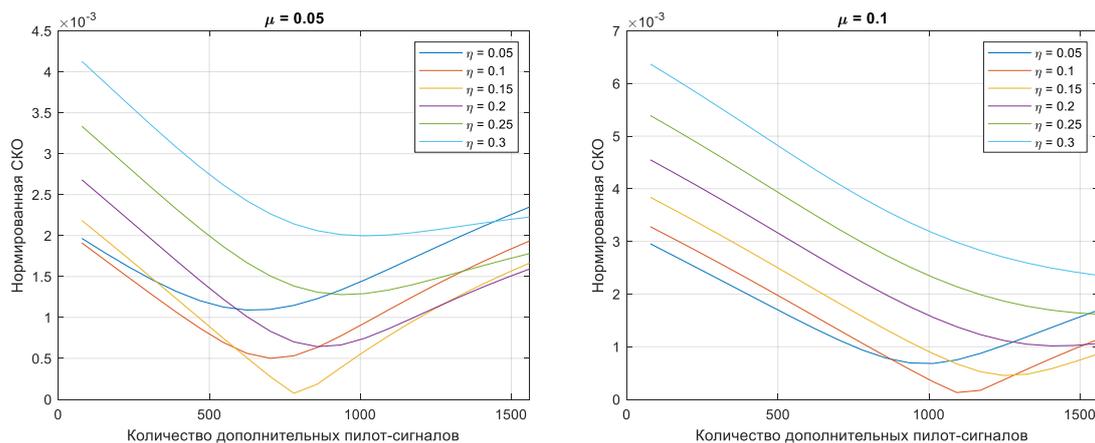


Рис. 1. Зависимости нормированной СКО от количества дополнительных пилот-сигналов при различных значениях параметра η и $\mu = 0,05; 0,1$

На рис. 2–3 представлены семейства зависимостей нормированной среднеквадратической ошибки (СКО) от количества дополнительных пилот-сигналов при различных значениях параметра регуляризации ковариационной канальной матрицы пилот-сигналов μ и фиксированных значениях параметра η . Из графиков на рис. 2–3 видно, что увеличение параметра η приводит к более линейной зависимости СКО от количества дополнительных пилот-сигналов. Также при увеличении параметра η рекомендуется уменьшать значение параметра μ для обеспечения меньшего значения СКО.

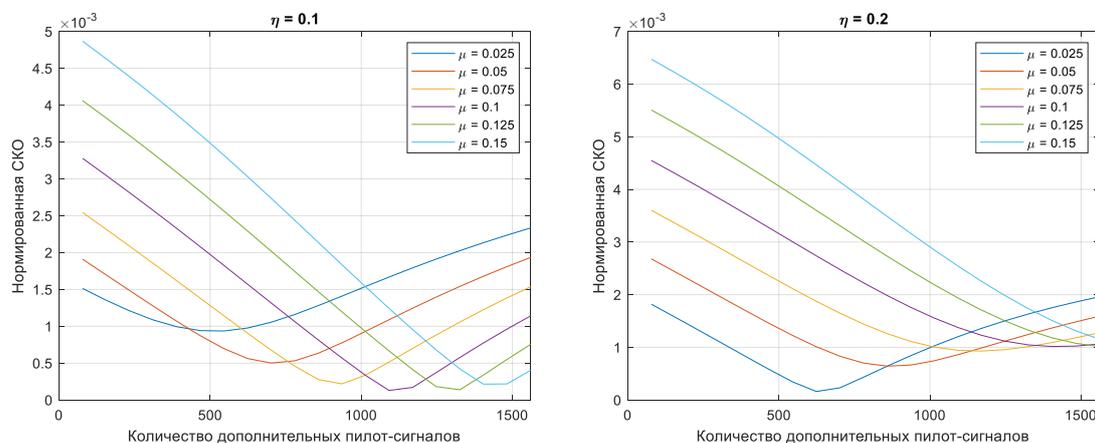


Рис. 2. Зависимости нормированной СКО от количества дополнительных пилот-сигналов при различных значениях параметра μ и $\eta = 0,1; 0,2$

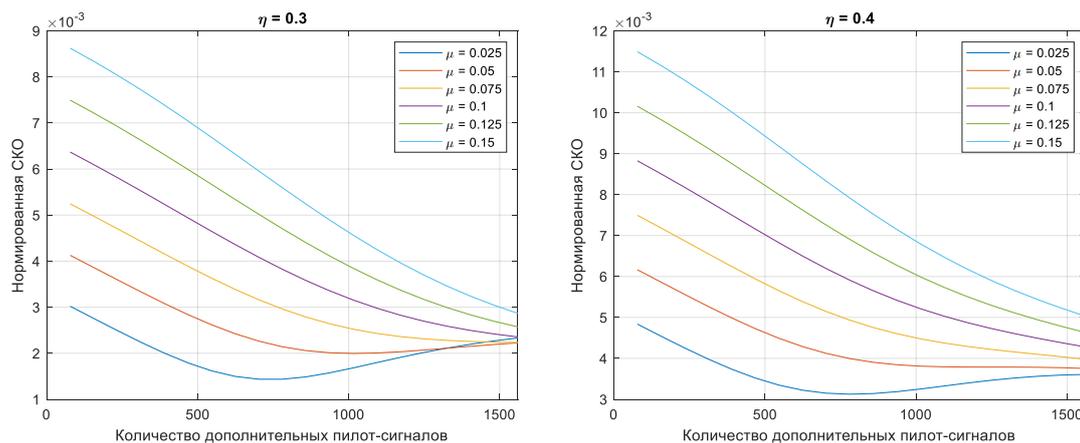


Рис. 3. Зависимости нормированной СКО от количества дополнительных пилот-сигналов при различных значениях параметра μ и $\eta = 0,3; 0,4$

Увеличение параметра регуляризации ковариационной матрицы пилот-сигналов η приводит к более линейной зависимости СКО от количества дополнительных пилот-сигналов. Также при увеличении параметра η рекомендуется уменьшать значение параметра регуляризации ковариационной канальной матрицы μ для обеспечения меньшего значения СКО.

При малом количестве пилот-сигналов необходимо выбирать меньшие значения параметра η .

Список используемых источников

1. Gao X. et al. Massive MIMO performance evaluation based on measured propagation data // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2015. V. 14. No. 7. PP. 3899–3911.
2. Larsson E. G. et al. Massive MIMO for next generation wireless systems // IEEE communications magazine. 2014. V. 52. No. 2. PP. 186–195.
3. Björnson E., Sanguinetti L., Debbah M. Massive MIMO with imperfect channel covariance information // 2016 50th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers // IEEE, 2016. PP. 974–978.
4. Albreem M. A. et al. Overview of precoding techniques for massive MIMO // IEEE Access. 2021. V. 9. PP. 60764–60801.
5. Kay S. M. Fundamentals of statistical signal processing: estimation theory. Prentice-Hall, Inc., 1993.

*Статья представлена научным руководителем,
доктором технических наук, профессором Е. И. Глушанковым.*

УДК 621.396.67.095.13
ГРНТИ 47.45.29

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕНН С КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Г. А. Буняк, В. В. Дмитриева

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

В данной работе рассмотрены основные виды антенн с круговой поляризацией – как правило к таким антеннам относятся спиральные антенны. Проанализированы виды поляризации – линейная, эллиптическая (круговая), а также применение различных видов поляризации в радиотехнике.

Представлены основные свойства и геометрия спиральных антенн. Получены основные характеристики, а именно диаграмма направленности, коэффициент усиления и импеданс.

круговая поляризация, спиральная антенна, печатная антенна.

В электромагнитной волне вектора E и H определены по направлению и величине в течение любого периода времени. Такая электромагнитная волна называется поляризованной [1].

Допустим, волна создается двумя ортогональными источниками (рис. 1). Поле такой волны можно записать через вектор E .

$$\vec{E} = \vec{x}_0 E_{xm} \cos(\omega t - kz + \varphi_1) + \vec{y}_0 E_{ym} \cos(\omega t - kz + \varphi_2).$$

Вектор E будет иметь две составляющие, если волна распространяется вдоль оси z . Такие составляющие это E_x и E_y . Здесь φ_1 и φ_2 – это начальные фазы составляющих вектора E .

Величина $\Delta\varphi$ – это разность фаз между φ_2 и φ_1 . Таким образом, в течение периода колебаний вектор E будет изменять свое направление и свою величину, и его конец будет описывать некоторую фигуру в пространстве. Эта фигура называется годографом вектора E и различают виды поляризации по виду годографа вектора E .

При линейной поляризации разность фаз между составляющими вектора E составляет $n\pi$, где n – это целое число. Для простоты рассмотрим случай, когда n равно нулю. Тангенс угла Θ , который определяет ориентацию вектора E , будет определяться следующим соотношением.

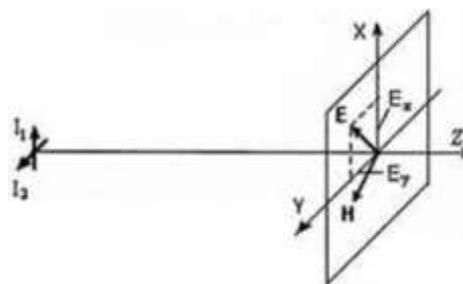


Рис. 1. Электромагнитная волна

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{E_{ym}^0 \cos(\omega t - kz + \varphi)}{E_{xm}^0 \cos(\omega t - kz + \varphi)} = \operatorname{const}.$$

И в том случае, если в начальные фазы составляющих E_x и E_y равны, этот угол Θ будет равен константе. То есть вектор E будет совершать колебательные движения вдоль одной прямой линии, изменяя свою величину со временем.

Следующий вид поляризации — это круговая поляризация. При круговой поляризации амплитуда составляющих вектора, E_x и E_y , равны. Мы обозначим эти амплитуды как E_0 . Разность фаз составляет либо $+\pi/2$, либо $-\pi/2$. Тангенс угла Θ , который определяет ориентацию вектора E , будет соответственно рассчитываться следующим образом.

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{E_y}{E_x} = \operatorname{tg}(\omega t - kz + \varphi).$$

То есть тангенс угла Θ будет равен тангенсу выражения, которое определяется начальной фазой составляющих.

Круговая поляризация широко применяется в системах подвижной и космической связи, так как для приёма сигнала не имеет значения положение приёмной и передающей антенн.

Волны, поляризованные по кругу, можно получить и посредством синфазно питаемых небольшой круглой рамки (кольцевой антенны) с равномерным распределением тока и полуволнового вибратора, размещенного в ее центре, обеспечив при этом определенные соотношения токов в обеих антеннах (рис. 2).

Синфазно питать кольцевую антенну и вибратор с соблюдением требуемых соотношений токов трудно. Модель антенны из вибратора и кольца представляет конструкцию в виде спирали [2].

Например, антенна с круговой поляризацией — однозаходная спиральная антенна (рис. 3 (а)). Конструкция представляет собой излучатель в форме спирали, установленный на металлическом рефлекторе. Диаграмма направленности (ДН) изображена на рис. 3(б), коэффициент усиления (КУ) составил 11,12 дБ.

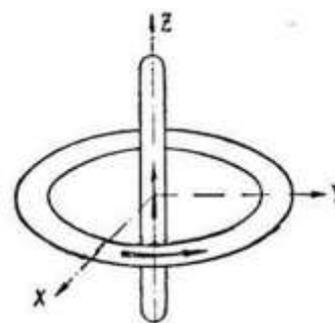


Рис. 2. Комбинация линейного вибратора и кольцевой рамочной антенны

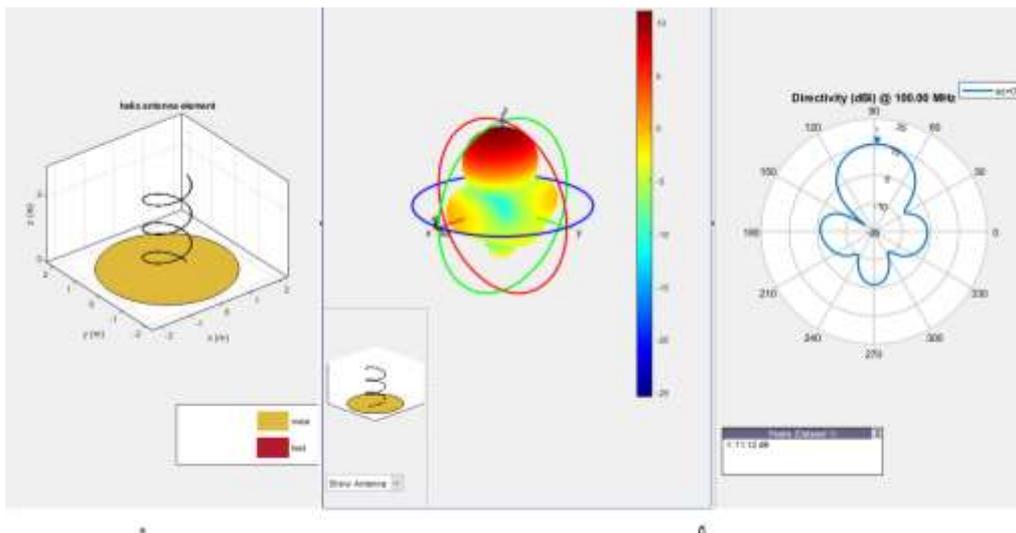


Рис. 3. а) Модель спиральной антенны,
б) диаграмма направленности спиральной антенны

На рис. 4 представлены активное и реактивное сопротивление смоделированной спиральной антенны и коэффициент отражения. Можем убедиться, что на заданной рабочей частоте активное сопротивление составило 80 Ом, а реактивное 20 Ом.

При практическом осуществлении подобных антенн возникают трудности в получении равномерного распределения тока по спирали. Чтобы избежать их, спираль делают многозаходной [3]. Многозаходная спиральная антенна представляет собой несколько спиральных металлических излучателей, имеющих общую ось (рис. 5(а)). ДН такой антенны представлена на рис. 5(б), КУ составил 10,66 дБ.

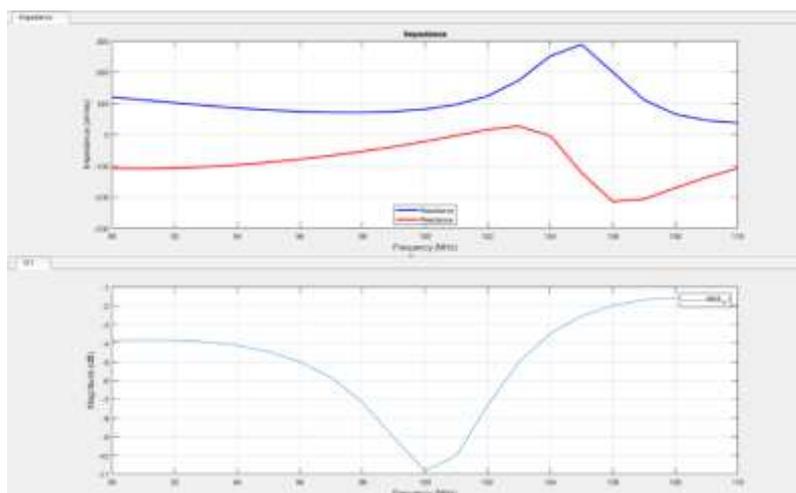


Рис. 4. Импеданс и коэффициент отражения спиральной антенны

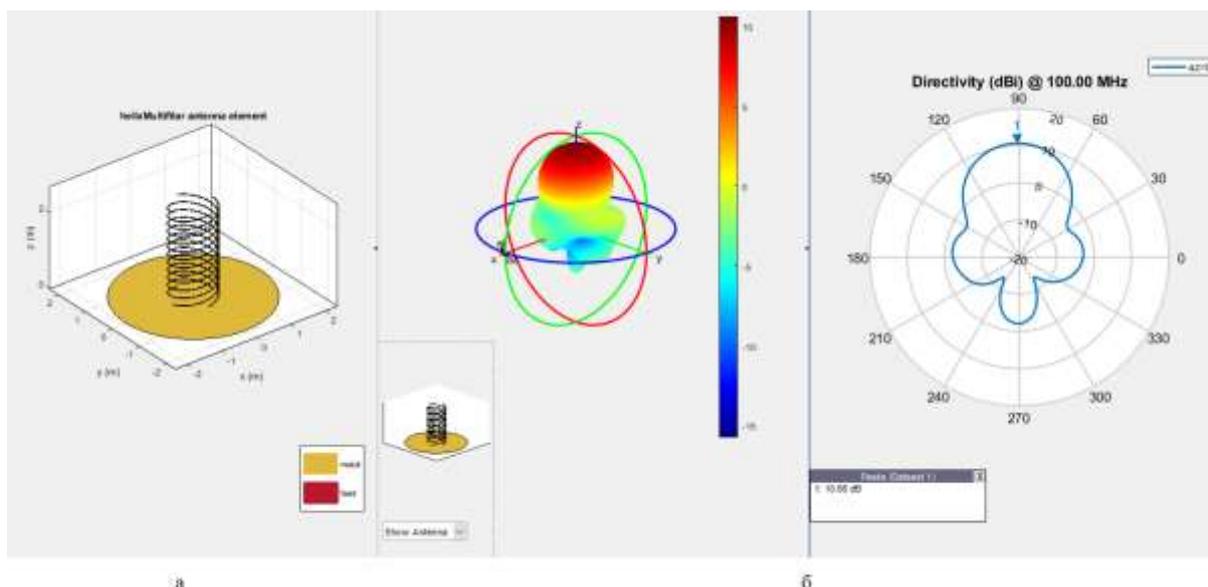


Рис. 5. а) Модель многозаходной спиральной антенны,
б) диаграмма направленности многозаходной спиральной антенны

Подобные спиральные антенны обладают хорошими диапазонными свойствами при изменениях рабочей волны в пределах от $0,75$ до $1,25\lambda$.

Параметры импеданса и коэффициента отражения многозаходной спиральной антенны представлены на рис. 6.

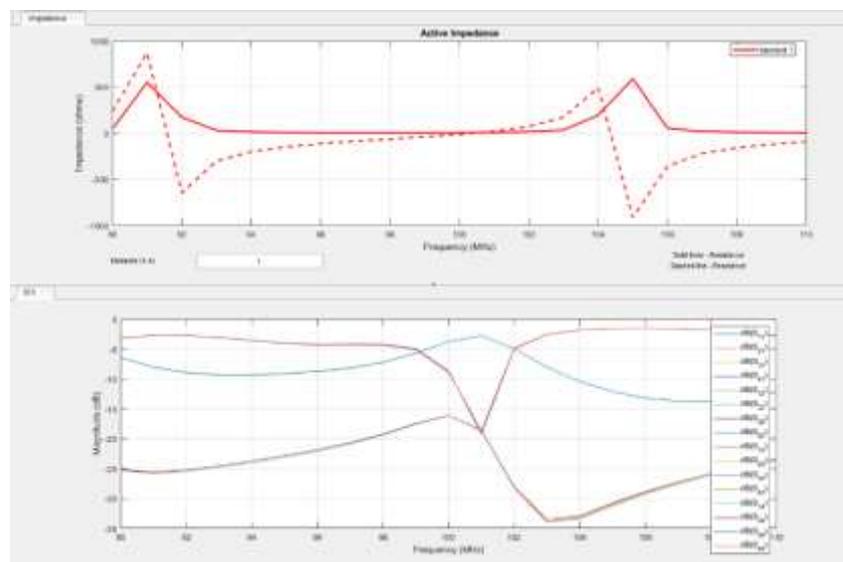


Рис. 6. Импеданс и коэффициент отражения многозаходной спиральной антенны

Конструкция антенной решетки (АР) из спиральных излучателей представляет собой металлический экран с размещенными на нём спиральными излучателями, установленный на поворотном столе и соединенный с ним коаксиальным кабелем с помощью вращающегося сочленения. Одним из преимуществ АР является высокий КУ.

Круговая поляризация может быть не только у спиральных антенн. Печатные антенны (ПА) также возможно реализовать с круговой поляризацией. Поле излучения ПА можно приближенно представить полем магнитных токов, текущих вдоль боковых граней. Для формирования излучения круговой поляризации в ПА колебания необходимо возбудить со сдвигом фаз на 90° . Задача возбуждения основных колебаний решается с помощью специальных схем питания. Элемент возбуждения ПА часто выполняется в виде металлического штыря, расположение которого можно охарактеризовать точкой. Поэтому используются термины одноточечное и многоточечное возбуждение ПА и, соответственно, одноточечные многоточечные схемы питания. На рис. 7 в качестве примера приведено несколько способов одноточечного питания печатной антенны круговой поляризации.

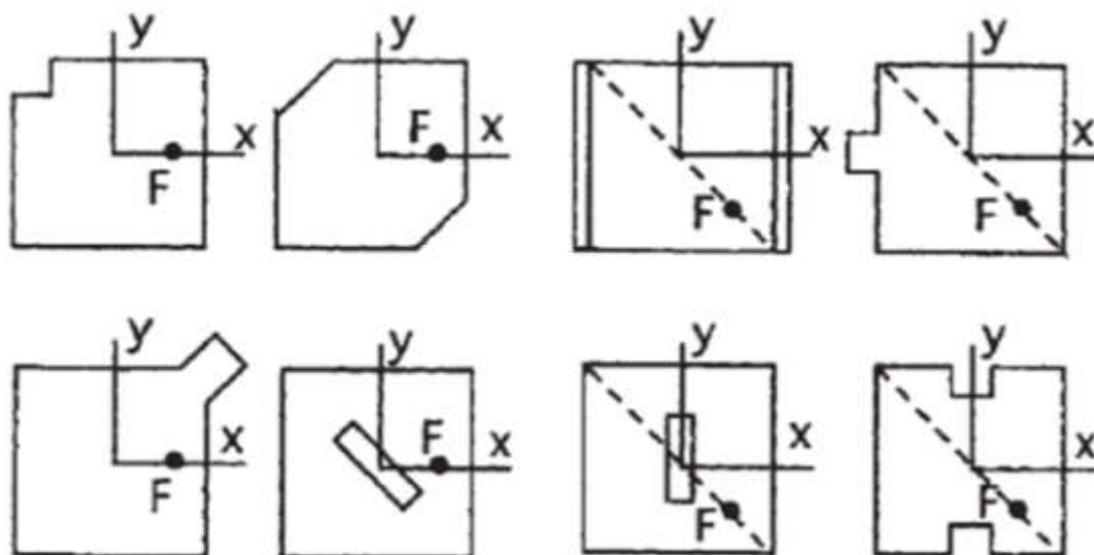


Рис. 7. Некоторые способы одноточечного питания печатных антенн

Список используемых источников

1. Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л., Максимов В. М., Пономарев Л. И. Устройства СВЧ и антенны / под ред. Д. И. Воскресенского; изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Радиотехника, 2006. 376 с.
2. Айзенберг Г. З. Антенны ультракоротких волн. М.: Связьиздат, 1957. 699 с.
3. Ерохин Г. А., Чернышев О. В., Козырев Н. Д., Кочержевский В. Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн; 3-е изд. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 491 с.

УДК 654.072.2
ГРНТИ 47.43.25**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАДИОКОНТРОЛЯ
РАДИОЛИНИЙ В ОВЧ – СВЧ ДИАПАЗОНАХ****А. В. Бухарин¹, П. И. Кузин², С. Ю. Мишина³, Е. Н. Чапурин⁴**¹Главное управление связи Вооруженных Сил Российской Федерации²Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил республики Ангола³Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного⁴Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации

В данной статье представлена энергетическая модель процесса радиоконтроля радиолиний в ОВЧ – СВЧ диапазоне, при функционировании наземных радиолиний, которая позволит в дальнейшем исследовать и выявлять основные зависимости показателей электромагнитной доступности объектов контроля от внутренних и внешних параметров.

радиоконтроль, радиолинии ОВЧ – СВЧ диапазона, радиоэлектронные средства.

Известны модели [1, 2] функционирования процесса радиоконтроля (РК) учитывающие особенности создания, передачи и многоуровневой обработки результата данных контроля, а также решению задач по разработке алгоритмов обеспечения электромагнитной доступности (ЭМД) объектов связи. В данных работах на соответствующем этапе нашли решение различные задачи, стоящие перед РК в КВ и УКВ диапазонах. Однако вопросы исследования зависимости основных показателей процесса РК в радиоканалах ОВЧ – СВЧ диапазонов от внешних и внутренних факторов не решались.

Постановка задачи. Разработать модель процесса РК радиолиний в ОВЧ – СВЧ диапазоне, при функционировании наземных радиолиний. Основным показателем выбрана вероятность ЭМД РК. Значение мощности сигнала на входе комплекса радиоконтроля (КРК) описывается уравнением радиопередачи [1]:

$$P_{\text{пр.сиг.вх.КРК}} = P_{\text{пер.}} + G_{\text{пер.}} + G_{\text{пр.КРК}} - L_{\text{пер.ф.}} - L_{\text{пр.ф.}} - L_{\Sigma}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пр.сиг.вх.КРК}}$ – мощность сигнала на входе приемника КРК, дБ; $P_{\text{пер.}}$ – мощность сигнала с выхода передатчика объекта РК, дБ; $L_{\text{пер.ф.}}$, $L_{\text{пр.ф.}}$ – потери передающего и приемного фидеров, дБ; $G_{\text{пер.}}$, $G_{\text{пр.КРК}}$ – коэффициенты усиления антенн, дБ; L_{Σ} – множитель суммарного ослабления на трассе, дБ.

Все параметры определяются на искомой частоте, в ОВЧ – СВЧ диапазоне от 30 МГц до 30 ГГц. Из выражения (1) видно, что параметром, характеризующим особенности распространения радиоволн по трассе для конкретного диапазона частот, являются потери L_{Σ} . Иными словами, суммарное ослабление является математической моделью радиоканала. Следовательно, для обеспечения задач РК требуется знать суммарные потери в среде для каждого конкретного диапазона волн. В современном математическом аппарате учитывается поглощение радиоволн в атмосфере, осадках, подстилающей поверхности. Так в [3] суммарное ослабление определяется следующим выражением:

$$L_{\Sigma} = \begin{cases} L_0 + A_a - \min(V, 0) & \text{для открытых трасс} \\ L_0 + A_a + L_{\text{дифр}} & \text{для полуоткрытых трасс} \end{cases} \quad (2)$$

где L_0 – потери в свободном пространстве, дБ; A_a – ослабление в атмосферных газах, дБ; V – множитель ослабления поля свободного пространства, дБ; $L_{\text{дифр}}$ – дифракционные потери распространения, дБ.

Потери распространения радиосигнала L_0 , дБ в свободном пространстве на интервале длиной R , км при частоте радиосигнала f (30 МГц – 30 ГГц), ГГц рассчитывают по формуле [4]:

$$L_0 = 92,45 + 20 \lg(f) + 20 \lg(R). \quad (3)$$

Для того чтобы определить множитель ослабления для открытых и полуоткрытых трасс, строится профиль местности и определяется тип радиотрассы [5, 6]. Рассчитывают ослабление в атмосферных газах A_a , дБ, длиной R , км, из графиков или по формуле [6]:

$$A_a = (\gamma_o + \gamma_{H_2O})R, \quad (4)$$

где γ_o – удельное ослабление радиосигнала в кислороде воздуха; γ_{H_2O} – удельное ослабление радиосигнала в водяном паре.

На открытых трассах ослабление радиосигнала может носить интерференционный характер. При наличии на трассе одной точки отражения модуль множителя ослабления V рассчитывают по формуле:

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 - 2\Phi \cos[\pi(p(g))^2 / 3]}, \quad (5)$$

где $p(g)$ – относительный просвет в точке отражения, Φ – модуль коэффициента отражения.

На реальных трассах, проходящих над среднeperесеченной и горной местностями, на которых ослабление не слишком велико, углы дифракции менее 5° , а радиус кривизны каждого препятствия много меньше земного

радиуса, то при таких условиях дифракционные потери $L_{\text{дифр}}$ (относительно свободного пространства) могут быть рассчитаны по формуле [7]:

$$L_{\text{д}} = -6,4 - 20 \lg \left[\sqrt{\left(\frac{2\theta^2}{x} + 1 \right)} + 1,41 \frac{\theta}{\sqrt{x}} \right] - 6,6x^{0,7}y^{1/5} - \begin{cases} 18,3\theta, \text{ для } \theta \geq 0 \\ 11,7x^{0,2}y^{1,5}\theta, \text{ для } \theta \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

где $x = \frac{3 \cdot 10^{-4} d_0}{fd_a d_b}$, $y = 14,9R^{1/3}f^{1/3}$, d_0 – длина трассы, км; d_a и d_b – расстояния

от конечных точек трассы до пересечения касательных к препятствию, км; f – частота, ГГц; θ – угол дифракции, рад.

Таким образом, с учетом всего вышесказанного, можно перейти к определению вероятности ЭМД РК. Вероятность ЭМД источника радиоизлучения (объекта РК) определяется по формуле [7]:

$$P_{\text{ЭМД}} = P(Z \geq Z_{\text{тр}}) = F\left(\frac{Z - Z_{\text{тр}}}{\sigma_Z}\right) = \Phi(U), \quad (7)$$

где $\Phi(U)$ – интегральная функция нормального распределения случайной величин; $Z_{\text{тр}}$ – требуемое отношение мощности сигнала к мощности помехи на входе приемника КРК необходимое для обнаружения передаваемой в линиях радиосвязи информации с заданным качеством, дБ; Z – уровень сигнала на входе КРК, дБ; σ_Z – среднеквадратическое отклонение величины Z от его среднего значения, дБ.

Уровень сигнала на входе приемника КРК определяется по формуле [7]:

$$Z = (P_{\text{сиг.вх.прм.КРК}} - P_{\text{чувств.прм.КРК}}). \quad (8)$$

Далее по заданной вероятности ЭМД КРК определяется мощность сигнала на входе приемника КРК по формуле (7). Очевидно, для обеспечения РК с заданным качеством необходимо, чтобы Z уровень сигнала на входе приемника КРК, должен быть больше $Z_{\text{тр}}$.

Подставляя Z в формулу (8) находим то значение, при котором обеспечивается требуемое отношение сигнала к помехе (шум) на входе КРК для заданной вероятности ЭМД, обусловленной аргументом интеграла вероятности U .

На рис. 1–3 (см. ниже), представлены зависимости вероятности ЭМД РК, на различных частотах, интервалах и профилях местности.

Таким образом, разработанная модель процесса РК радиолоний в ОВЧ – СВЧ диапазоне, позволяет определять значения вероятности ЭМД РК в зависимости от параметров передающих радиоэлектронных средств, особенности условий распространения радиоволн, а также характеристик

имеющихся радиоприемных средств. Модель позволит в дальнейшем исследовать и выявлять основные закономерности зависимости показателей ЭМД РК от внутренних и внешних параметров.

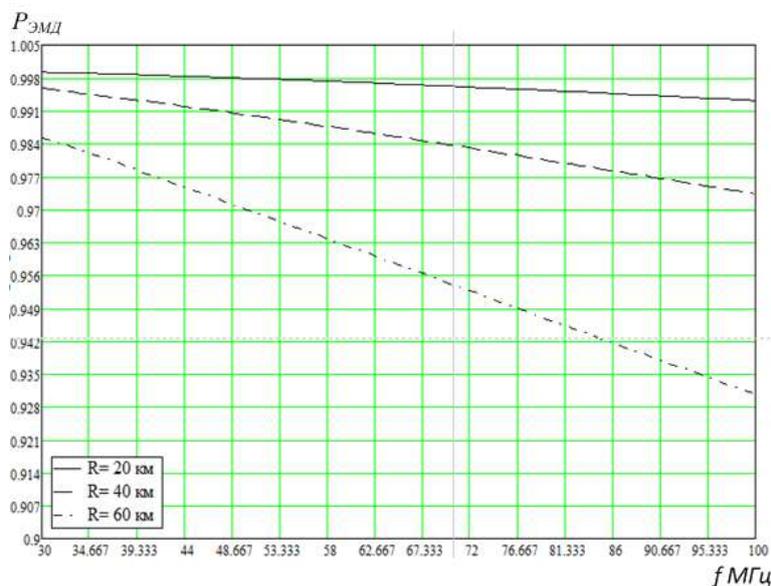


Рис. 1. Зависимость вероятности ЭМД РК радиолинии, построенной при $f = 30 - 100$ МГц и $R = 20$ км, 40 км, 60 км

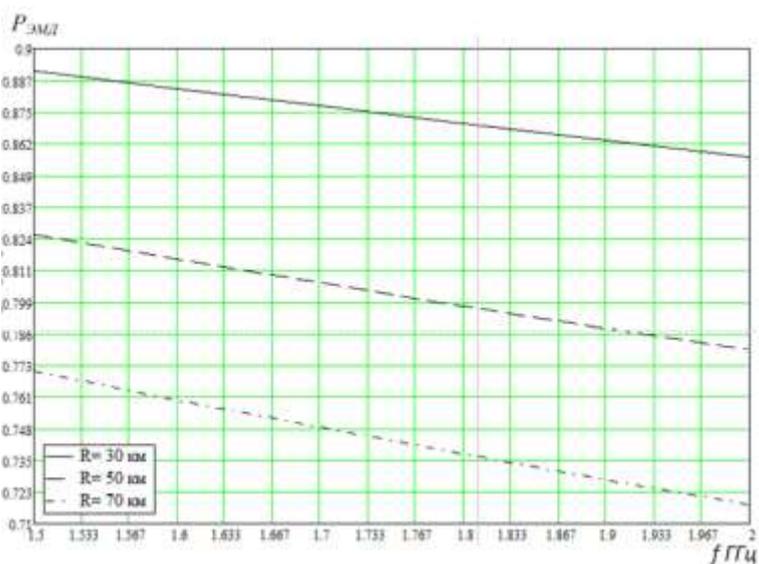


Рис. 2. Зависимость вероятности ЭМД РК радиорелейной линии, построенной при $f = 1,5 - 2$ ГГц и $R = 30$ км, 50 км, 70 км на открытой трассе

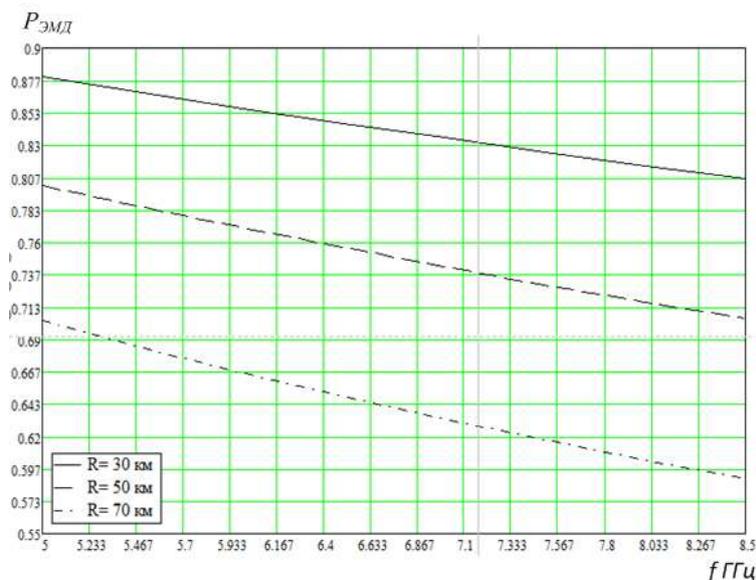


Рис. 3. Зависимость вероятности ЭМД РК радиорелейной линии, построенной при $f = 5 - 8,5$ ГГц и $R = 30$ км, 50 км, 70 км (закрытая трасса)

Список используемых источников

1. Липатников В. А., Кузин П. И. Метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 18–22.
2. Lipatnikov V. A., Kuzin P. I., Rabin A. V. The method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of the shf and ehf ranges // Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. P. 52100.
3. Липатников В. А., Кузин П. И., Рабин А. В. Передачи сигналов в каналах связи с замираниями Накагами // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 71–78.
4. Rabin A. V., Lipatnikov V. A., Kuzin P. I. Signal protection methods in channels with nakagami fading // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. P. 52078.
5. Кузин П. И., Панкин А. А. Комплексный метод оценки при расчете показателя назначения образца военной техники связи // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 11. С. 37–39.
6. Кузин П. И., Липатников В. А. Способ адаптивного измерения параметров источников радиоизлучения в ОВЧ КВЧ диапазоне // Метрология в радиоэлектронике. Тезисы докладов X Всероссийской научно-технической конференции. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ») 20–22 июня 2016 г. С. 146–156.
7. Липатников В. А., Кузин П. И., Рабин А. В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи СВЧ- и КВЧ-диапазонов // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 8 (16). С. 5–12.

УДК 621.397.13
ГРНТИ 47.51.35

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТЕПЕНИ ВАЖНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ

А. Н. Бучатский, А. В. Рекичинский

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

В данной работе рассматривается возможность повышения эффективности мониторинга удаленных объектов цифрового телевизионного вещания на основе результатов анализа определения степени важности критических событий мониторинга сети. Приводятся результаты экспериментального исследования в филиале РТРС «Саратовский ОРТПЦ». Полученные данные использованы для разработки таблиц мониторинга удаленных объектов цифрового вещания в ПО DataMiner.

мониторинг, приемник-декодер, цифровой передатчик, телевизионное вещание, Visio, DataMiner, Сплайсер, Реплейсер.

Телерадиовещание является неотъемлемой частью нашей жизни. РТРС – основной оператор цифрового эфирного и аналогового эфирного теле и радиовещания в России, главной задачей саратовского филиала РТРС – обеспечение жителей региона бесперебойным, многоканальным и доступным телерадиовещанием.

Для возможности бесперебойного функционирования объектов предприятия сформированы отделы: отдел оперативного управления сетью (ОУС) и аварийно-профилактическая группа (АПГ). Основными задачами первого является координация действий остальных подразделений предприятия, задачами АПГ являются устранение аварий и своевременное обслуживание объектов.

Для мониторинга применяется ПО DataMiner и встроенные в него таблицы мониторинга, создаваемые как Visio представления [1]. Данное ПО является общепринятым во всем РТРС, оно позволяет вести работу со всем спектром оборудования, применяемым в филиале.

При создании таблиц мониторинга необходимо определить наиболее важные параметры, чтобы избежать перегруженности рабочего экрана и повысить читаемость.

На рис. 1 представлена типовая схема удаленного цифрового объекта телерадиовещания, на основе данной схемы можно составить таблицу влияния выхода одного из элементов на работоспособность всей станции.

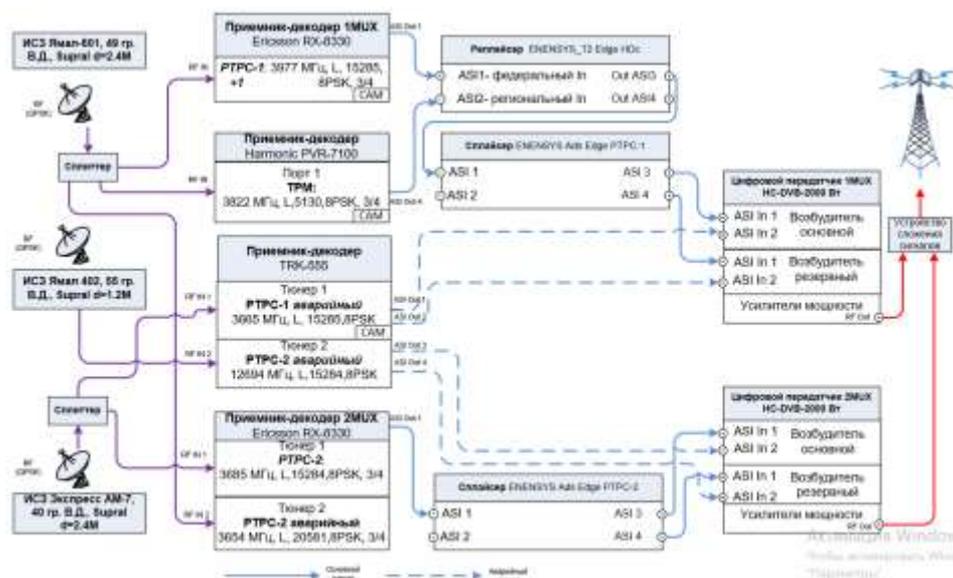


Рис. 1. Схема организации связи объекта ЦТВ

Проведя анализ схемы организации связи объекта ЦТВ, необходимо сформировать таблицу для оценки влияния выхода из строя каждого элемента. Для оценки необходимо использовать такие параметры как: Полная потеря вещания, влияние на работу одночастотной зоны (ОЧС), возможность регионализации контента, потеря контроля и мониторинга объекта, а также дополнительно необходимо оценивать возможность резервирования элемента и частоту подобных неисправностей.

Целесообразно каждому из параметров присвоить некое значение его значимости и рассчитать коэффициент значимости неисправности, который рассчитывается по формуле:

$$X = (RMS + SFN + REG + CONTR) * R * N,$$

где RMS – Полная потеря вещания, SFN – Влияние на работу ОЧС, REG – Возможность регионализации контента, CONTR – Контроль и мониторинг объекта, R – Коэффициент резервирования, N – коэффициент частоты возникновения неисправностей.

R = 0,5 при наличии резерва, 1 при отсутствии резерва, 0,75 при наличии резерва на части объектов.

N = 0,5 – если неисправность возникает очень редко, 1 – редко, 1,25 – часто, 1,5 – очень часто.

Параметрам присвоить значения: RMS = 3, SFN = 1, REG = 1, CONTR = 1.

Анализируя данные таблицы 1 (см. ниже), можно выделить наиболее значимые узлы, которые необходимо контролировать. На основе полученных данных следует вести заполнение таблиц мониторинга объектов, обозначения представлены на рис. 2.



Рис. 2. Значки обозначения аварий

ТАБЛИЦА 1. Значимость неисправностей

Неисправность	Возможность аварийного резервирования	Влияние неисправности на вещание				Частота возникновения неисправности	Значимость неисправности	
		Полная потеря вещания	Влияние на работу ОЧС	Регионализация контента	Потеря контроля над объектом			
Спутниковый конвертер	да	нет	да	да	нет	2	1,25	
Сплиттер	да	нет	да	да	нет	1	1	
Приемник-декодер	да	нет	да	да	нет	3	1,5	
Реплейсер	да	нет	да	да	нет	1	1	
Сплайсер	да	нет	да	да	нет	1	1	
Цифровой передатчик	Модулятор	Если P > 500 Ватт	да	нет	нет	нет	3	3,4
	Усилитель	Если P > 500 Ватт	да	да	нет	нет	2	3,8
	Блок ввода электропитания	нет	да	нет	нет	нет	1	3

Неисправность	Возможность аварийного резервирования	Влияние неисправности на вещание				Частота возникновения неисправности	Значимость неисправности
		Полная потеря вещания	Влияние на работу ОЧС	Регионализация контента	Потеря контроля над объектом		
Устройство сложения сигналов	нет	да	нет	нет	нет	0	1,5
Передающая антенна	нет	да	нет	нет	нет	0	1,5
Блок СДК	нет	нет	нет	нет	да	1	1
Блок СРК	нет	нет	нет	нет	да	2	1,25
Охранно-пожарный контур	нет	нет	нет	нет	да	1	1
Электропитание	Частично	да	нет	нет	нет	3	3,38
		3-б	1-б	1-б	1-б	0-очень редко, 1-редко, 2-часто, 3-очень часто	

Введены следующие обозначения:

- голубая рамка – указывает на активацию аварийного передатчика 2 + 1;
- желтая рамка – активирован вход передатчика ASI-2;
- оранжевая рамка – активен вход ASI-2 на коммутаторе;
- значок «UPS» – питание объекта осуществляется от ИБП;
- треугольник с буквой «V» – связь с объектом нарушена, VSAT авария или уровень сигнала меньше 7,5 дБ;
- голубой квадрат с облаком – плохие метеоусловия, уровень приема на приемнике ниже нормы;
- ДГУ – питание объекта осуществляется от дизеля-генератора;
- овал «ЭЛСЧ» – связь с электросчетчиком отсутствует (отсутствует питание объекта).

Особое внимание, при создании таблицы мониторинга, уделяется контролю параметров передатчика, поскольку передатчик имеет наибольший коэффициент значимости неисправности = 3,8, согласно таблице, а также позволяет контролировать выходной тракт после него. Так же особое внимание уделяется контролю электропитания, контролируется как электросчетчик, так и ИБП [2].

Полученный результат, в виде сформированной таблицы мониторинга, представлен на рис. 3.



Рис. 3. Заполненная таблица мониторинга DataMiner

Предложенный алгоритм позволяет объективно оценивать необходимость мониторинга параметров удаленных объектов ЦТРВ. Данное решение позволило разработать комплекс таблиц, задействованных в мониторинге объектов области, тем самым помогая сотрудникам отдела управления сетью в значительной мере сократить время на анализ ситуации, повысить качество мониторинга, более точно координировать действия других подразделений [3]. Предложенный вариант визуального представления данных прошел успешную апробацию в филиале РТРС «Саратовский ОРТПЦ». При этом возможно использование подобного решения для других филиалов РТРС.

Список используемых источников

1. Инструкция создание Visio представлений DataMiner: Редакция: ДОТУСТ, 2019-05-29.
2. Бучатский А. Н., Рекичинский А. В. Особенности мониторинга удаленных объектов телевизионного вещания и пути повышения эффективности // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : X юбилейная международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 58–63.

3. Сартаков К. В. Оптимизация параметров сетей наземного цифрового телевизионного вещания: автореф. дис. ... канд. наук 05.12.13 / Сартаков Константин Валерьевич. Новосибирск, 2019. 150 с.

*Статья представлена заведующим кафедрой ТИМ,
Кандидатом технических наук, доцентом, С. Л. Федоровым.*

УДК 621.397.132
ГРНТИ 47.51.39

О ПРИМЕНЕНИИ СЛУЧАЙНО-ТОЧЕЧНОЙ СТЕРЕОГРАММЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТАЛОГИЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

А. Н. Бучатский, Д. А. Татаренков

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

Основным параметром стереозрения является порог различения глубины или стереоострота (наименьшее относительное смещение двух объектов по глубине, которое человек способен заметить). В статье предлагается компьютерная реализация методики тестирования стереоостроты зрения, важного диагностического показателя, на основании которого на ранних стадиях возможно распознать симптомы нарушений зрительной системы и предотвратить их прогрессирование.

диспаратность, стереоострота зрения.

Диспаратность, формирующаяся в проекциях ракурсов на соответствующие сетчатки глаз, вызывает бинокулярные параллаксы. Диспаратные точки попадают на некорреспондирующие участки сетчатки, и зритель воспринимает закодированную пространственную конфигурацию.

Отличительная черта глобального стереопсиса – невозможность отделения объекта от фона при монокулярном рассматривании стереограммы. Для отделения объекта необходимо анализировать левый и правый ракурс стереопары по всей их площади. Локальный стереопсис связан с локализацией глубины при просмотре простых стереопар, дающих достаточно монокулярно распознаваемых стимулов на левом и правом ракурсах объекта.

Пороговая величина – разность координат объектов двух ракурсов на сетчатках (значения диспаратности). Пороговые значения смещений по глубине, зависят от расстояния наблюдения. Это делает практически не-

возможным сравнение результатов в линейных единицах, полученных в различных условиях. По этой причине значения порогов необходимо переводить в угловые величины.

Схематическое изображение смещения минимальных элементов A и F по глубине (s) и преобразования в горизонтальный сдвиг проекций точки A на экране (l), по которому производится вычисление горизонтальной диспаратности d , приведено на рис. 1, где s – относительный сдвиг точек A и F по глубине, F – точка фиксации, l – линейная диспаратность, R – расстояние от точки фиксации до наблюдателя, b – межглазной базис.

При визуальной фиксации на точке F , оптические оси обоих глаз наблюдателя пересекаются в этой точке, проекции точки на сетчатки обоих глаз оказываются в центре зоны фовеа. Проекции на сетчатки более близкой точки A в обоих глазах будут сдвинуты в височных направлениях. Описанные сдвиги будут точно такими же, если вместо точки A левому и правому глазу представить точки A_l и A_r соответственно, располагающимися в одной фронтальной плоскости с точкой F . Отсюда можно сделать вывод, что для характеристики взаимного расположения элементарных частиц вместо расстояния S допустимо использовать l . Стоит также учитывать, что сдвиг элементов по глубине можно имитировать, соответствующим образом располагая точки на плоском дисплее. Как правило, диспаратность выражают в угловых секундах, для больших расстояний R и малых сдвигов по глубине s для перевода пользуются следующей приближенной формулой:

$$d = \frac{206000 \times sb}{R^2}.$$

Фузионные резервы являются показателем прочности, гибкости и помехоустойчивости механизмов слияния бинокулярных образов в единый циклопический, и характеризуют способность его сохранения при рассогласовании вергенции и аккомодации при бинокулярном рассматривании.

В обычных условиях наблюдения в реальном мире происходит произвольное или намеренное изменение параметров аккомодации и вергенции на одно и то же расстояние до объекта, из чего следует, что эти системы связаны (рис. 1, а). Такая связь носит название аккомодационно-вергентная. В случае рассогласования информации, которая подаётся на эти системы, а именно различие в расстоянии для процесса аккомодации и расстояния для вергенции (рис. 1, б), можно оценить степень устойчивости бинокулярного зрения.

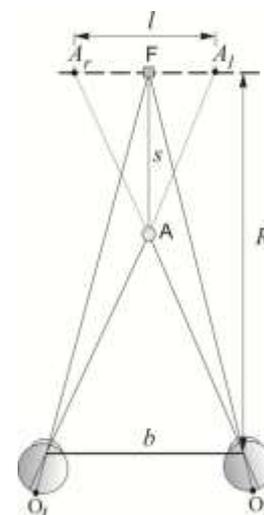


Рис. 1. Схематическое представление возникновения горизонтальной диспаратности

При этом система в некоторой степени устойчива к рассогласованиям, при которых плоскость аккомодации находится ближе или дальше плоскости вергенции: дивергентные и конвергентные резервы. В случае восприятия стереоконтента расстояние аккомодации находится на плоскости экрана, независимо от диспаратности стереопары, а вергенция зависит от диспаратности и соответственно, от кажущегося положения виртуального объекта в пространстве. Такая специфика технологий объемных изображений делает очевидной перспективность их использования для оценки фузионных резервов.

Очевидно, что регулярная оценка базовых параметров зрительной системы позволяет своевременно обнаружить отклонения от нормы и предотвратить развитие нарушений зрительного аппарата, что делает необходимым создание диагностических стереотестов, позволяющих оценить параметры бинокулярного восприятия пациента. Стоит, однако заметить, что в настоящее время не существует общепризнанных методов тестирования фузионных резервов и стереоостроты зрения.

Методики тестирования стереоостроты зрения, важного диагностического показателя, на основании которого на ранних стадиях возможно распознать симптомы нарушений зрительной системы и предотвратить их прогрессирование [1], можно разделить на две большие категории. В первой, в качестве тестовых стимулов используют реальные объекты, во второй – стереограммы.

Острота стереовосприятия человека с нормальной зрительной системой без отклонений, выраженная в угловых значениях лежит в пределах 40 секунд. Очевидно, что при столь малых значениях требуется крайне точная методика определения этого параметра у пациента, что является труднореализуемым на практике. С этим связано и отсутствие единого стандарта оценки, методики измерения. С развитием цифровых технологий и устройств отображения визуальной информации стало возможным реализовать более точные и гибкие методики тестирования стереоостроты с применением широкого спектра стимулов.

Большим недостатком всех существующих карточных и журнальных тестов состоит в том, что невозможно увеличить расстояние для проведения тестов, отсутствует возможность увеличивать размеры стереограммы. Помимо этого, существует вероятность подлога ответов на тестовые стимулы путём запоминания ответов на тестовые задания. Отсюда же возникает невозможность группового обследования пациентов для выявления профнепригодности. Более того, в большинстве бинокулярных тестов, основанных на сепарации ракурсов, наименьшие значения измеряемых стереопорогов превосходит 20", но у людей с параметрами бинокулярного зрения выше среднего пороги могут достигать значений порядка единиц угловых се-

кунд (5–10" в зависимости от условий). Согласно другим исследованиям медианные значения составляют диапазон от 12,4" до 37,2" [2]. Это показывает необходимость компьютерных тестов для оценки бинокулярного восприятия глубины у медицинских учреждений, исследовательских лабораторий, которые могут обеспечить возможность тонкой настройки параметров тестовых изображений, и которые повышают точность проводимых измерений.

Предложенные методы не позволяют в реальном времени генерировать масштабируемые стимулы для демонстрации испытуемому. Стоит учитывать расстояние от экрана демонстрации стимульных стереоракурсов до плоскости зрачков испытуемого. Кроме того, во всех предложенных методах отсутствует возможность генерирования дихоптических тестов с использованием анимированного вывода, что позволяет избежать неточной оценки стереоостроты испытуемого. Авторами предлагается следующий код генерирования и демонстрации тестовых ракурсов с использованием технологии `RanDot`, представленный в репозитории `Github`.

В приведённом выше коде функция `load_images` позволяет загружать объёмную базу изображений, по сути своей являющимися масками наложения для произведения операции диспаратности над одним из ракурсов. В качестве маски может выступать геометрическая фигура на плоскости или более сложная узнаваемая форма.

Функция `create_noise` реализует генерацию шума на двумерной матрице заданного размера. Необходимо учитывать возможности фузийного восприятия объектов, где для объединения образов необходимо соблюдать минимальный размер точки, сопоставимый с остротой зрения испытуемого. В противном случае восприятия единого образа просто не произойдёт.

Функция `disparate` реализует формирование второго ракурса стереопары со смещением части пикселей в соответствии с загруженной маской и заданными параметрами параллакса. Испытуемому демонстрируется объединённое при помощи функции `show_pair` изображение. Вывод изображения производится на дисплей, произведённый по технологии построчной поляризации света.

Таким образом, чётные строки демонстрируемого изображения взяты из исходного изображения сгенерированного шума, а нечётные строки в свою очередь берутся из изображения, сгенерированного с помощью функции `disparate`. Прореживание строк приводит к уменьшению вертикального разрешения изображения, однако не сказывается на горизонтальном разрешении предъявляемого изображения-стимула. Пример такого изображения представлен на рис. 2.

Особенность реализации заключается в том, что загружаемые изображения выводятся в случайном порядке, и испытуемый не может обмануть

комиссию, запомнив порядок вывода изображений. Кроме того, реализована возможность вывода как простых, так и сложных форм объектов, что позволяет использовать тесты на испытуемых любого возраста. Масштабируемый минимальный размер элементов шума позволяет использовать тесты на испытуемых с различной степенью остроты зрения.

Кроме того, реализованный алгоритм позволяет выводить анимационный сдвиг объекта на заданный шаг, что делает возможным исследование влияния параллакса движения на восприятие объёма на границах параметра порога остроты стереозрения. Однако высокая точность измерений порогов стереовидения имеет принципиальные трудности реализации, которые связаны с дискретным представлением изображений на дисплее.

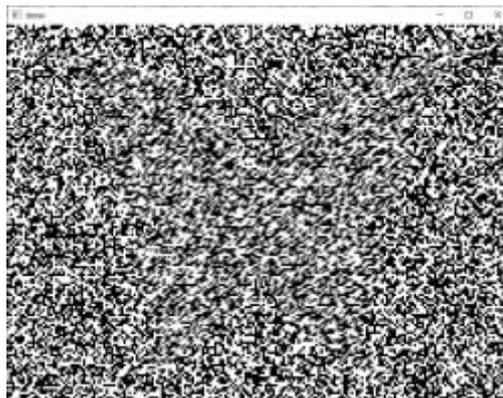


Рис. 2. Объединённое изображения, содержащее оба ракурса

Список используемых источников

1. Read J. C. A. What is stereoscopic vision good for? // Stereoscopic Displays and Applications XXVI. SPIE. 2015. Vol. 9391. P.173–185
2. Bosten J. M., Goodbourn P. T., Lawrance-Owen A. J., Bargary G., Hogg R. E., Mollon J. D. A population study of binocular function // Vision Res. 2015. Vol. 110. pp. 34–50.

УДК 004.514
ГРНТИ 50.43.15

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗВЁРТЫВАНИЯ АНТЕННОГО МОДУЛЯ Р-431АМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Н. А. Васильев, Д. С. Цыганов

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

В данной статье был рассмотрен пример создания автоматического метода развёртывания антенного модуля Р-431АМ с помощью датчиков мониторинга состояния при использовании нейронной сети. Были рассмотрены модернизированная модель антенного модуля, созданное ПО и нейронная сеть.

графический интерфейс; антенный модуль Р-431АМ; программируемые контроллеры; контроллер Arduino; датчики мониторинга положения в пространстве; нейронная сеть.

В связи с высокой динамикой развития автоматизированных средств управления в войсках связи, есть ряд недостатков, которые требуют современного решения. Телекоммуникационный комплекс П-260Т «Редут-2УС», состоящий из цифровой радиорелейной станции Р-431АМ (далее Р-431АМ). При выполнении боевых задач и нормативов по эксплуатации (развертыванию, свертыванию, установлению связи) антенный модуль Р-431АМ силами экипажа (3 человека), в течении 35 минут на оценку «хорошо», должен быть развернут и установлена связь. Так как данный комплекс автоматизирован, подъем антенного поста и антенны осуществляется при постоянном управлении с помощью пульта управления, личным составом экипажа. Вовремя выполнении задачи отсутствуют точные беспроводные датчики для считывания показателей состояния антенного поста и антенны в реальном времени [2].

Основными недостатками являются: ограниченность ресурсной базы действующего образца техники, временные затраты на отработку алгоритмов при решении внестатных ситуаций, без необходимого человеческого труда. На данный момент не существует полнофункциональных учебных моделей данного комплекса, существующие аналоги не имеют датчиков контроля, программируемых устройств и т. д., в следствие чего отсутствует многофункциональность применения данной техники, без подготовки «на опережение». Представляем в статье решение (макет) по внедрению в действующие образцы техники нейросетевых технологий на этапе обучения специалистов связи.

Описание физической части разработки

Разработанный модуль автоматического развёртывания рис. 1 создан на основе микроконтроллеров Arduino Uno и Arduino NANO, при использовании датчиков: MPU-6050 «Акселерометр/Гироскоп» – прибор, измеряющий угловую скорость вращения и ускорение вдоль оси и HC SR-04 – ультразвуковой датчик расстояния. Также установлены: ИК приёмник/ИК передатчик для реализации модели излучения антенного сигнала, сервопривод – устанавливает угол направления ИК приёмника, 2 реле. Для управления направлением тока (изменения движения антенны), мотор постоянного тока с подающимся на драйвер управления дополнительным питанием 12В. Драйвер выполняет роль регулятора подаваемого напряжения на мотор, для регуляции скорости подъема, два светодиода для обозначения техники связи для имитации безопасности полётов, RGB-светодиод на корпусе Р-431АМ зелёного цвета, для обозначения штатного режима подъёма антенного модуля, красного цвета, для обозначения аварийного режима и режима

ожидания, беспроводной модуль передачи данных, для передачи показаний датчиков на ЭВМ, удалённого управления устройствами и программирования контроллеров. Программирование контроллеров Arduino производилось в программной среде Arduino IDE.



Рис. 1. Модель автоматического развёртывания антенного модуля Р-431АМ

Принцип работы макета

При подключении всех элементов устройства к сети электропитания начинается приём-передача данных от датчиков к программируемому контроллеру Arduino NANO, а точнее высоту, на которой находится антенна, её положение в пространстве, наклон (от ветра или других факторов), ускорение. После обработки аналоговых и цифровых входов, к которым подключены датчики, контроллер записывает полученные значения в Serial Port и образует массив. Созданный массив данных направляется в модуль беспроводной передачи данных. С помощью физической кнопки управления мы начинаем подъём антенного поста и антенны, в режиме реального времени датчики отправляют через беспроводную сеть данные на ЭВМ, для систематизации данных и упрощения восприятия цифровых значений применяется разработанный графический интерфейс «Интеллектуальный помощник управления Р-431АМ». На протяжении всего времени во всех положениях и этапах развёртывания, данные добавляются в таблицу для дальнейшего взаимодействия с нейронными сетями. С помощью разработанного программного обеспечения есть возможность управлять макетом, система реализована при помощи использования запрограммированных AT-команд, с отправкой по беспроводной сети передачи данных.

Описание разработанного графического интерфейса пользователя

Разработанный графический интерфейс состоит из 3 интерактивных блоков рис. 2.

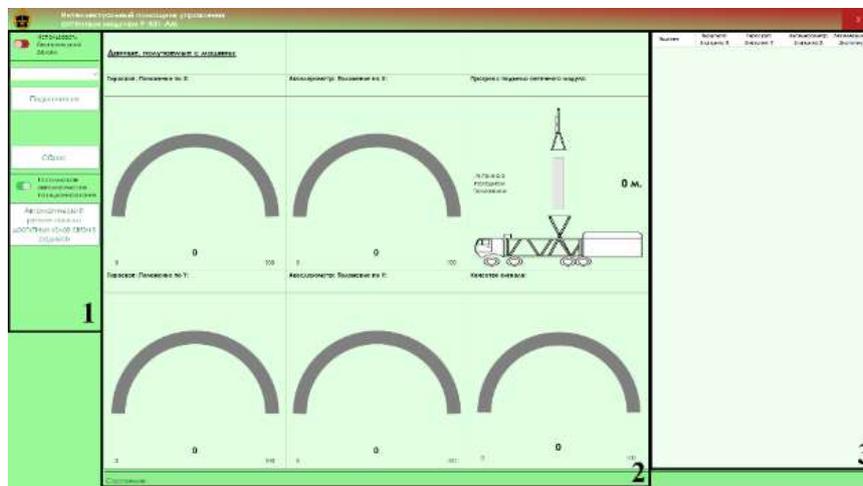


Рис. 2. «Интеллектуальный помощник управления Р-431-АМ»

Интерактивный блок № 1 подключения и управления, разработанного ПО. Блок предназначен для включения/отключения беспроводного режима передачи данных между контроллерами и ЭВМ. Если используется режим подключения через СОМ-порты, появляется табличное окно для выбора порта, к которому подключено устройство передачи данных. В режиме автоматического позиционирования, после нажатия кнопки «Автоматический режим поиска доступных узлов связи в радиусе» модель начнёт поиск корреспондента в автоматическом режиме с использованием ИК приёмника.

Интерактивный блок № 2 графического отображения получаемых данных. Блок предназначен для адаптации выходных данных с датчиков для пользователя. Он представляет собой таблицу прогресс-баров.

Интерактивный блок № 3 табличного отображения получаемых данных. Блок предназначен для отслеживания достоверных обработанных значений, которые в дальнейшем могут применяться в обучении нейронных сетей. На протяжении всей работы модели отслеживаемые показания с датчиков компилируются в файл. Он – входные значения нейронной сети.

Нейронная сеть, её обучение

Необученная нейронная сеть при использовании метода её обучения с оператором, мы имеем полноценную возможность внесения данных и обработки вариаций вывода [3]. Разработанная нейронная сеть имеет следующую структуру:

- состоит 10 слоёв;

- 1 слой – входной;
 - 2–9 слой – скрытые слои с количеством нейронов в размере $n-1$ с каждым последующим слоем;
 - 2 слой имеет количество нейронов 11;
 - между 6 и 7 слоем количество нейронов не изменяется;
 - 10 слой – выходной с количеством нейронов равное 3.
- Функция активации слоев нейронной сети Тангенс Гиперболическая.
- Общая информация о сети:
- число нейронов: 70;
 - число связей: 506 (+65 смещений).

После создания необходимой нейронной сети появляется возможность её обучения с использованием алгоритма упругого распространения. Автоматической инициализации весов. Загружая данные, полученные от комбинированного датчика о его состоянии в большинстве возможных положений. Для обучения сети было применено более 2 тысяч значений. Обучение проходит при количестве итераций в размере 1000. После чего получаем график обучения нейронной сети, представленный на рис. 3.

На графике отображённым на рис. 3 отображено по оси абсцисс количество ошибок, по оси ординат номер итерации, где наблюдается заметное уменьшение количества ошибок в зависимости от количества пройденных итераций. Исходя из полученных данных и уменьшения количества ошибок, понимается об обученности нейронной сети.

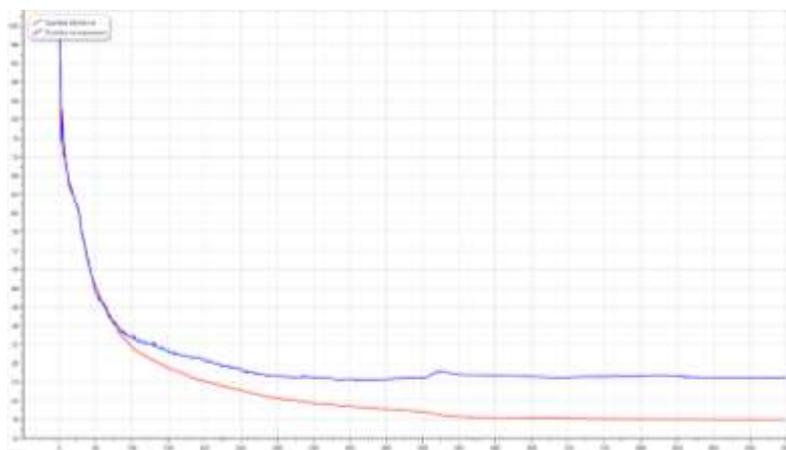


Рис. 3. График обучения нейронной сети

Заключение

Авторами статьи предложен макет и метод, развёртывания цифровой радиорелейной станции Р-431АМ с использованием элементов машинного обучения, внедрения элементов искусственного интеллекта, обученной нейронной сети. Учесть дополнительное количество факторов при расчете весовых коэффициентов для обучения нейронной сети, влияющих на процесс моделирования развёртывания Р-431АМ. Разработанный макет имеет

смысл применения в процессе обучения специалистов связи и перспективной наработкой входных данных для нейронной сети, также взглядом на дальнейшее использование более масштабной разработки на действующем образце техники.

Список используемых источников

1. Блум Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. СПб. : БХВ-Петербург, 2016. 336 с.
2. Журавлёв Д. А., Бондаренко С. А., Дворовой М. О., Сальников Д. В., Платонов С. Н., Сазонов М. А. Эксплуатация антенного модуля Р-431АМ : учеб. пособие для вузов связи. СПб. : ВАС, 2014. 94 с.
3. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и приложения : учеб. пособие. – Казань: изд-во Казан. ун-та, 2018. 121 с.
4. Белов А. В. Управление модулем ARDUINO по Wi-Fi с мобильных устройств. М. : Наука и техника, 2020. 496 с.
5. Колуднов А. С. Радиолобительская азбука. Том 2. Аналоговые устройства. М. : СОЛОН-Пресс, 2009. 272 с.
6. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. 528 с.

*Статья представлена начальником НИЦ,
кандидатом военных наук, доцент В. Э. Гелем.*

УДК 621.396.967
ГРНТИ 47.49.29

МУЛЬТИСТАТИЧЕСКАЯ ПОЛУАКТИВНАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СУДОХОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ ПОДСВЕТА

В. И. Веремьев, Е. Н. Воробьёв, Н. В. Куан, О. А. Маркелов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Использование систем спутникового базирования в качестве сторонних передатчиков сигналов подсвета в полуактивной радиолокации является новым направлением проектирования и разработки современной радиотехники. В области мониторинга на малых расстояниях полуактивная радиолокационная система на основе спутниковых сигналов подсвета показала, что возможно обнаружение и сопровождение судов в речных и прибрежных морских акваториях. В данной работе рассматривается результат

исследования экспериментального макета приемной станции полуактивной радиолокационной системы с использованием сигналов GPS в частотном диапазоне L1. Для улучшения характеристик обнаружения предлагается концепция мультистатической полуактивной радиолокационной системы на основе нескольких передатчиков сигналов подсвета спутникового базирования.

полуактивная радиолокация, мультистатическая полуактивная радиолокационная система, мониторинг судоходства, спутниковая система, сигнал подсвета, прибрежная акватория.

В течение последних трех десятилетий технология радиолокационного мониторинга на основе сторонних передатчиков источников сигналов подсвета бурно развивается. Применение системы полуактивной радиолокации в целях мониторинга речных и прибрежных морских акватории позволяет обеспечивать безопасность движения судов и контролировать общую обстановку морской поверхности. В настоящее время полуактивная радиолокационная система (ПА РЛС) исследуется и разрабатывается в разных странах мира, особенно ПА РЛС с использованием сторонних передатчиков источников сигналов подсвета спутникового базирования таких, как: глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) (GPS, GLONASS, GALILEO) [1, 2, 3], спутниковая система связи (*Iridium, Inmarsat*) [4], спутниковая система телевидения (DVB-S(2)) [5, 6, 7]. В силу того, что ПА РЛС не способствует электромагнитному загрязнению, приемная станция может быть размещена в областях, где активные системы не могут быть установлены. Еще одно преимущество заключается в экономической эффективности приемного оборудования, которое широко применяется для целей навигации.

В данной работе рассматриваются результаты исследования экспериментального макета приемной станции бистатической ПА РЛС мониторинга судов в прибрежных морских акваториях на основе сигналов подсвета спутникового базирования GPS L1 типа C/A-кода, а также представлена мультистатическая ПА РЛС с использованием сигналов подсвета от нескольких спутниковых передатчиков для улучшения возможностей мониторинга речных и прибрежных морских районов.

В НИИ «Прогноз» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» был создан экспериментальный макет приемной станции бистатической ПА РЛС. Макет включает в себя следующие составные части: антенное устройство и блок питания, устройство ввода данных, устройство записи и хранения данных (рис. 1).

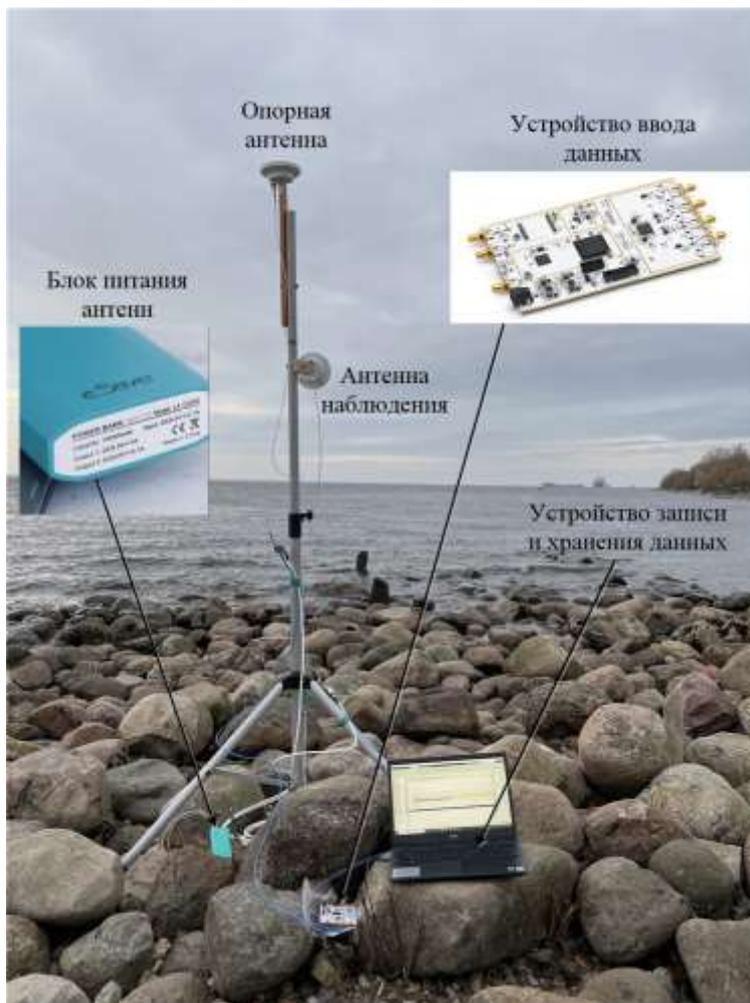


Рис. 1. Экспериментальный макет приемной станции системы бистатической полуактивной радиолокации мониторинга

В качестве антенного устройства использовались антенны АА2-ККС в опорном канале и в канале наблюдения. Универсальная плата USRP серии B210 играет роль устройства приема, оцифровки и ввода данных. Для записи и хранения данных использовался персональный компьютер.

В процессе экспериментального исследования бистатической ПА РЛС в качестве объекта интереса выступал корабль, находящийся в прибрежной акватории у Канонерского парка. Результат обработки радиолокационной информации бистатической ПА РЛС с использованием сигналов C/A-кода спутника GPS № 7 в L1 диапазоне представлен на рис. 2. Объект интереса был обнаружена на дальности $D = 733,1$ м и на доплеровской частоте $f_d = 41,67$ Гц, что соответствует скорости $v = 3,96$ м/с.

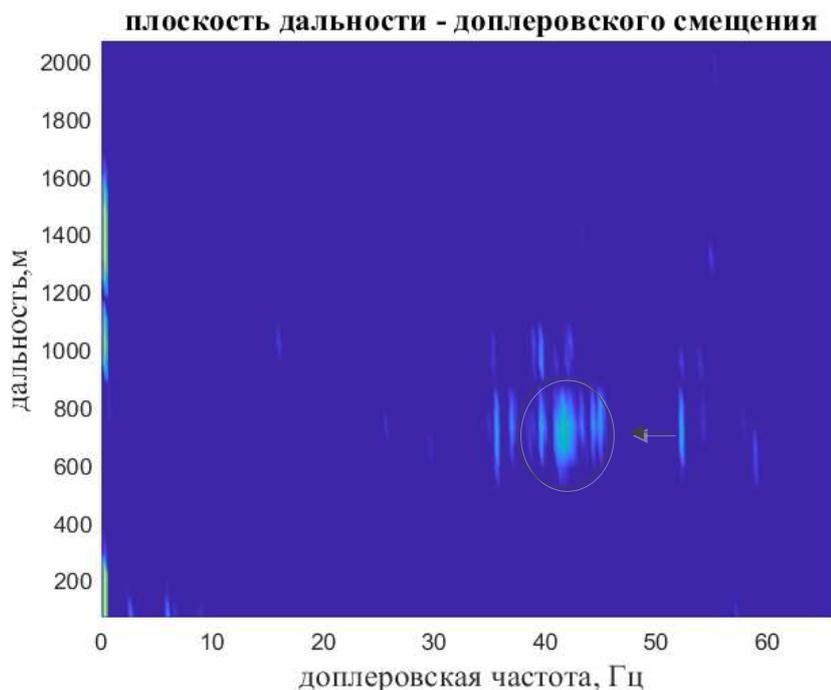


Рис. 2. Результат исследования экспериментального макета приемной станции бистатической полуактивной радиолокационной системы

Известно, что ГНСС предназначена для навигации, а не предназначена для радиолокационных целей. Поэтому спутниковые сигналы имеют очень низкий уровень мощности на Земной поверхности. Для решения этой проблемы в ПА РЛС можно увеличивать время накопления сигналов до нескольких минут, при этом требуется длительное время обработки и качественный приемник. В данной работе для улучшения характеристик ПА РЛС мониторинга прибрежных акваторий предлагается вариант создания мультистатической полуактивной радиолокационной системы на основе нескольких спутниковых сигналов подсвета [8, 9]. Действительно, в любое время суток в одной группировке ГНСС имеется 6–8 спутников, которые подсветят любую точку на Земной поверхности с разных углов. Все эти сигналы могут приниматься одним приемником и совместно обрабатываться для повышения разрешающей способности системы.

Мультистатическая ПА РЛС мониторинга на основе сигналов подсвета спутникового базирования может быть реализована с помощью следующих вариантов:

- с одним передатчиком (спутником) и M -ми приемными станциями;
- с N -ми передатчиками (спутниками) и одной приемной станцией;
- с N -ми передатчиками (спутниками) и M -ми приемными станциями.

На рис. 3 изображена общая схема мультистатической полуактивной радиолокационной системы мониторинга с N спутниковыми передатчиками и одной приемной станцией. Спутники ГНСС работают по схемам множе-

ственного доступа (с кодовым или частотным разделением), поэтому приемник может легко различать сигналы. Соответственно, в мультистатической ПА РЛС мониторинга судоходства в речных и прибрежных морских акваториях с использованием сторонних передатчиков сигналов подсвета спутникового базирования отраженные сигналы от объектов интереса будут разделяться по каналам (кодовым или частотным) (рис. 4).

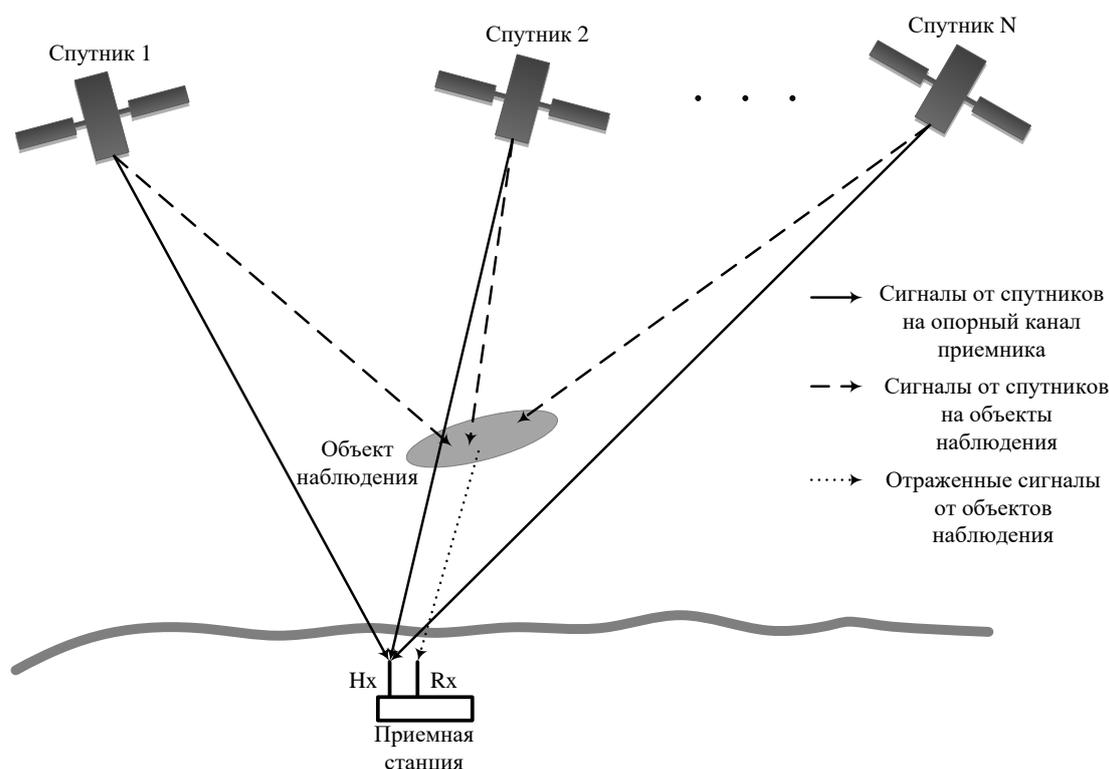


Рис. 3. Мультистатическая полуактивная радиолокационная система с N -ми спутниковыми передатчиками и одной приемной станцией

Таким образом, бистатическая полуактивная радиолокационная система с применением сторонних передатчиков источников сигналов подсвета спутникового базирования дает возможность обнаружения судов в прибрежных морских акваториях. В дальнейшей работе будет развиваться концепт мультистатической ПА РЛС с несколькими спутниковыми передатчиками сигналов подсвета с использованием многоканального приемника с фазированной антенной решеткой для улучшения характеристик обнаружения.

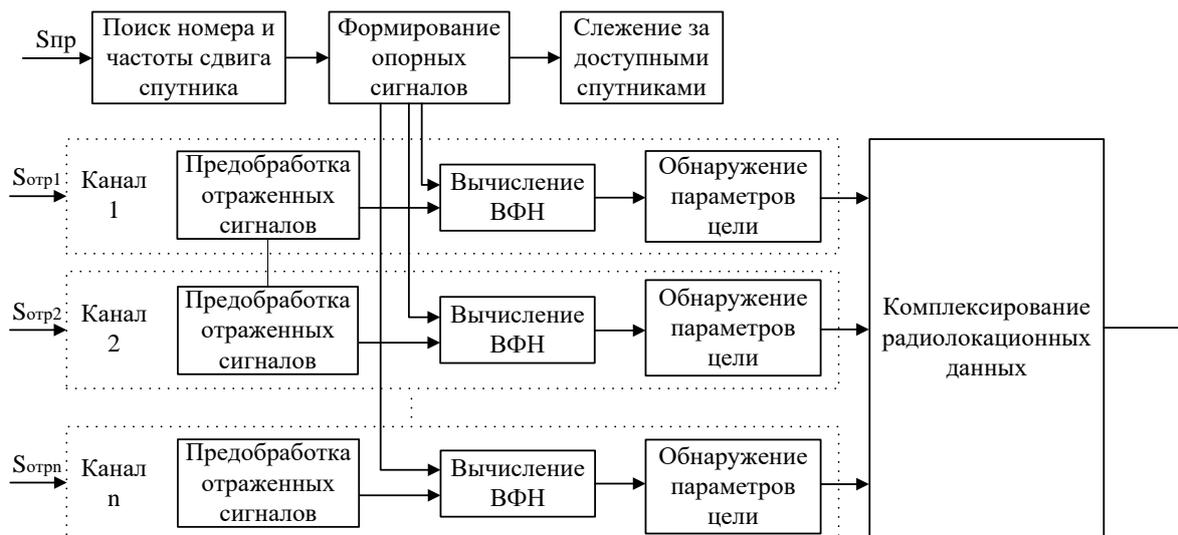


Рис. 4. Алгоритм обработки сигналов в мультистатической полуактивной радиолокационной системе

Список используемых источников

1. Куан Н. В. Пассивная радиолокационная система мониторинга движения судов в прибрежных районах с использованием спутниковых сигналов подсвета // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2020. Том 23 (3). С. 41–52.
2. Santi F., Pastina D., Bucciarelli M. Maritime moving target detection technique for passive bistatic radar with GNSS transmitters // The 18th international radar symposium (IRS). June 2017. pp. 1–10.
3. Hui M., Michail A., Mikhail C. Passive GNSS-based SAR resolution improvement using joint Galileo E5 signals // IEEE geoscience and remote sensing letters (2015). August 2015. Vol. 12. N.8. pp. 1640–1644.
4. Hristov S., Lyu X., Daniel L., De Luca A., Stove A., Cherniakov M., Gashinova M. Ship detection using Inmarsat BGAN signals // International conference on radar systems (Radar 2017). October 2017. pp. 1–4.
5. Cristallini D., Pisciotto I., Kuschel H. Multi-band passive radar imaging using satellite illumination // 2018 International conference on radar (RADAR). August 2018. pp. 1–6.
6. Pisciotto I., Pastina D., Cristallini D. DVB-S based passive radar imaging of ship targets / 20th International radar symposium (IRS). June 2019. pp. 1–7.
7. Stefan B., Matteo M., Viktor S., Christoph S. Passive Radar Imaging Using DVB-S2 // 2017 IEEE Radar conference (RadarConf). 2017. pp. 552–556.
8. Peralice F., Pastina D., Santi F., Bucciarelli M. Multi-transmitter ship target detection technique with GNSS-based passive radar // International conference on radar systems (Radar 2017). October 2017. pp. 1–6.
9. Pastina D., Santi F., Peralice F., Antoniou M., Cherniakov M. Passive radar imaging of ship targets with GNSS signals of opportunity // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. March 2021. Vol. 59. N. 8. pp. 2627–2642.

УДК 654.197.6
ГРНТИ 19.61.31

ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕО 360° ПРИ ПОМОЩИ СТАНДАРТА DVB-T2

В. Д. Вересов, С. Л. Федоров

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

В статье рассматривается понятие видео 360°, возможность передачи панорамного видео в стандарте цифрового телевизионного вещания DVB-T2. Рассматривается рынок видеокамер, а также программное обеспечение для работы с таким видео. Устанавливаются условия передачи и параметры сигнала, а также необходимое оборудование у конечного потребителя. Взаимодействие со стандартом HbbTV.

DVB-T2, цифровое эфирное телевидение, панорамное видео, сферическое видео, UHD, HbbTV.

С каждым годом происходит развитие технологий в области телевидения. Появляются новые стандарты вещания, новые стандарты кодирования и сжатия изображения. Но к большому сожалению население нашей страны в основном проводит время в сети интернет, а не пользуется традиционным телевидением.

В 2019 году был проведен социальный опрос, который показал, что запросы население на такую услугу - как телевидение, напрямую зависит от возраста [1, 2]. Молодые люди до 35 лет отдают предпочтение новостной информации в интернете, в видеохостингах и пользуются услугами онлайн – кинотеатров, а старшее поколение смотрит эфирное, либо кабельное телевидение. С каждым годом этот возраст меняется, так по данным проведенного нового опроса в августе 2021 года, этот возраст приближается к границе в 40 лет.

Чтобы привлечь молодую аудиторию, необходимо привнести новые решения, новые способы просмотра видеоконтента. Видео в 360° или панорамное видео может решить поставленную задачу. Что такое панорамное видео? Почему именно этот способ, а не видео сверхвысокой четкости сможет решить данную проблему?

360-градусное видео, также известное как сферическое или иммерсивное видео. Это видеозапись, которая была снята с помощью всенаправленной камеры, или снята множеством камер, направленных в разные стороны одновременно. Во время воспроизведения на обычном мониторе зритель может управлять направлением просмотра, как панорама. Панорамное видео обычно записывается либо с использованием специальной установки из

нескольких камер, и чем больше будет таких камер, тем чётче будет изображение. Либо с помощью специальной камеры, содержащей несколько линз встроены в устройство и одновременно снимают углы перекрытия. С помощью метода сшивании видео, отдельные кадры объединяются в один сферический фрагмент видео, а цвет и контраст каждого кадра калибруются, чтобы соответствовать другим. Этот процесс выполняется либо самой камерой, либо с помощью специального программного обеспечения, которое может анализировать общие визуальные и звуковые эффекты, чтобы синхронизировать и связывать различные каналы камеры вместе. Вид на опору камеры – это единственная область, которая не может быть просмотрена [3].

360-градусное видео обычно форматируется в равноугольной проекции и является либо моноскопическим, с одним изображением (рис. 1), направленным на оба глаза или стереоскопическим, рассматриваемые как два отдельных изображения, направленных индивидуально на каждый глаз для создания трехмерного эффекта.



Рис. 1. Моноскопическое изображение

Из-за такой проекции и сшивания видео в центре изображения равнопрямоугольной формы имеет более низкое качество, чем в верхней и нижней части. Сферические видео часто имеют криволинейную перспективу с эффектом рыбьего глаза.

Сейчас подобные видео имеются на таких платформах как YouTube, Vimeo и Within в большом количестве. А в Москве на ВДНХ есть кинотеатр «Круговая кинопанорама», где после реконструкции будут продолжать показывать 20 минутные видео фильмы с обзором 360 градусов и стереозвук. Для работы с подобными видеороликами необходимо специальное программное обеспечение, например, Adobe Primer Pro версии от июня 2016 года. В этой программе существует функцию VR, включив её получаем возможность менять направление камеры по горизонтали и вертикали в режиме реального времени (рис. 2).

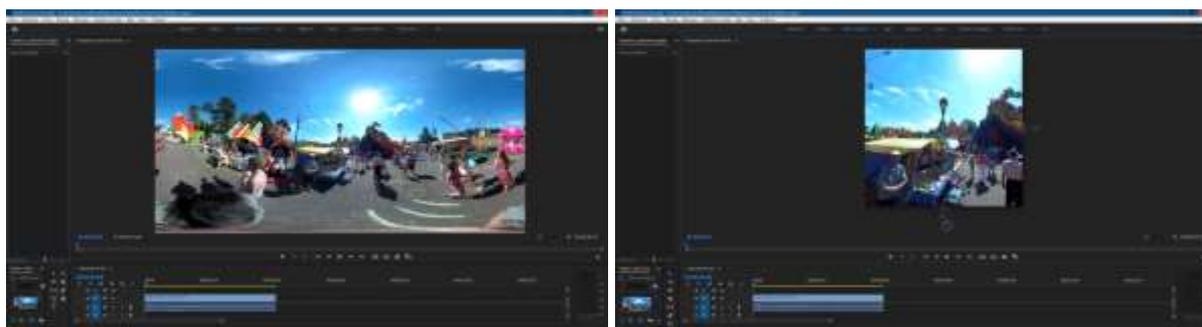


Рис. 2. Работа в программе Adobe Primer Pro:
слева – моноскопический режим, справа – режим виртуальной реальности

Снимать видеоролики можно, как уже было сказано ранее, либо на 1 камеру с несколькими объективами Kandao Obsidian GO 360° 3D VR камера стоимость такой камеры около 200 тыс. руб. Либо это может быть целый комплекс, например GoPro Odyssey состоящий из 16 отдельных камер, стоимостью около 1 млн руб.

Все представленные камеры поддерживают стандарт сжатия H.264 MPEG 4. Именно этот стандарт сжатия используется сейчас на телецентрах для передачи цифрового телевизионного вещания. Чтобы добиться стандартной четкости (SD) видео 360° в трансляции DVB-T2, необходимо исходный видеоролик передавать в высокой четкости (HD или FullHD), так как 360-градусные камеры захватывают куда более широкое поле зрения, чем обычные, поэтому им необходимо большое количество пикселей для получения приемлемого изображения. Поэтому не потребуется больше пропускной способности, чем к тому же видео в 4к формате, и возможно использовать существующую систему цифрового вещания практически без изменения.

В транспортный поток необходимо добавить следующую служебную информацию - передаваемое изображение является сферическим. А на приемной стороне должно быть установлено специальное приложение для просмотра панорамного видео. Все новые телевизоры продаются с данной технологией, а производители цифровых приставок DVB-T2 только начинают её внедрять. Так же для «управления» изображением можно использовать еще один стандарт HbbTV – Гибридное вещательное широкополосное телевидение [4]. Этот стандарт объединяет телевидение и сеть интернет. Он позволяет зрителям: принимать участие в опросах, голосованиях и телевикторинах, активировать заказы товаров во время просмотра телерекламы, пересматривать интересные моменты закончившейся спортивной трансляции, шоу, другой передачи, выбирать ракурс просмотра, получить дополнительную информацию об идущей в эфире передаче.

Основное применение данных видео – каналы, связанные с путешествиями, прямые трансляции со спортивных и музыкальных мероприятий, а так же рекламные ролики товаров.

Список используемых источников

1. Вересов В. Д., Федоров С.Л. Цифровое вещание в ULTRA HD 4K качестве // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-методическая и научно-техническая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 3. С. 100–104.

2. Вересов В. Д. Организация цифрового телевизионного эфирного вещания в формате 4K : вып. квалиф. раб. на соискание степ. мгс. по спец. 11.04.02 / В. Д. Вересов ; научный руководитель С. Л. Федоров ; рец. Д. И. Кирик ; Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, кафедра ТВиМ. 2020. 120 с.

3. Еремченко В. И. Сферическая видеофиксация как перспективное направление развития криминалистической видеозаписи. // Общество и право. 2020. № 3. С. 59–63.

4. Яник Дагийон. Решение НВВTV от Viaccess // Теле-Спутник. 2012. июнь. С. 64–65.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Федоровым.*

УДК 620.91
ГРНТИ 44.01.11

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

П. Ю. Виноградов, А. М. Сазонов

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

Возобновляемые источники электроэнергии – это источники энергии, к использованию которых необходимо начинать стремиться уже сегодня. Основными их преимуществами являются: экологичность, безопасность использования, большинство из них в высокой степени доступности, а потенциальный объем энергии гораздо больше прогнозируемой необходимости для всего человечества. К сожалению, помимо качеств ВИЭ имеют недостатки, главными из которых являются их низкая насыщенность, неоднородность и непостоянность (зависимость от сезона, времени суток, погоды). Отсутствие крупных инвестиций в исследование, производство и внедрение технологий, построенных на принципе использования альтернативных источников электроэнергии, также тормозит их развитие в России. Несмотря на это, уже сейчас технологический

уровень дает возможность успешно использовать ВИЭ для снабжения автономных объектов связи электроэнергией при определенных обстоятельствах.

возобновляемые источники, производство энергии, энергетическая установка, альтернативные источники, электроснабжение объектов связи.

Более 65 % территории РФ не охвачено централизованным электроснабжением, на которой проживает около 10 млн человек (рис. 1). В первую очередь, это районы, близкие к полярному кругу, регионы Дальнего Востока и гористая местность. Именно в этих районах в текущий момент времени остро стоит вопрос использования возобновляемых источников энергии, так как подача в эти места электрической энергии по ЛЭП имеет крайне малую эффективность, а поставка топлива для ДГУ нерентабельна [1].

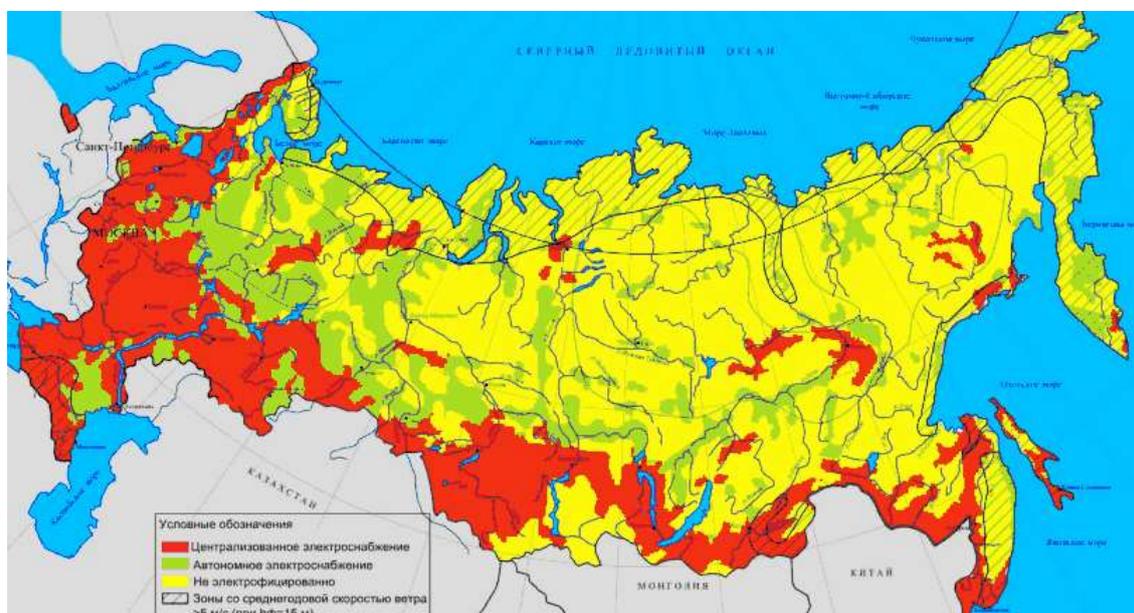


Рис. 1. Зоны автономного электроснабжения на территории РФ

Весомость использования альтернативных источников электроэнергии в топливно-энергетическом балансе Земли невозможно оспорить. Мы начинаем чувствовать опасность энергетического голодания и нарушение природных условий. В таком критическом положении мы должны быть готовыми к стремительной и продуктивной эволюции в энергетике – переходе на возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ) – неиссякаемую и безопасную энергию.

Классификация источников электроснабжения

Источники электроэнергии делятся на традиционные и альтернативные. К традиционным относят полезные ископаемые – нефть, газ, уголь, главный недостаток которых – они не возобновляемы. В этом состоит первостепенный фактор, который дает понимание важности применения новых

технологий добычи электроэнергии. Рано или поздно даже самые богатые месторождения исчерпают себя, поэтому поиск новых вариантов получения энергии становится с каждым годом актуальнее.

Для представления возможностей альтернативной энергетики в сфере телекоммуникаций следует понимать, какие источники существуют:

- солнечная энергетика,
- ветроэнергетика,
- биомассовая энергетика,
- волновая энергетика,
- градиент-температурная энергетика,
- эффект запоминания формы,
- приливная энергетика,
- геотермальная энергия,
- топливные элементы [3].

Из этого списка следует выделить солнечные, ветряные, волновые, геотермальные источники, а также источники на топливных элементах, как наиболее перспективные, стремительно развивающиеся и чаще всего внедряемые на данный момент.

Солнечная энергетика – получение электроэнергии из солнечных лучей на основе фотоэлектрических и/или термодинамических методов. Для фотоэлектрики применимы ФЭП (фотоэлектрические преобразователи), которые преобразуют потенциал фотонов в электричество.

Геотермальная энергетика – преобразование энергии, заключенной во внутреннем ядре земли, в электрическую.

Чем глубже под землю мы опускаемся, тем выше температура пород, и, при достижении двух-трех километров от поверхности Земли, превышает сто градусов Цельсия. Нагретая природной температурой вода испаряется и поступает в турбины с электрогенераторами. Затраты на постройку и содержание такой установки в основном состоят из затрат на поиск места и построение скважины, и, сравнительно с другими электростанциями, являются невысокими.

Если говорить о проблемах таких установок, следует помнить о возможности локального оседания грунтов и возникновении сейсмической активности. Также природный газ, как побочный продукт работы геотермальной электростанции, могут быть небезопасным для человека.

Ветроэнергетика – применение кинетической энергии воздушных масс в атмосфере.

Для получения энергии из ветра существует множество решений: многолопастные «ромашки»; винты в виде самолетных пропеллеров; вертикальные роторы.

Изготовление ветрогенераторов требует мало денежных вложений, но их производительность невелика, и они полностью зависимы от погодных условий.

Волновая энергетика – преобразование потенциальной энергии морских волн в однонаправленные периодические колебания, вращающие вал электрогенератора.

Энергия волн обладает гораздо большей удельной мощностью по сравнению с ветровой и солнечной энергией. Усредненная потенциальная мощность, которую создает мировой океан, составляет не менее 15 кВт/м. Если принять высоту волн равной двум метрам мощность составит не менее 80 кВт/м. В механическую и электрическую энергию можно превратить только часть мощности волнения, но для воды коэффициент преобразования выше, чем для воздуха – до 85 %. Это означает, что в случае освоения океанической поверхности человечество не будет испытывать нехватки электроэнергии.

Базовые станции и альтернативные источники питания

На сегодняшний день практически все крупные мобильные операторы нашей страны заинтересованы в исследовании, развитии и внедрении технологий, связанных с альтернативными источниками электроснабжения.

В Карелии эксплуатируется БС ОАО «МТС», запитываемая от ветроэнергетического комплекса российского производства компании «Бриз Энергия».

Местоположение БС в удалении от ЛЭП не могла спроектировать систему подачи электроснабжения классическим методом. Под жесткие технические требования телекоммуникационного оператора идеально подошел ветрогенератор «Бриз Лидер» (рис. 2) [4].

МегаФон также проводил эксперименты с энергией ветра. По их словам, установки мощностью 6 кВт смогут запитывать базовую станцию 85 процентов времени, что сэкономит более трехсот тысяч рублей на одну БС. Оставшиеся 15 процентов соответствуют неподходящей походе, при которой БС питается от АКБ и штатной ДГУ. За счет малой скорости вращения лопастей установки, ее жизненный цикл может достигать 25 лет [5].



Рис. 2. Ветряной генератор производства «Бриз Лидер»

У операторов «большой тройки» есть положительный опыт использования солнечной энергии для сокращения потребления базовых станций.

28 июля 2021 года МТС сообщил, что намерен оборудовать солнечными панелями несколько базовых станций в труднодоступных районах Краснодарского края. На горе Лысой Туапсинского района уже функционирует подобная базовая станция, в августе планируется оснастить солнечными панелями несколько станций в Геленджикском районе и рядом с Горячим Ключом.

По заявлению оператора, электроснабжение будет комбинированным – ДГУ останутся, но время их работы будет минимизировано, а вместе с ним будут минимизированы использование топлива и вредные выбросы.

Оборудование объектов связи солнечными панелями – способ, в котором давно заинтересованы российские операторы. В России солнечная энергетика находит ограниченное применение за счет территориальных и климатических особенностей. Сегодня использование солнечной энергии скорее экзотика, нежели распространенное явление, но с повсеместным распространением сетей 5G и снижением энергопотребления БС эта технология определенно точно будет применяться чаще [6].

На данный момент, инновационной технологией в области бесперебойного питания являются модули на водородных топливных элементах с суперконденсаторными аккумуляторами электрической энергии. В процессе своей работы эти устройства вырабатывают постоянный ток из обогащенного водородом топлива при электрохимической реакции. В отличие от классической системы из электролитических батарей, установка на водороде не использует электроэнергию из общей сети, а значит не нагружает ЭПУ и экономит энергопотребление, что немаловажно, так как более 80 % расходов оператора мобильной связи в процессе эксплуатации базовой станции тратятся именно на него.

Для примера можно привести топливную установку производителя Dantherm, идеально подходящую для применения в сфере телекоммуникаций. Она имеет относительно небольшие габариты (61,4 × 50 × 56,7 см, имеет возможность встраивания в 19" телекоммуникационную стойку (рис. 3)) и вес 79 кг, что сопоставимо с весом аккумуляторных групп. Также, очень важным достоинством является высокий срок службы и практически неограниченное число циклов заряд-разряд у ионисторов без ухудшения характеристик. В отличие от АКБ, суперконденсаторам и баллонам с сжатым водородным топливом не требуются специальные условия хранения, а диапазон рабочих температур гораздо шире, чем у классических батарей, а это означает, что оператор может снизить общие затраты на поддержание температуры в аппаратной.

Заключение

Применение систем на основе альтернативных источников является перспективным решением для децентрализованного электроснабжения в сельской местности, автономного энергообеспечения удаленных объектов малой мощности, а также для обеспечения аккумуляции излишков электрической энергии. Однако при реализации все еще возникает ряд проблем, решение которых, возможно, приблизит повсеместное использование альтернативных источников электроэнергии. Солнечные батареи нуждаются в уходе. Фотоэлементам необходима периодическая чистка от пыли и атмосферного налета, ведь ни ветер, ни дождь не способны тщательно очистить солнечные батареи. А потери энергии из-за загрязнения фотогальванических батарей могут достигать 20 %. Ветрогенераторные установки также обладают рядом недостатков, такими как условно низкий выход электроэнергии, непостоянность работы и шумовое загрязнение.

Снижение расходов при построении объектов связи в зонах децентрализованного электроснабжения является главной проблемой, сдерживающей широкую реализацию проектов альтернативных источников электроснабжения. Сейчас расходы могут составлять до трети стоимости объекта.

Переход от традиционных способов получения энергии к альтернативным предполагает существенные изменения в мировой экономике, пока что основанной на углеводородах, что может обернуться потерей большого числа рабочих мест, социальными взрывами и экономическими кризисами. Тем не менее, конец эпохи углеводородов становится все отчетливее. Об этом говорят хотя бы цифры мировых темпов роста ветровой энергетики в 6 %, солнечной в 11 %, а нефтяного сектора – всего в 0,5 % в год.

Список используемых источников

1. Грибков С. В. Ветро-солнечно-дизельные комплексы электроснабжения малых мощностей как основа развития ВИЭ в России // Международный конгресс REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность»: сб. статей. Сколково, 2016.

2. Официальный сайт министерства энергетики РФ. URL: <http://minenergo.gov.ru/aktivty/vie> (дата обращения: 08.07.2021).

3. РИА НОВОСТИ. Наука. Виды альтернативной энергетики. URL: <https://ria.ru/20091113/193404769.html> (дата обращения: 12.07.2021).



Рис. 3. Dantherm Power DBX5000 в 19" стойке

4. Базовые станции и альтернативные источники питания. URL: <http://www.mforum.ru/090241.htm> (дата обращения: 13.07.2021).

5. Деловые новости. Мегафон тестирует ветряные базовые станции в Мурманской области. URL: <http://telecomblog.ru/delovie-novosti/megafon-lovit-veter-v-murmanskoj-oblasti> (дата обращения: 13.07.2021).

6. МТС переводит базовые станции в труднодоступных районах Кубани на энергию солнца. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2021-07-28_mts_perevodit_bazovye_stantsii (дата обращения: 15.07.2021).

УДК 504.06
ГРНТИ 87.53.13

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ИХ УТИЛИЗАЦИИ

Н. А. Виноградова, К. Б. Греков

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

Большая часть полимерных материалов, особенно упаковочных, в настоящее время не перерабатывается, а захоранивается на полигонах и даже оказывается просто на рельефе. Низкая скорость деструкции полимерных материалов в естественных условиях заставляет искать пути ее повышения. В работе исследованы различные методы и механизмы интенсификации процессов деструкции упаковочных полимерных материалов. Показано, что наиболее эффективными являются ультрафиолетовое облучение и обработка пероксидом водорода. Предложены пути снижения негативного воздействия на окружающую среду утилизируемых полимерных материалов.

полимерные отходы, ТКО, переработка, мусоросжигательные заводы.

Большая часть полимерных материалов, особенно упаковочных, в настоящее время не перерабатывается, а захоранивается на полигонах и даже оказывается просто на рельефе. Каждый россиянин за год производит примерно 400 кг мусора, из них 52 кг это полимерные отходы. В масштабах страны – это более 60 млн тонн бытовых отходов. 7,8 млн тонн в год это полимерные отходы (13 % от общей массы бытовых отходов). На переработку направляется около 25 процентов всех пластмассовых отходов [1]. Полимерные отходы в составе ТКО имеют следующие соотношения: около 46 % полиолефинов, 20 % поливинилхлорида и его производных, 15 % полистирола, 8 % полипропилена, 19 % полиэтилентерефталата (ПЭТФ), полиамидов и др. [2].

Полимерные материалы в естественных условиях разлагаются чрезвычайно медленно. Так, для полного разложения обычного полиэтиленового

пакета требуется от 50 до 200 лет. Такая низкая скорость деструкции полимерных материалов заставляет искать пути ее повышения.

С этой целью разрабатываются новые виды полимерных материалов – биоразлагаемые (оксоразлагаемые; из природных полимеров, например, кукурузного крахмала; на основе биоразлагаемого эфира полилактида и др.) [3].

В настоящее время в России наибольшее распространение получили оксоразлагаемые полимеры, представляющие собой традиционные полимеры, например, различные полиолефины, в том числе полиэтилен высокой плотности (ПВП), в которые внедрены специальные добавки (например – d2w, содержащая соли переходных металлов), которые ускоряют окисление и распад такого материала под воздействием ультрафиолетового излучения, а также тепла и кислорода воздуха. Процесс окисления приводит к ускоренному распаду материала на фрагменты.

Проведенное нами исследование изменения весовых характеристик упаковочных пленочных материалов различных производителей показало, что большинство исследованных образцов в условиях естественного старения в атмосферных условиях, в воде, а также в почве практически не изменили свои весовые характеристики, либо эти изменения не превышали 5–10 % от исходного веса образца. Исключение составил лишь один образец оксоразлагаемого полиэтилена низкого давления, вес которого снизился за 2 136 часов пребывания в почве при комнатной температуре на 20 %, а в естественных атмосферных условиях за то же время в период – до 25 %.

В дальнейшем нами были исследованы различные методы интенсификации процессов деструкции упаковочных полимерных материалов: термообработка, ультрафиолетовое облучение и обработка в 3 % растворе пероксида водорода.

Термообработка проводилась в сушильном шкафу ШС-40, при этом в течение 54 часов температура постепенно повышалась от 55 до 90⁰С.

Для ультрафиолетового облучения образцов использовался бактерицидный рециркулятор Плон 1.0 с модернизированным металлическим корпусом и снабженный лампой мощностью 15 Вт (длина волны – 254 нм).

Специалистами Института высокомолекулярных соединений РАН на разрывной машине 2166 Р-5 были определены механические характеристики обработанных и контрольных образцов (σ_p – разрывное напряжение; E – модуль упругости, или модуль Юнга; ϵ – относительное удлинение при разрыве).

В таблице 1 представлены изменения механических характеристик полиэтиленовых пленок по сравнению с контрольным образцом, который не подвергался каким-либо дополнительным воздействиям, выраженные в процентах.

Анализ результатов определения механических характеристик, исследованных образцов показал, что все способы искусственного старения привели к возрастанию прочностных характеристик. Наиболее существенные изменения отмечены при воздействии УФ-облучения, а также пероксида водорода.

ТАБЛИЦА 1. Изменение механических характеристик полиэтиленовых пленок по сравнению с контрольным образцом

Метод интенсификации деструкции полимерной пленки	Изменение механических характеристик пленочных материалов ¹ , %					
	Полиэтилен низкого давления			Полиэтилен низкого давления (оксоразлагаемый)		
	Разрывное напряжение (σ_p)	Модуль упругости (E)	Относительное удлинение при разрыве (ϵ)	Разрывное напряжение (σ_p)	Модуль упругости (E)	Относительное удлинение при разрыве (ϵ)
Термообработка	-1	+16	-48	+9	+39	-60
Обработка пероксидом водорода	+13	+30	-52	+148	0	-77
УФ-облучение	+20	+25	-50	+153	+31	-64

Примечание. ¹ – (+) увеличение параметра, %; (-) – уменьшение, %.

Происходит увеличение прочности при разрыве, а также уменьшение относительного удлинения при разрыве и рост модуля упругости, что можно связать с возрастанием степени кристалличности исследованных полимеров. У оксоразлагаемого полимера эти изменения в большинстве случаев носят более выраженный характер. Все это свидетельствует о значительной структурной перестройке, приводящей к возрастанию хрупкости полимеров в процессе искусственного старения.

Таким образом установлено, что наиболее эффективными являются ультрафиолетовое облучение и обработка пероксидом водорода. В дальнейшем предполагается исследовать совместное влияния этих двух видов воздействия на процесс деструкции пленочных упаковочных материалов.

Список используемых источников

1. Михаил Кацевман. Верните целлофан // Российская газета. 15.09.2019. Спецвыпуск № 206 (7964). URL: <https://rg.ru/2019/09/15/problemu-pererabotki-plastmassovyh-otvodov-peregeli-radi-imidzha.html> (дата обращения 22.03.202).
2. Упаковочные отходы: проблемы и пути решения / Молочная промышленность. 2012. № 9. С. 22-23.
3. Худoley В. В., Венцолис Л. С., Зубарев С. В., Скорик Ю. И., Флоринская Т. М. Полимерные отходы в Санкт-Петербурге. СПб. : НИИ химии СПбГУ, 2002. 102 с.

УДК 621.396.969.181.23
ГРНТИ 47.49.31

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ УСТРОЙСТВ С КОМПЛЕКСИРОВАНИЕМ ДАЛЬНОМЕРНЫХ И УГЛОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РАСШИРЕННОМ ФИЛЬТРЕ КАЛМАНА

А. Г. Владыко, М. Д. Пылаев, Г. А. Фокин

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

Предлагаемая имитационная модель предназначена для графической визуализации позиционирования подвижного устройства с комплексированием дальномерных и угломерных первичных измерений, собранных опорными пунктами приема, с их последующей вторичной обработкой путем комплексирования в расширенном фильтре Калмана. Областью применения предлагаемой имитационной модели является графическая визуализация достижимой точности оценки координат подвижного устройства в интеллектуальных транспортных системах в зависимости от территориального разнеса измерительных опорных пунктов дорожной инфраструктуры и точности оценки угла и времени прихода сигналов, а также изначальной рассинхронизации источника и приемника измерений. Функциональные возможности предлагаемой имитационной модели включают оценку и графическую визуализацию среднеквадратической ошибки оценки координат подвижного объекта при движении по прямой и маневрировании с использованием расширенного фильтра Калмана.

позиционирование, подвижное устройство, дальномерные и угломерные первичные измерения, расширенный фильтр Калмана, графическая визуализация.

В последнее десятилетие технологиям сетевого позиционирования, функционирующим независимо от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), уделяется достаточно серьезное внимание как в отечественной [1, 2], так и зарубежной [3–5] научно-технической литературе.

Данное обстоятельство обусловлено широким спектром сценариев [6–8], в которых востребованы приложения высокоточного позиционирования, а сигналы ГНСС оказываются недоступны, включая экосистему сверхплотных сетей связи 5G [9, 10]. Отсутствие сигналов прямой видимости является принципиальным ограничением для решения навигационной задачи не только в спутниковых, но и в наземных радиотехнических системах сетевого позиционирования, решению которой также уделяется достаточно большое внимание [11–14]. Наибольшее распространения среди радиотех-

нических методов сетевого позиционирования получили дальномерные методы, основанные на измерении времени прихода сигнала [15], разностно-дальномерные методы [16] и угломерные методы пеленгации с использованием антенных решеток [17–19]. Высокий потенциал повышения точности позиционирования связан с комплексированием первичных дальномерных (ДМ) и угломерных (УМ) измерений [20–23].

Для случая подвижных устройств решение навигационной задачи с высокой точностью обуславливает необходимость комплексирования первичных измерений с учетом динамики движения объекта позиционирования в расширенном фильтре Калмана (РФК) [24–26]. Значительный вклад в области комплексирования первичных ДМ и УМ измерений сделан исследовательской группой университета Тампере [27–34]. В данных работах приводится графический интерфейс программы, в которой наряду с обработкой первичных измерений осуществляется визуализация самого процесса позиционирования устройства в процессе его движения. К сожалению, подобные программные модули в открытом доступе обычно отсутствуют, поэтому научным коллективом СПбГУТ был разработан авторский программный модуль [35], на основе которого были выполнены исследования в [25].

Целью настоящей работы является описание графического интерфейса данного программного модуля и его возможностей для проведения исследований в области позиционирования подвижных устройств с использованием расширенного фильтра Калмана применительно к сценарию определения местоположения транспортных средств при движении по прямой и маневрировании на перекрестке в интеллектуальных транспортных системах.

Графический интерфейс имитационной модели позиционирования подвижных устройств с комплексированием дальномерных и угломерных измерений в расширенном фильтре Калмана представлен на рисунке.

Окно графического интерфейса имитационной модели включает два вида: слева в окне представлен увеличенный сценарий движения устройства на отдельном участке исследуемой траектории, а справа представлена вся траектория движения устройства. Крупными квадратами представлены здания на плоскости; предполагается, что подвижное устройство – транспортное средство VUE (Vehicle User Equipment) – перемещается с заданной скоростью в городе; траектория движения включает участки перемещения VUE по прямой вместе с маневрированием на поворотах.

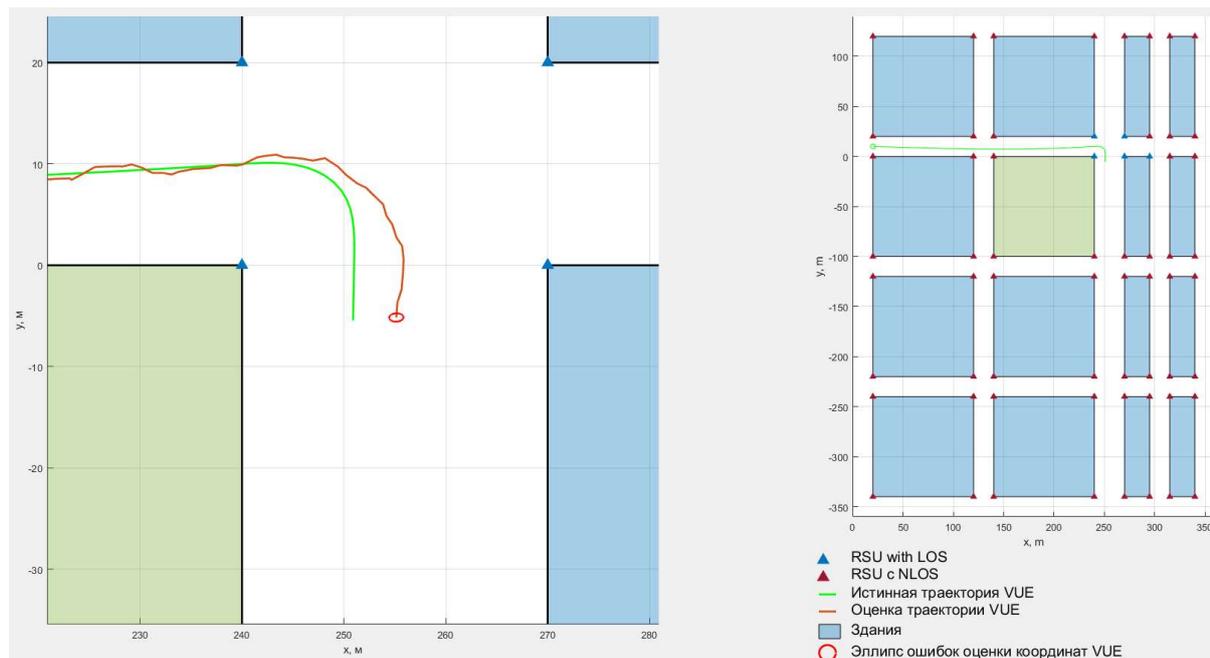


Рисунок. Графический интерфейс имитационной модели

На углах зданий с разномом в 30 метров установлены опорные станции дорожной инфраструктуры RSU (Roadside Unit), которые осуществляют сбор первичных измерений. RSU обозначены треугольниками и, в зависимости от текущего местоположения подвижного устройства VUE, закрашиваются синим или красным цветом: синий цвет соответствует сценарию, когда радиолиния между RSU и VUE находится в условиях наличия прямой видимости LOS (Line of Sight); красный цвет соответствует сценарию, когда радиолиния между RSU и VUE находится в условиях отсутствия прямой видимости NLOS (Non Line of Sight). Признак LOS/NLOS можно задавать вручную или же устанавливать в зависимости от текущего расстояния между RSU и VUE. Истинная траектория движения устройства VUE обозначена зеленым, а оценка траектории VUE – красным цветом. Наглядной количественной метрикой ошибок определения местоположения VUE служит так называемый эллипс рассеивания, который строится по матрице ковариации оценок координат VUE в расширенном фильтре Калмана.

В представленной имитационной модели можно задавать ряд параметров, включая скорость движения подвижного устройства VUE, плотность и места размещения опорных станций дорожной инфраструктуры RSU, погрешность первичных измерений времени и угла прихода сигнала, требуемое для наличия прямой видимости LOS расстояние между RSU и VUE, а также многие другие параметры для исследования вопросов позиционирования транспортных средств в интеллектуальных транспортных системах.

Исследование выполнено в рамках исполнения Государственного контракта № П33-1-26/9.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2020. 558 с.
2. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. Москва : Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
3. Zekavat R., Buehrer R. M. Handbook of position location: Theory, practice and advances. John Wiley & Sons, 2019. 1376 P.
4. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Artech House, 2015. 369 P.
5. Sand S., Dammann A., Mensing C. Positioning in Wireless Communications Systems. Wiley, 2014. 276 P.
6. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 2. С. 3-9.
7. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 3. С. 13-21.
8. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G // 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. 268–273.
9. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
10. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
11. 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.
12. 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.
13. Фокин Г. А. Разработка комплексной имитационной модели для позиционирования источников радиоизлучения в условиях отсутствия прямой видимости // 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. 314–319.
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. 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.
16. 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.
17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Оценка пределов точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методом // 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. Т. 3. С. 244–249.

21. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 1 // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 88–100.

22. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 2. 2D-моделирование // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 65–78.

23. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 3. 3D-моделирование // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 2. С. 14–20.

24. Духовницкий О. Г., Рагило М. А., Сиверс М. А., Фокин Г. А. Применение фильтра Калмана в задачах позиционирования // Электросвязь. 2016. № 1. С. 78–81.

25. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 4. С. 43–57.

26. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств с комплексированием дальномерных, угломерных и инерциальных измерений в расширенном фильтре Калмана // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 2. С. 51–67.

27. Werner J., Costa M., Hakkarainen A., Leppanen K., Valkama M. Joint User Node Positioning and Clock Offset Estimation in 5G Ultra-Dense Networks // 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), San Diego, CA. 2015. P. 1-7.

28. Koivisto M. et al. Joint Device Positioning and Clock Synchronization in 5G Ultra-Dense Networks // in IEEE Transactions on Wireless Communications. May. 2017. V. 16, №. 5. pp. 2866–2881.

29. Koivisto M., Costa M., Hakkarainen A., Leppanen K., Valkama M. Joint 3D Positioning and Network Synchronization in 5G Ultra-Dense Networks Using UKF and EKF // 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Washington, DC. 2016. pp. 1–7.

30. Koivisto M. et. al. High-Efficiency Device Positioning and Location-Aware Communications in Dense 5G Networks // in IEEE Communications Magazine. Aug. 2017. V. 55, №. 8. pp. 188–195.

31. Koivisto M. et. al. Continuous high-accuracy radio positioning of cars in ultra-dense 5G networks // 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Valencia. 2017. pp. 115–120.

32. Koivisto M., Hakkarainen A., Costa M., Leppänen K., Valkama M. Continuous device positioning and synchronization in 5g dense networks with skewed clocks // 2017 IEEE

18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Sapporo. 2017. pp. 1–5.

33. Rastorgueva–Foi E., Koivisto M., Valkama M., Costa M., Leppänen K. Localization and Tracking in mmWave Radio Networks using Beam-Based DoD Measurements // 2018 8th International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Guimaraes. 2018. pp. 1–6.

34. Koivisto M., Talvitie J., Costa M., Leppänen K., Valkama M. Joint cmWave-based multiuser positioning and network synchronization in dense 5G networks // 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona. 2018. pp. 1–6.

35. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Программный модуль для позиционирования подвижного объекта с комплексированием дальномерных и угломерных измерений в расширенном фильтре Калмана. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611524, 26.01.2022. Правообладатель Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Заявка № 2021680759 от 14.12.2021.

УДК 621.396.969.181.24

ГРНТИ 47.49.31

ИМИТАЦИОННА МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ УСТРОЙСТВ С КОМПЛЕКСИРОВАНИЕМ ДАЛЬНОМЕРНЫХ, УГЛОМЕРНЫХ И ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РАСШИРЕННОМ ФИЛЬТРЕ КАЛМАНА

А. Г. Владыко, Г. А. Фокин, Т. А. Хорев

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

Предлагаемая имитационная модель предназначена для графической визуализации позиционирования подвижного устройства на основе дальномерных и угломерных первичных измерений, собранных опорными пунктами приема дорожной инфраструктуры, с их последующей вторичной обработкой путем комплексирования с измерениями бортовой инерциальной навигационной системы в расширенном фильтре Калмана. Областью применения имитационной модели является исследование путей повышения точности позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G при повороте транспортных средств на перекрестках за счет комплексирования дальномерных и угломерных измерений с измерениями инерциальных навигационных систем. Функциональные возможности имитационной модели включают оценку и графическую визуализацию среднеквадратической ошибки оценки скорости и координат транспортного средства при движении по прямой и маневрировании, а также установление путей повышения точности позиционирования до одного метра при повороте на перекрестке.

позиционирование, подвижное устройство, дальномерные и угломерные первичные измерения, расширенный фильтр Калмана, бортовая инерциальная навигационная система, графическая визуализация.

Услуги сетевого позиционирования в различных сценариях функционирования устройств [6–8], наряду с традиционными услугами сетей связи и передачи данных, набирают все большую популярность в сетях пятого и последующих поколений. Данное обстоятельство обусловлено объективными тенденциями развития приложений цифровой экономики в различных областях народного хозяйства и ролью сервисов определения местоположения в их реализации [9, 10]. Несмотря на постоянное совершенствование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [6, 3] сфера их применения остается ограниченной открытым пространством в силу объективных требований наличия прямой видимости между спутником и подвижным объектом для корректных дальномерных первичных измерений, осуществляемых пользовательским устройством. При отсутствии прямой видимости между источником и приемником сигналов навигационных измерений могут использоваться радиотехнические системы наземного сетевого позиционирования [8, 5]. Значительный вклад в области технологий сетевого позиционирования сделан в СПбГУТ и опубликован в монографиях [10, 11], в том числе, в части вопросов, касающихся определения местоположения при отсутствии прямой видимости [11–14]. Наиболее распространенными первичными радиотехническими измерениями, используемыми при позиционировании устройств с использованием инфраструктуры опорных базовых станций сотовых сетей подвижной радиосвязи, являются измерения времени прихода сигнала [15], разности времен прихода сигналов [16] и угла прихода сигнала [17–19]. Методы сетевого позиционирования допускают сбор первичных измерений и их вторичную обработку как самим подвижным устройством, так и опорными базовыми станциями, при этом измерения времени прихода сигналов используются при вторичной обработке в дальномерных [21], измерения разности времен прихода сигналов – в гиперболических разностно-дальномерных [22], а измерения угла прихода – в угломерных методах позиционирования [23]. Комплексирование дальномерных и угломерных измерений при прочих равных условиях позволяет повысить точность и оперативность определения местоположения по сравнению со случаем без комплексирования [25]. Для поддержания требуемого уровня точности позиционирования подвижных устройств в частном сценарии маневрирования транспортных средств используется комплексирование первичных радиотехнических измерений времени и угла прихода сигнала вместе с первичными измерениями скорости и ускорениями, предоставляемыми бортовыми инерциальными навигационными системами [26]; вторичная обработка осуществляется в расширенном фильтре Калмана (РФК) [24].

Значительный вклад в области комплексирования первичных радиотехнических дальномерных и угломерных измерений сделан исследовательской группой университета Тампере [27–34]. Вместе с тем в определенных сценариях функционирования подвижных устройств в составе сверхплотных сетей радиодоступа пятого и последующих поколений проблема достижения дециметровой точности остается открытой [25], особенно при маневрировании транспортных средств на перекрестках [26]. Несмотря на безусловный вклад работ [27–34] в рассматриваемую предметную область, программные модули, лежащие в основе проводимых зарубежными коллективами исследований, в открытом доступе отсутствуют; также в работах [27–34] не затрагиваются вопросы комплексирования радиотехнических и инерциальных измерений. Учитывая данные недостатки, а также необходимость обоснования технических решений для высокоточного позиционирования транспортных средств на перекрестках научным коллективом СПбГУТ был разработан авторский программный модуль [35], на основе которого были выполнены исследования в [26].

Целью настоящей работы является описание графического интерфейса программного модуля [35] определения местоположения транспортных средств на перекрестке в интеллектуальных транспортных системах.

Графический интерфейс имитационной модели позиционирования подвижных устройств с комплексированием дальномерных, угломерных и инерциальных измерений в РФК представлен на рисунке.

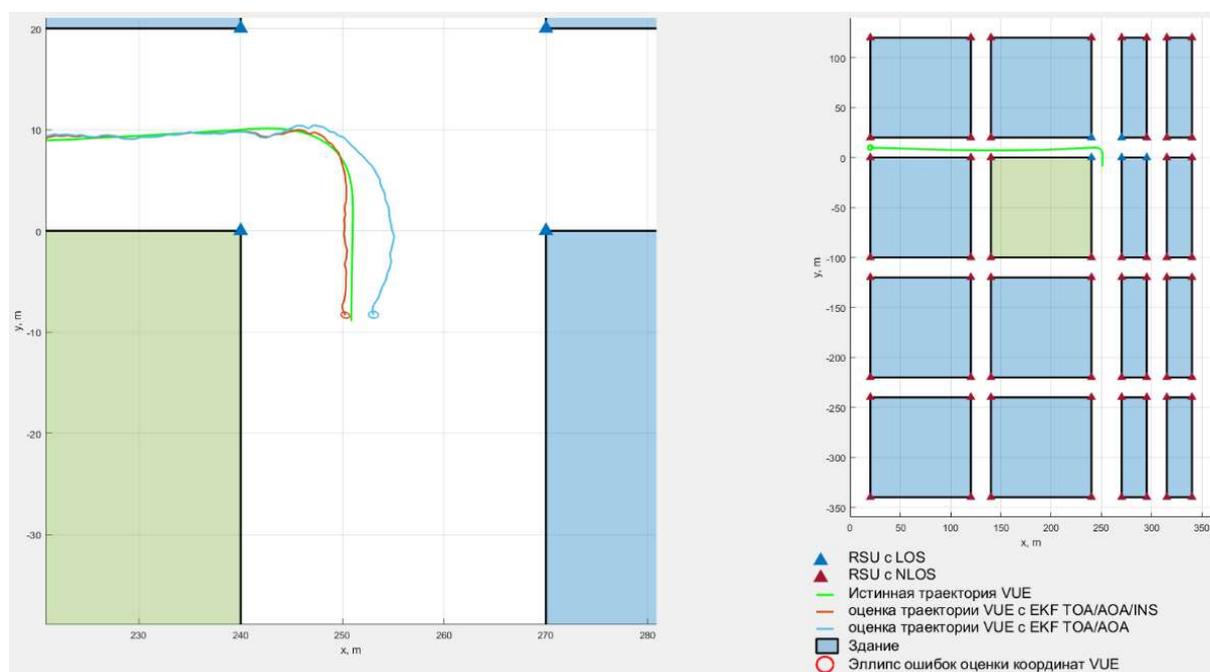


Рисунок. Отображение сигналов PRS на частотно-временную сетку OFDM

В окне графического интерфейса подвижное устройство VUE (Vehicle User Equipment) перемещается с заданной скоростью; траектория движения

включает участки перемещения VUE по прямой вместе с маневрированием на поворотах. На углах зданий установлены опорные станции дорожной инфраструктуры RSU (Roadside Unit), которые осуществляют сбор угломерных (АОА – Angle of Arrival) и дальномерных (ТООА – Time of Arrival) измерений. Измерения инерциальной навигационной системы (ИНС, INS – Inertial Navigation System) собираются бортовым измерителем. Истинная траектория движения устройства VUE обозначена зеленым, оценка траектории VUE с использованием только радиотехнических измерений – синим, а оценка с использованием комплексирования радиотехнических и инерциальных измерений в РФК (ЕКФ – Extended Kalman Filter) – красным цветом.

Качественный анализ результатов на рис. 1 позволяет сделать вывод о существенном повышении точности позиционирования транспортных средств на перекрестке за счет комплексирования в ЕКФ ТООА/АОА/ИНС.

Исследование выполнено в рамках исполнения Государственного контракта № ПЗЗ-1-26/9.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 2. С. 3-9.
2. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 3. С. 13-21.
3. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G // 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. 268–273.
4. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
5. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
6. Andrews A. P., Bartone C. G., Grewal M. S. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration, 4th Edition. John Wiley & Sons, 2020. 608 p.
7. Zekavat R., Buehrer R.M. Handbook of position location: Theory, practice and advances. John Wiley & Sons, 2019. 1376 p.
8. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Artech House, 2015. 369 P.
9. Sand S., Dammann A., Mensing C. Positioning in Wireless Communications Systems. Wiley, 2014. 276 p.
10. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. Санкт-Петербург, СПбГУТ, 2020. 558 с.
11. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. Москва, Горячая Линия - Телеком, 2021. 456 с.
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. Позиционирование в условиях отсутствия прямой видимости с использованием цифровых моделей местности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 11. С. 4–13.
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. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Оценка пределов точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методом // 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. Т. 3. С. 244–249.
21. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 1 // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 88–100.
22. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 2. 2D-моделирование // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 65–78.
23. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Оценка точности позиционирования источника радиоизлучения разностно-дальномерным и угломерным методами. Часть 3. 3D-моделирование // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 2. С. 14–20.
24. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 4. С. 43–57.
25. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств с комплексированием дальномерных, угломерных и инерциальных измерений в расширенном фильтре Калмана // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 2. С. 51–67.
26. Духовницкий О. Г., Рагило М. А., Сиверс М. А., Фокин Г. А. Применение фильтра Калмана в задачах позиционирования // Электросвязь. 2016. № 1. С. 78–81.

27. Werner J., Costa M., Hakkarainen A., Leppanen K., Valkama M. Joint User Node Positioning and Clock Offset Estimation in 5G Ultra-Dense Networks // 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), San Diego, CA. 2015. pp. 1–7.
28. Koivisto M. et al. Joint Device Positioning and Clock Synchronization in 5G Ultra-Dense Networks // in IEEE Transactions on Wireless Communications. May. 2017. V. 16, №. 5. pp. 2866–2881.
29. Koivisto M., Costa M., Hakkarainen A., Leppanen K., Valkama M. Joint 3D Positioning and Network Synchronization in 5G Ultra-Dense Networks Using UKF and EKF // 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Washington, DC. 2016. pp. 1-7.
30. Koivisto M. et. al. High-Efficiency Device Positioning and Location-Aware Communications in Dense 5G Networks // in IEEE Communications Magazine. Aug. 2017. V. 55, №. 8. pp. 188–195.
31. Koivisto M. et. al. Continuous high-accuracy radio positioning of cars in ultra-dense 5G networks // 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Valencia. 2017. pp. 115–120.
32. Koivisto M., Hakkarainen A., Costa M., Leppänen K., Valkama M. Continuous device positioning and synchronization in 5g dense networks with skewed clocks // 2017 IEEE 18th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), Sapporo. 2017. pp. 1–5.
33. Rastorgueva–Foi E., Koivisto M., Valkama M., Costa M., Leppänen K. Localization and Tracking in mmWave Radio Networks using Beam-Based DoD Measurements // 2018 8th International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Guimaraes. 2018. pp. 1–6.
34. Koivisto M., Talvitie J., Costa M., Leppänen K., Valkama M. Joint cmWave-based multiuser positioning and network synchronization in dense 5G networks // 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona. 2018. pp. 1–6.
35. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Программный модуль для позиционирования транспортных средств с комплексированием дальномерных, угломерных и бортовых инерциальных измерений в расширенном фильтре Калмана. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611525, 26.01.2022. Правообладатель Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Заявка № 2021680758 от 14.12.2021.

УДК 621.396.25
ГРНТИ 47.43.15

ИОНОСФЕРНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ПРИ ВЧ-РАСПРОСТРАНЕНИИ НА ОЧЕНЬ БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

О. В. Воробьев, С. А. Кокин, В. В. Мошков

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

Целью данной работы являлось исследование возбуждения ионосферного волновода вследствие рассеяния ВЧ волны нагрева искусственной ионосферной турбулентностью (ИИТ). В дополнение к этому, из анализа сигналов, полученных на большом расстоянии от ионосферного нагревателя может быть получено зондирование стимулированных ионосферных неоднородностей. В работе используется новый метод рассеивания ВЧ излучения нагревателем для диагностики нелинейных эффектов на сверхдлинных радиотрассах. Эксперименты проводились с использованием различных далеко разнесенных приемных площадок. Ключевой проблемой для режима сверхдальнего распространения является питание ионосферного волновода. Затем энергия должна выйти из волновода в определенном месте, чтобы быть обнаруженной поверхностным приемником.

искусственная ионосферная турбулентность, ионосферный волновод, EISCAT, HAARP, Аресибо.

Под воздействием мощного радиоизлучения на ионосферную плазму возникает целый ряд нелинейных эффектов. К ним относятся нагрев электронов, стрикция и тепловая параметрическая неустойчивость, стимулированное электромагнитное излучение, радиальные дрейфы в нагретой области и так далее. Нелинейная интерференция мощной радиоволны с ионосферой производит возмущения плазмы и создает широкий спектр неоднородностей, известный как искусственная ионосферная турбулентность (ИИТ). Об ИИТ, генерируемой ВЧ нагревом, впервые сообщили Торн и Блад в 1974, которые использовали установку Platteville, расположенную недалеко от Боулдера, штат Колорадо, США. Более поздние исследования ИИТ проводились на следующем поколении нагревательных установок, таких как Европейская установка некогерентного рассеяния (EISCAT), Программа высокочастотных активных авроральных исследований (HAARP), Аресибо и российская установка «Сура». Ранние диагностические инструменты для исследования ИИТ включали когерентные радары и оптические детекторы РЧ, ОВЧ и УВЧ диапазонов. Позже к ним присоединились некогерентные УВЧ-радары в EISCAT и Аресибо, а также GPS и LEO спутники, такие как французский спутник Demeter.

ИИТ приводит к резонансному рассеянию ВЧ-ОВЧ волн неоднородностями с масштабами, сравнимыми с длиной волны. Кроме того, волны фокусируются (или расфокусируются) на масштабах зоны Френеля. На этих эффектах основаны различные варианты диагностики ИИТ. Они включают когерентные и некогерентные радары, вертикальное зондирование ионосферы и метод сцинтилляционной радиоскопии ионосферы.

ВЧ волны, излучаемые мощным нагревателем, рассеиваются в ионосферном волноводе. Этот волновод формируется в области «впадины» между пиками электронной плотности E- и F-слоев[1]. Волновод расположен на большой высоте, где частота столкновений электронов падает и, таким образом, затухание волн становится очень низким. Это позволяет радиоволнам распространяться на большие расстояния. Фактически, волны, излучаемые HAARP, наблюдались на украинской антарктической станции «Академик Вернадский» (UAS) с координатами 65.25 ю.ш., 64.25 з.д., расположенной за многие тысячи километров от нагревательной установки.

Во время проводимых исследований питание волновода обеспечивалось рассеянием ВЧ волн от ИИТ над ВЧ нагревателем. В индикатрисах рассеяния резонансного сигнала ИИТ часть энергии распространяется в пределах угла скольжения вдоль оси волновода, обеспечивая его питание.

Известно, что эффективные условия для возбуждения волновода, а также посадки сигнала с волновода, создаются регулярными горизонтальными градиентами, которые появляются во время заката и восхода солнца в ионосфере. Такие условия были спрогнозированы для кампаний ВЧ-нагрева EISCAT и HAARP, расположенных в северном полушарии, в то время как принимающая площадка UAS находилась в Антарктиде.

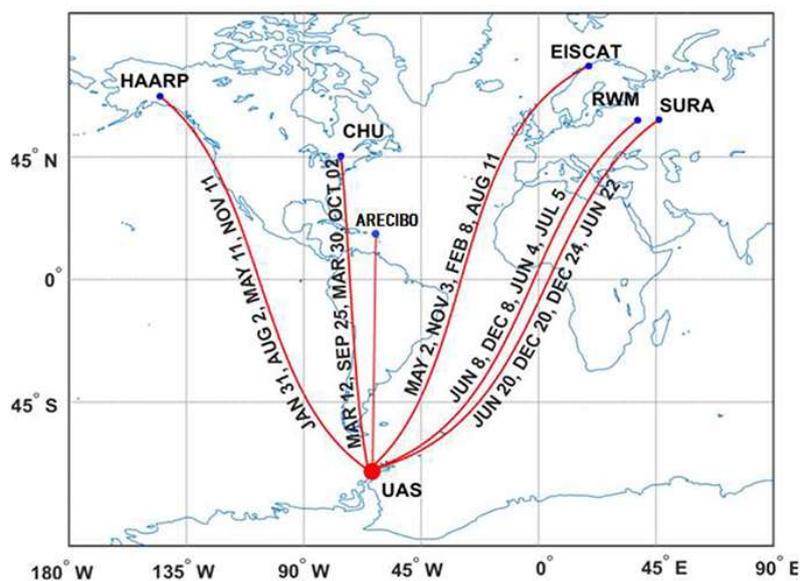


Рис. 1. Карта линий солнечного терминатора и сверхдальних радиотрасс

На рис. 1 показана карта с радиотрассами EISCAT-UAS, HAARP-UAS, SURA-UAS и Аресибо-UAS, на которой отмечены даты прохождения солнечного терминатора через эти радиотрассы (поскольку радиолиния Аресибо-UAS практически меридиональная, терминатор проходит через нее во время равноденствий). Поскольку кампании ВЧ нагрева нерегулярны, UAS ведет постоянный мониторинг условий распространения ВЧ сигналов. С 2002 года проводится систематический мониторинг зондирующих сигналов, излучаемых двумя станциями ВЧ службы времени CHU (Оттава, Канада) и RWM (Москва, Россия). Такие наблюдения полезны для сравнительного анализа поведения сигналов, излучаемых установками ВЧ нагрева, и для выявления механизмов, связанных с питанием волноводов.

Во всех трех экспериментах использовалась схожая методология. В качестве зондирующей волны было использовано излучение мощного ВЧ нагревателя, рассеянное от ИИТ. Излучение наблюдалось с помощью когерентных ВЧ приемников на очень большом расстоянии ($\geq 9\ 000$ км) от мощного излучателя. В этих экспериментах сигналы нагрева вызваны резонансным рассеянием излучения на неоднородностях декаметрового масштаба, составляющих порядка длины падающей волны. Управление характеристиками рассеяния обеспечивается подходящим выбором режима нагрева и освещением ионосферы Солнцем. Таким образом, ионосферный волновод может быть запитан в начале передающей линии. Отбор энергии из ионосферного волновода осуществляется либо за счет преломления на естественных горизонтальных градиентах концентрации электронов (например, во время заката и восхода Солнца), либо за счет рассеяния на естественных неоднородностях вблизи места расположения приемника. Наиболее удобные условия для этого процесса возникают, когда E-слой, экранирующий извлечение энергии из волновода, отсутствует, т. е. в сумерках. Тем не менее, большая часть радиоканала должна быть освещена солнцем, пока существует E-слой, служащий нижней границей волновода. Учитывая, что приемник расположен в Антарктике, которая является высокоширотным регионом и как таковая приобретает высокий уровень естественной турбулентности, вполне вероятно обнаружить здесь естественные неоднородности декаметрового масштаба даже при спокойных ионосферных условиях.

Стоит также отметить, что приведённые результаты были получены при спокойных геофизических условиях (спокойная ионосфера и невозмущенное магнитное поле).

В первом эксперименте [2], проведенном в 2002 году, результат был получен случайно при использовании высокочастотной установки EISCAT, которая излучала монохроматические стационарные сигналы. Три радиотракта различной длины и согласования обнаружили широкополосные спек-

тральные компоненты, которые были сильно интеркоррелированы. В некоторых случаях интенсивность этих компонент была либо сравнима с интенсивностью узкополосных сигналов, сформированных многолучевым излучением боковых лепестков антенны, либо превышала ее. Наблюдаемый эффект был вызван саморассеянием мощного ВЧ излучения на ионосферных неоднородностях, создаваемых самим ВЧ излучением. Широкополосная спектральная компонента была создана "вторичным" источником, образованным рассеянием искусственной ионосферной турбулентности, вызванной нагревом ионосферы в области над ВЧ-установкой. Временные и пространственные вариации области ИИТ из-за естественного и стимулированного дрейфа влияют на спектры сигналов рассеянной компоненты на всех задействованных радиопутьях. Значительная интенсивность саморассеянного сигнала на очень длинной радиопутью, превышающая интенсивность многоцелевой узкополосной компоненты, позволила предсказать, что ионосферный волновод может питаться от расположенного внутри него вторичного источника.

Во втором эксперименте, проведенном в 2014 году на ВЧ-объекте HAARP, гипотеза об искусственном питании ионосферного волновода была подтверждена с помощью более сложной установки. В то же время выяснилось, как управлять эффективностью ИИТ в области метрового и декаметрового масштабов путем переключения частоты нагрева через одну из нескольких электронных гирогармоник. Для зондирования спектра ИИТ использовалось стимулированное электромагнитное излучение. В ходе эксперимента было обнаружено резкое увеличение интенсивности высокочастотного сигнала на очень дальнем радиотракте HAARP-UAS, когда частота нагрева приближалась к 4-й электронной гирогармонике [3].

В третьем эксперименте, проведенном в 2018 году на установке Аресибо (рис. 2), использовалось каналирование ВЧ-энергии в ионосферный волновод за счет аспектного рассеяния радиоизлучения выровненными по полю неоднородностями, вытянутыми вдоль линий магнитного поля. Необходимые условия были выполнены в эксперименте по нагреву в Аресибо, где наклон геомагнитного поля составляет около 43 градусов, в то время как мощный ВЧ луч направлен вертикально, таким образом, аспектно рассеянная волна будет ориентирована почти горизонтально на юг. Волновод был

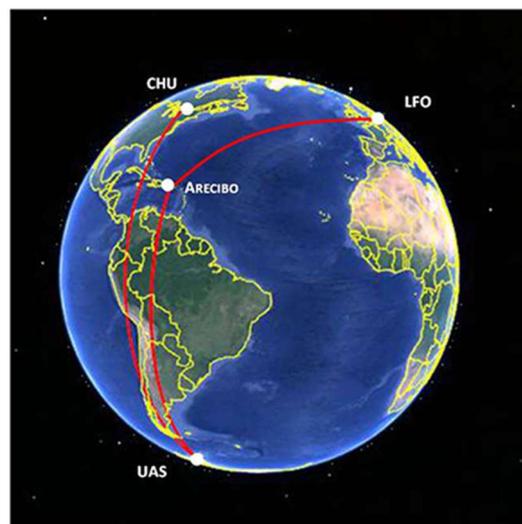


Рис. 2. Геометрия дальних радиотрасс: Arecibo-UAS (9 187 км), а также CHU (Оттава, Канада-UAS (12 332 км) и Arecibo-LFO (9 393 км)

направлен в сторону UAS. Такая геометрия дает уникальную возможность направить энергию радиоволн в ионосферный волновод и возбудить моды шепчущей галереи.

В статье был приведён обзор трёх экспериментов, проводившихся в течение 16 лет, в которых распространение волн на очень большие расстояния было вызвано нелинейным эффектом в ионосфере, облучаемой мощным ВЧ-передатчиком.

Зондирование ИИТ производится путём анализа радиоволн, саморассеянных в ионосферном волноводе и затем обнаруженных на большом расстоянии от нагревателя, однако для диагностики также может быть использован зондирующий ВЧ-передатчик, расположенный в непосредственной близости от мощной установки. Частота зондирующего передатчика должна быть немного выше частоты нагревателя.

Список используемых источников

1. Davies, K. (1989). *Ionospheric Radio*. London: P. Peregrinus on behalf of the Institution of Electrical Engineers.
2. Zalizovski, A. V., Kashcheyev, S. B., Yampolski, Y. M., Galushko, V. G., Belyey, V. S., Isham, B., et al. (2009). Self-scattering of a powerful HF radio wave on stimulated ionospheric turbulence. *Radio Sci.* 44, 241–253. doi: 10.1029/2008RS004111.
3. Najmi, A., Milikh, G., Yampolski, Y. M., Koloskov, A. V., Sopin, A. A., Zalizovski, A., et al. (2015). Studies of the ionospheric turbulence excited by the fourth gyroharmonic at HAARP. *J. Geophys. Res.* 120, 6646–6660. doi: 10.1002/2015JA021341.

УДК 629.7.05
ГРНТИ 49.27.31

СУДОВОЙ КОМПЛЕКС СПУТНИКОВОЙ ВИДЕОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Э. С. Вяльшин, О. В. Украинский

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

В последнее время все чаще возникает необходимость в установке на судне спутниковой видеокоммуникационной системы. Отличия таких систем от наземных связаны с дополнительными требованиями геометрического позиционирования, например, в связи с морской качкой, от климатических условий, от перемещения по водной поверхности относительно спутника, и т.д. В докладе анализируются особенности использования спутниковой видеокоммуникационной техники и перспективы ее дальнейшего развития, и анализируются характеристики ряда разработок в данной области.

спутниковая антенна, видеокоммуникации, судовой комплекс.

Целью работы является представить обзор построения комплекса спутниковой видеокоммуникационной системы на судне, представить практику построения данных систем в мире, наметить перспективы их дальнейшего развития.

Любая спутниковая видеокоммуникационная система на судне должна состоять из следующих частей [1]:

- спутниковая антенна,
- спутниковый конвертер,
- система динамического вращения (DBT),
- блок управления DBT,
- гиросtabilизированная платформа,
- мультисвитч (сплиттер),
- спутниковые ресиверы.

Из схемы (рис. 1) [2] можно сделать вывод, что основой частью судовой спутниковой видеокоммуникационной системы, отличной от наземной спутниковой системы, является реализация судовой антенной системы (внешнего оборудования), включающей в себя спутниковую антенну, конвертер, гиросtabilизированную систему, систему динамического вращения и блок управления DBT. В связи с этим было проведено исследование с целью определения наилучшей спутниковой антенной системы и далее будут показаны результаты.

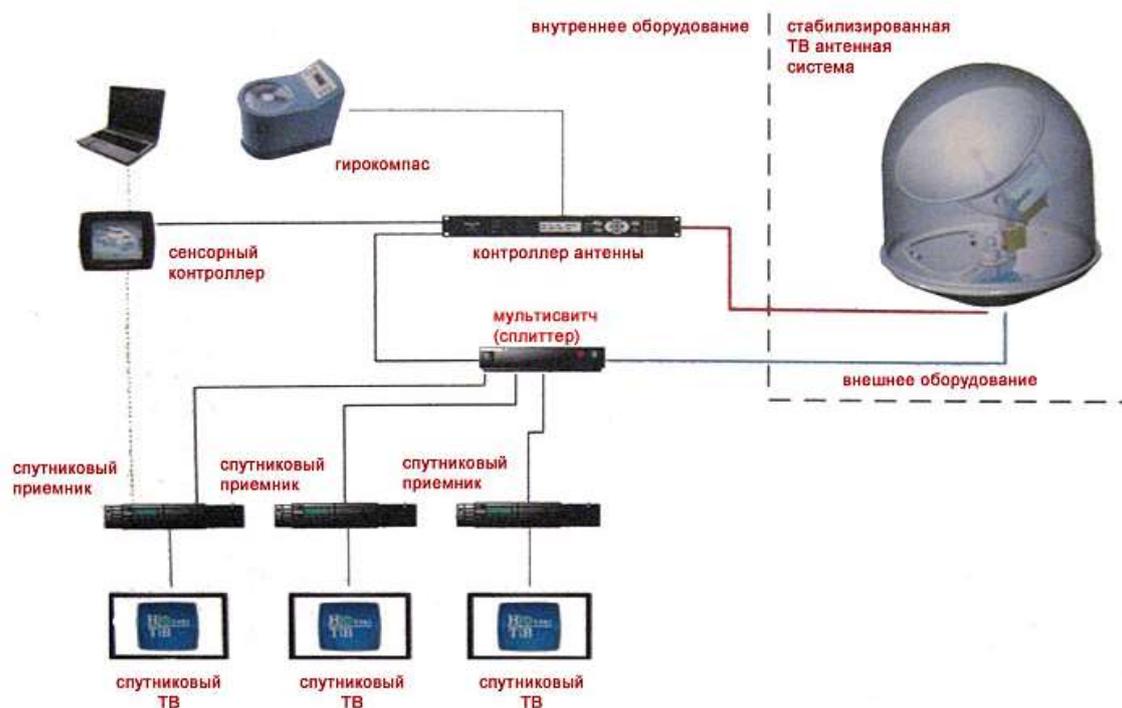


Рис. 1. Схема подключения судовой спутниковой телевизионной системы

На сегодняшний день существуют четыре основные компании, осуществляющие производство судовых спутниковых антенн:

- KVH (Мидлтаун, США),
- Intellian (Южная Корея),
- Viscom (Москва, Россия),
- Raymarine (Дарем, Англия).

Среди представленных выше компаний были отобраны модели, обладающие наилучшими электродинамическими характеристиками, при этом весьма приемлемыми массогабаритными параметрами, а также интересным способом слежения за спутником и поворотом к нему:

- TracVision HD11,
- Intellian t240CK,
- ВИЗКОМ ВК-60М,
- Raymarine 60 STV.

KVH TracVision HD11 [3] (рис. 2) – компактная спутниковая антенна. Последняя разработка компании KVH в данной сфере. Модель оснащается технологией World Wide LNB, благодаря которой становится возможным прием телевизионных сигналов со спутников с круговой и линейной поляризациями по всему миру.

Отдельно стоит отметить то, что KVH TracVision HD11 является первой антенной, которая позволяет осуществлять одновременный прием сигнала с двух и более спутников. Благодаря этому качество сигнала становится еще более надежным и устойчивым, несмотря на различные внешние факторы, включая сложные погодные условия.



Рис. 2. Спутниковая антенна KVH TracVision HD11

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики KVH TracVision HD11

Слежение за спутником	Автоматически, работает в движении (Multi-axis dynamic tracking)
Размен зеркала антенны	105.4 см
Размер антенны (высота x диаметр)	145.5 см x 130.3 см
Вес	91 кг
Минимальный уровень сигнала EIRP	42 dBW (Ku-band) / 45 dBW (Ka-band)
Диапазон угла места	-23° to +119°
Диапазон азимута	710°
Регулировка угла поляризации	автоматическая
LNB	Универсальный программируемый Ka-/Ku-/Ka-band; Линейная/круговая
Питание	100–250 Вольт AC; 250 Ватт номинал; 300 Ватт максимум
Рабочие температуры	-25° C to +55° C
Температуры хранения	-35° C to +70° C

Intellian t240СК [4] (рис. 3) – это флагман компании, оснащенный рефлектором диаметром 2,4 метра и возможностью приема как С, так и Ки диапазонов любого спутникового провайдера.

Фирменный оптоволоконный передатчик данных Intellian FiberLink связывает антенну с блоком управления на расстоянии до 2 000 метров, без потерь качества.

Скорость поворота 12° в секунду по азимуту и 3-х осевая стабилизация обеспечивают уверенный прием в любых условиях плавания. Также новый алгоритм Wide Range Search (WRS) позволяет увеличить скорость поиска спутника более чем в 4–5 раз, а технология Dynamic Beam Tilting (DBT) анализирует принимаемый сигнал и обеспечивает наилучшее соотношение сигнал/шум.



Рис. 3. Спутниковая антенна Intellian t240СК

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики Intellian t240СК

Артикул	T2-2468C
Бренд	Intellian
Диаметр зеркала (см)	240
Габариты обтекателя (ШxВ, см)	330x353
Вес антенны (кг)	630
Минимальное EIRP (дБВт)	31
Автоконтроль угла поляризации	да
Блок управления (ACU)	да
Встроенный модуль HDTV	да
Встроенная функция Trisat	да
Встроенный GPS	да
GPS интерфейс	да
Совместимые спутниковые ТВ сервисы	Весь мир
Диапазон угла места ($^\circ$)	$-15^\circ \sim 120^\circ$
Количество RF-выходов	4 (Quad)
Поляризация	С-диапазон – линейная; Ки-диапазон – все типы поляризаций.
Габариты упаковки (ДxШxВ, см)	Антенна – $272 \times 230 \times 223$ см. Обтекатель - $302 \times 227 \times 223$ см.
Вес в упаковке (кг)	560

Спутниковая антенна ВизКом ВК-60М [5] (рис. 4) имеет диаметр 60 см, работает в диапазоне частот 10.7 – 12.75 ГГц. Оборудование VisCom обладает высоким уровнем надежности, проверено на множестве проектов, требующих высокого качества и положительных отзывов пользователей. Именно поэтому данный производитель весьма востребован на рынке судового спутникового телевидения. В данном сегменте количество качественного предложения не столь велико.



Рис. 4. Спутниковая антенна ВизКом ВК-60М

ТАБЛИЦА 3. Технические характеристики ВизКом ВК-60М

Размер зеркала антенны	60 см
Частота	10,7–12,75 ГГц
Габариты	66 x 68 см
Масса	14 кг
Потребляемая мощность	30 Вт
Поляризация	Линейная/круговая
Тип слежения	В движении

Raymarine 60 STV [6] (рис. 5) – это спутниковая телевизионная антенна, предназначенная для судов среднего тоннажа. Антенна проста в установке и не занимает много места на борту. Антенна включает в себя функцию Wide Range Search (WRS), которая позволяет максимально быстро получать сигналы от спутника. Raymarine 60 STV гарантирует стабильное соединение, несмотря на качку и даже самые суровые погодные условия.

Raymarine 60STV расширяет возможности спутникового покрытия, новая функция повышенной частоты слежения за спутниками в отдаленных районах, подверженных более слабым приемам сигнала. Raymarine 60STV предлагает все преимущества Raymarine 45STV, плюс автоматизированный контроль стабилизации. Raymarine 60STV обеспечивает максимальный прием сигнала во время качки или движения судна.



Рис. 5. Спутниковая антенна Raymarine 60 STV

ТАБЛИЦА 4. Технические характеристики Raymarine 60 STV

Сдвоенная или счетверенная система LNB, предназначенная для нескольких телевизионных приемников	Счетверенная
Совместимость с системой DVB (Digital Video Broadcast) (цифровое телевидение)	Есть
Диаметр зеркала	23,6 дюйма (60 см)
Алгоритм широкополосного поиска для обеспечения быстрого поиска и быстрого захвата сигнала спутника	Есть
Слежение за сигналом по технологии динамического слежения (DBT) в условиях экстремальных атмосферных и морских условий	Есть
Совместимость со стандартом высокого разрешения (HD)	Есть
Повышенная эффективность приема сигнала и оптимизированный коэффициент усиления антенны для обеспечения наилучшего изображения	Есть
Вход NMEA 0183 для ввода координат GPS с целью снижения времени захвата сигнала	Есть
Обнаружение максимально сильного сигнала спутника благодаря конической форме сканирующего луча с целью обеспечения повышенного уровня стабилизации	Есть
Увеличенные углы вертикального наведения для удержания спутника	Есть
Автоматическое регулирование расфазировки системы LNB (не для США)	Есть
Перенаправление сигнала вращающимся малым зеркалом с целью уменьшения движения главного зеркала и обеспечения более тихой работы	Есть
Предполагаемый размер судна	Свыше 50 футов (свыше 15,2 м)
Встроенная система GPS	Есть
Слежение за ретрансляторами DUB-S2 или HD	Есть

Проанализировав данные системы, трудно дать однозначный ответ, какая антенная система будет лучше. У любой системы есть свои достоинства и недостатки по отношению друг к другу. Если есть необходимость в контроле (уменьшении) масса-габаритных параметров, целесообразнее будет использовать отечественную спутниковую антенну ВИЗКОМ ВК-60М или Raymarine 60 STV. В случае, если требуется повысить уровень качества сигнала вне зависимости от погодных условий, таких как шторм, качка и других изменений метеорологической обстановки, лучше использовать спутниковые антенны TracVision HD11 и Intellian t240CK.

Проведенное исследование показало, что рынок судовых видеокоммуникационных систем недостаточно разнообразен и не удовлетворяет растущим потребностям в таких системах. Необходимо развивать дальнейшие разработки судовой спутниковой коммуникационной техники.

Список используемых источников

1. Состав навигационного оборудования на морских судах // Статьи о Навигационном оборудовании. ГК «Связь и Радионавигация». 12.02.2018. URL: <https://cir-spb.ru/blog/info-navigation/sostav-navigacionnogo-oborudovaniia/> (дата обращения: 03.01.2022)
2. Особенности построения досуговой ТВ-системы на судне // Статьи о Спутниковом оборудовании. ГК «Связь и Радионавигация». 24.06.2015. URL: <https://cir-spb.ru/blog/info-satellite/tv-system-on-ship/https://www.stecom.ru/solution/water/%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D0%BD%D0%B0-%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83/> (дата обращения: 05.01.2022)
3. TracVision HD11 Optional SmartSwitch Service/System Selector. Datasheet. English version: Leisure Marine. 2011. URL: <https://www.kvh.com/support/product-and-service-resources?keyword=&market=Commercial%20%26%20OEM&marketSector=Maritime%20Systems&productLine=Satellite%20Television&productSeries=HD-series&product=TracVision%20HD11> (дата обращения: 13.01.2022)
4. t240CK. 2.4m C-band and Ku-band. Marine Satellite TV antenna system. Datasheet. 20.12.2019. URL: <https://intellian.my.salesforce.com/sfc/p/#G00000001SgX/a/4A000000cmfL/oERpVaRzXIa1ELi7HLFEn6nq9tdSqwQxCDG1WEJrkDw> (дата обращения: 13.01.2022)
5. Визком ВК-60М. Мобильные спутниковые антенны для яхт и поездов. Технические характеристики. 2022. URL: <http://viscomtec.ru/catalog/mobilnoe-sputnikovoe-tv/sudovye-sputnikovye-antenny/vizkom-vk-60m/> (дата обращения: 14.01.2022)
6. SatTV. Spetification | ordering information. URL: <https://www.raymarine.com/view/index-id=179.html> (дата обращения: 14.01.2022)

УДК 621.396.67: 681.322
ГРНТИ 47.45.29

СИСТОЛИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ АДАПТАЦИИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Д. Д. Гизатулин¹, Е. И. Глушанков¹, Е. А. Рылов², А. А. Свиридов¹

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

²АО «ПКБ «РИО»

В данной статье проведен синтез систолического вычислителя, реализующего прямой алгоритм адаптации антенных решеток, основанного на обращении выборочных циркулянтных корреляционных матриц. Такими свойствами обладают корреляционные матрицы в кольцевых антенных решетках. Общая структура вычислителя состоит из процессора для оценивания матрицы и для вычисления по матрице вектора весовых коэффициентов.

антенная решетка, систолический вычислитель, алгоритм адаптации АР, корреляционная матрица, вектор весовых коэффициентов.

Алгоритмы адаптации АР, основанные на обращении корреляционных матриц (КМ), обладают рядом преимуществ по сравнению с другими алгоритмами, к основным из которых можно отнести возможность распараллеливания и реализации на параллельных вычислительных структурах [1]. Реализация различных алгоритмов на СВ рассматривалась в [1–4]. В данной статье предложен СВ для выполнения алгоритма, основанного на обращении циркулянтных КМ в кольцевых АР.

В общем случае при использовании алгоритмов с обращением КМ амплитудно-фазовое распределение (АФР) токов по раскрытию АР находится из выражения [1]

$$W = R^{-1}V, \quad (1)$$

где $W^T = (w_1, \dots, w_N)$ – вектор весовых коэффициентов (ВВК), характеризующий АФР; N – размерность ВВК, равная числу управляемых элементов АР при представлении ВВК в комплексной форме или удвоенному числу управляемых элементов при представлении ВВК в действительной форме; R – $(N \times N)$ – мерная КМ помех; $V^T = (v_1, \dots, v_N)$ – вектор волнового фронта полезного сигнала.

Нахождение ВВК из (1) существенно упрощается в случае, когда КМ R принадлежит к классу матриц специальной структуры. Как показано в [6], в кольцевых эквидистантных АР КМ помех принадлежит к классу циркулянтных или блочно - циркулянтных. Для этого случая синтезируем СВ, реализующий алгоритм адаптации АР.

Общая структура контура управления диаграммой направленности АР при использовании алгоритмов с предварительным оцениванием КМ представлена на рис. 1. Из рис. 1 видно, что для адаптации АР применяются два СВ: один для оценивания КМ, другой для вычисления ВВК. Связь между СВ осуществляется через общую память. Синхронизация СВ и управление их запуском (перезапуском) производит устройство управления (УУ).

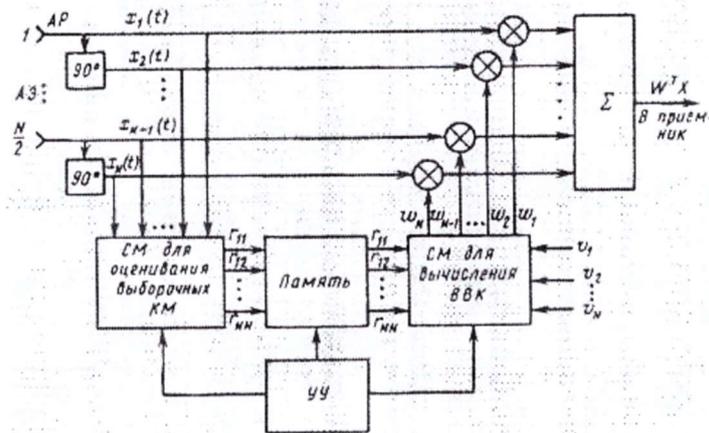


Рис. 1. Структура контура управления диаграммой направленности АР при использовании алгоритмов с предварительным оцениванием КМ

Выражение для оценивания выборочных циркулянтных КМ:

$$r_{ij} = \frac{1}{M[N - (j - i)]} \sum_{k=1}^M \sum_{l=0}^{N-j+i-1} x_{1+l}(k)x_{j-i+1+l}^+(k), \quad i \leq j$$

где $i, j = \overline{1, N}$; r_{ij} – ij -й элемент R; M – объем выборки (обычно $M \geq N$); $x_i(k)$ – i -й элемент обучающего вектора помех на выходе элементов АР; ‘+’ – знак комплексного сопряжения.

При этом для $N = 5$

$$R = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & r_2 & r_1 \\ r_1 & r_0 & r_1 & r_2 & r_2 \\ r_2 & r_1 & r_0 & r_1 & r_2 \\ r_2 & r_2 & r_1 & r_0 & r_1 \\ r_1 & r_2 & r_2 & r_1 & r_0 \end{bmatrix}.$$

Синтез СВ включает в себя следующие этапы: векторизация исходного алгоритма; представление векторизованного алгоритма в виде графа зависимостей (ГЗ), вершины которого соответствуют выполняемым операциям, а дуги – связям между ними; переход от ГЗ к графу потока сигналов (ГПС); представление ГПС в форме структуры СВ путем проведения (в случае необходимости) систолизации.

ГЗ при $N = 5$ изображен на рис. 2.

Наиболее простой метод преобразования ГЗ в структуру СВ состоит в использовании одного процессорного элемента (ПЭ) для каждого узла ГЗ.

При этом отпадает необходимость в назначении ПЭ, а требуется лишь определение порядка выполнения операций в ПЭ.

Выполним линейное планирование с предварительным преобразованием ГЗ в ГПС. Полученный в результате СВ изображен на рис.3а. Он состоит из двух ПЭ (рис. 3б, 3в). При его использовании для реализации алгоритма требуется лишь N шагов.

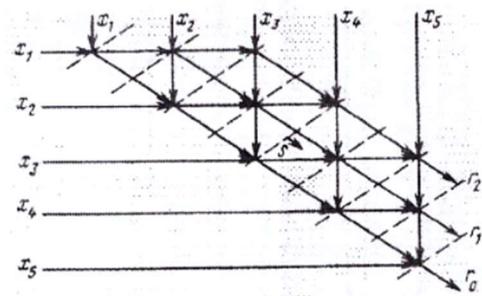


Рис. 2. Граф зависимости

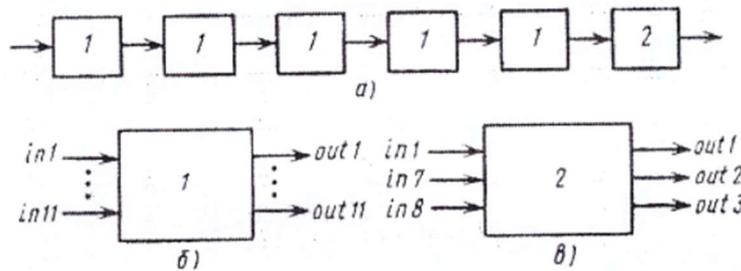


Рис. 3. Структурная схема СВ линейного плана с предварительным преобразованием ГЗ в ГПС

Общий вид алгоритма с циркулянтными КМ может быть представлен следующим образом:

$$w_i = \sum_{j=1}^N g_{|i-j|+1} v_j; \quad g_i = \sum_{j=1}^N \frac{F_{ij}}{d_j};$$

$$d_i = \sum_{j=1}^N r_j F_{ij}, \quad i = \overline{1, N}$$
(2)

где

$$F_{ij} = \cos \frac{2\pi(i-1)(j-1)}{N}$$
(3)

Граф потока сигналов, полученный при проекции по направлению $d^T = (0,1)$ и линейном планировании $s^T = (1,1)$, изображен на рис. 4а. Здесь предполагается, что осуществлена предварительная загрузка ПЭ значениями F_{ij} . Из рисунка видно, что полученный по ГПС СВ состоит из двух типов ПЭ (рис. 4б, рис. 4в), общее число которых составляет $2N$.

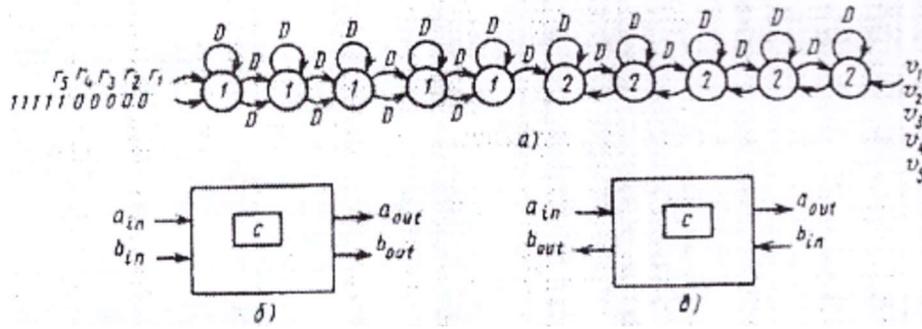


Рис. 4. Граф потока сигналов при проекции по направлению $d^T = (0,1)$ и линейном планировании $s^T = (1,1)$ с двумя типами ПЭ

Граф потока сигналов при $d^T = (1,0)$ и $s^T = (1,1)$ представлен на рис. 5а. Полученный по нему СВ состоит из двух типов ПЭ (рис. 5б, рис 5в). В данном случае также требуется предварительная загрузка F_{ij} .

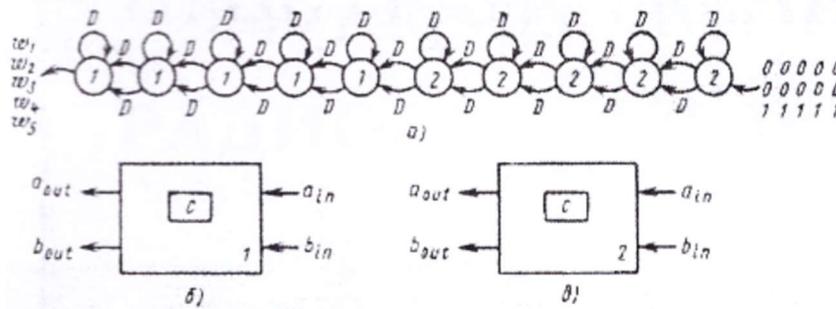


Рис. 5. Граф потока сигналов при проекции по направлению $d^T = (1,0)$ и линейном планировании $s^T = (1,1)$ с двумя типами ПЭ

Граф потока сигналов, при нелинейной проекции $d^T = (0,1)$ для верхних узлов ГЗ и $d^T = (1,0)$ для нижних узлов ГЗ представлен на рис. 6а. Он состоит из одного типа ПЭ (рис 6б).

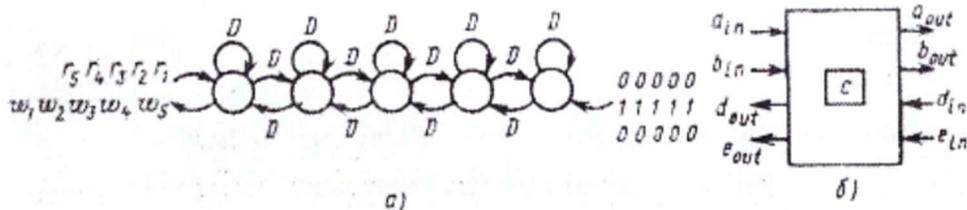


Рис. 6. Граф потока сигналов, при нелинейной проекции

Учитывая, что операции, выполняемые ПЭ всех СВ (рис. 3–6), приблизительно однотипны и требуют практически одинаковых временных затрат,

а также равное число связей между ПЭ, нелинейное проецирование, позволившее получить СВ (рис. 6), является более предпочтительным по сравнению с линейным.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Журавлев А. К., Глушанков Е. И., Конторович В. Я. и др. Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. Л.: ЛГУ, 1991. 588 с.
2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. М.: Мир, 1991.
3. Фрумкин М. А. Систолические вычисления. М.: Наука, 1990.
4. Глушанков Е. И., Колесников А. Н., Мотков В. И., Родимов В. А. Аппроксимация выборочных корреляционных матриц матрицами специального вида в задачах адаптации центрально – симметричных антенных решеток // В сб.: Пространственно – временная обработка сигналов в системах радиосвязи. – Приложение к журналу «Радиотехника», 1992. С. 41–52.

УДК 621.396

ГРНТИ 49.37.29

АЛГОРИТМ ДЕКОДИРОВАНИЯ БЛОКОВЫХ КОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПСЕВДООБРАЩЕНИЯ ПОРОЖДАЮЩЕЙ МАТРИЦЫ

Е. И. Глушанков, Е. А. Курбатова, М. А. Мебония

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

Рассмотрен алгоритм декодирования блоковых кодов с использованием псевдообращения порождающей матрицы. Предложен модифицированный алгоритм псевдообращения, основанный на скелетном представлении квадратной матрицы и показана возможность его применения для декодирования.

блоковые коды, порождающая матрица, псевдообращение матрицы, декодирование.

Кодирование и декодирование несистематических блоковых кодов (как обыкновенных линейных, так и циклических) возможно с использованием порождающей матрицы кода, способы нахождения которой достаточно подробно изложены в литературе [1–3]. Так, блоковый (n,k) -код полностью определяется порождающей матрицей G размером $(n,n-k)$ с двоичными матричными элементами. При этом каждое кодовое слово является линейной

комбинацией строк матрицы G , а каждая линейная комбинация строк G – кодовым словом.

Простейший способ декодирования блоковых кодов после исправления ошибок в кодовой комбинации синдромным или итерационным методом состоит в умножении принятого кодового вектора на обратную порождающую матрицу. Методы построения обратной матрицы были рассмотрены в [4–5], однако в связи со сложностью и низкой точностью подобные процедуры не получили широкого распространения на практике. В связи с тем, что порождающая матрица является прямоугольной, необходимо осуществлять не обыкновенное обращение, а псевдообращение порождающей матрицы. В настоящее время появились различные достаточно эффективные методы псевдообращения [6], что позволяет вернуться к использованию данной процедуры при декодировании несистематических блоковых кодов. В данном случае псевдообращение можно понимать, как наилучшую аппроксимацию (по методу наименьших квадратов) решения соответствующей системы линейных уравнений, первым этапом которой является скелетное разложение матрицы, а вторым – непосредственно поиск решения системы через псевдообращение. Запишем модифицированный алгоритм псевдообращения следующим образом:

```
clc
```

```
clear all
```

```
%берем порождающую матрицу:
```

```
por = [1 1 0 1 0 0 0 ; 0 1 1 0 1 0 0 ; 1 1 1 0 0 1 0 ; 1 0 1 0 0 0 1];
```

```
%произвольный двоичный четырехэлементный информационный вектор:
```

```
vek = [ 1 1 0 1];
```

```
%получаем семиэлементный вектор путем умножения:
```

```
semel = vek*por;
```

```
%псевдообразная от порождающей:
```

```
psev = pinv(por);
```

```
%получаем исходный вектор:
```

```
ishvek = semel*psev;
```

Результаты моделирования для различных информационных векторов:

Порождающая матрица:

```
por =
```

1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	0	1

Произвольный вектор:

vek =

1	1	0	1
---	---	---	---

semel =

2	2	2	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---

psev =

0.2500	-0.2500	0.1250	0.2500
0.2500	0.2500	0.1250	-0.2500
-0.2500	0.2500	0.1250	0.2500
0.5000	0.0000	-0.2500	0.0000
-0.0000	0.5000	-0.2500	-0.0000
-0.2500	-0.2500	0.6250	-0.2500
0.0000	0.0000	-0.2500	0.5000

Полученный вектор, равный произвольному исходному:

ishvek =

1.0000	1.0000	-0.0000	1.0000
--------	--------	---------	--------

Таким образом, использование метода псевдообращения порождающей матрицы позволяет осуществить простую процедуру декодирования блоковых несистематических кодов.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Коржик В. И., Финк Л. М. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой. М.: Связь, 1975. 271 с.
2. Варгаузин В. А., Цикин И. А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 352 с.
3. Волков Л. Н., Немировский М. С., Шинаков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.
4. Берликэмп Э. Алгебраическая теория кодирования. М.: Мир, 1971. 478 с.
5. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2005. 320 с.
6. Цехан О. Б. Матричный анализ. Гродно: ГГУ, 2010. 372 с.

УДК 681.391
ГРНТИ 47.05.09

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЛУЧАЙНОГО ПЕРЕМЕЖИТЕЛЯ В ЛИНИЯХ РАДИОСВЯЗИ С ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫМ КОДИРОВАНИЕМ

Е. И. Глушанков, В. В. Пуршель

В работе рассмотрено применение перемежения для повышения помехоустойчивости в линиях радиосвязи. Проведён анализ применения случайного перемежителя в радиолиниях с помехоустойчивым кодированием. Рассмотрены различные виды перемежителей и различные типы помехоустойчивых кодов. Анализ проведен в среде Simulink.

помехоустойчивое кодирование, перемежение символов, Simulink.

В телекоммуникационных системах, где сообщения передаются с использованием многопозиционных видов модуляции, таких как M-PSK, M-QAM и др., при ошибочном приёме одного сигнала на выходе демодулятора возникают пакеты ошибочно принятых символов. В результате увеличивается количество ошибочных двоичных символов в принятой кодовой последовательности и снижается способность используемого кода исправлять ошибки [1].

В этом случае одним из возможных решений является рассредоточение пакетов ошибок с помощью перемежителя на передаче и деперемежителя на приеме. При таком подходе последовательность на выходе кодера подвергается перемежению до передачи по каналу и восстанавливается перед декодированием. Блок-схема системы связи, использующей перемежитель показана на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема системы связи, использующей перемежитель

Перемежением называется такое изменение порядка следования элементов последовательности, при котором любые два её элемента, находя-

щиеся в пределах расстояния s элементов друг от друга, оказываются разнесёнными на расстояние не меньше s [2]. Перемежение является обратимым избыточным преобразованием, а процедуру, обратную перемежению, называют деперемежением. За счёт деперемежения восстанавливается естественный порядок следования элементов.

Основное назначение перемежения – повышение помехозащищённости системы связи. Также перемежение усложняет структуру сигналов, что затрудняет несанкционированный доступ к содержащейся в них информации [2].

Системы связи с перемежением являются перспективным методом передачи сообщений, обеспечивая высокую спектральную эффективность и высокую надёжность. Перемежение применяется в цифровом наземном телевизионном вещании (стандарты DVB-T2 и DVB-C2) и спутниковом (DVS-S2), а также в системах мобильного беспроводного доступа стандартов WiMax/WiMax2, где они применяются в сочетании с турбокодами [1].

Для исследования влияния перемежителя в системах связи с помехоустойчивым кодированием были разработаны две имитационные модели в системе моделирования Simulink (рис. 2, 3). В основу моделей положены следующие элементы, встроенные в библиотеки Simulink:

- Генератор случайных двоичных чисел Бернулли;
- Кодер;
- Блок случайного перемежителя;
- Модулятор (16-QAM);
- Канал с АБГШ;
- Демодулятор (16-QAM);
- Блок случайного деперемежителя;
- Декодер;
- Вычислитель ошибок.

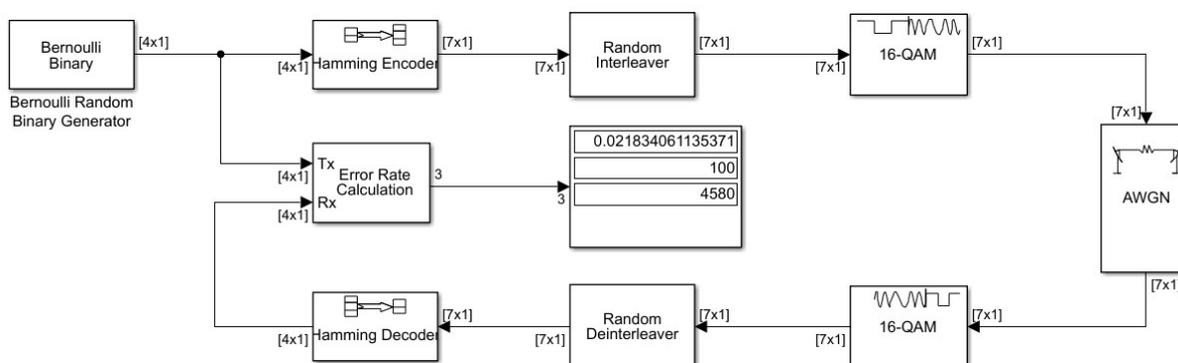


Рис. 2. Имитационная модель с перемежением в системе моделирования Simulink

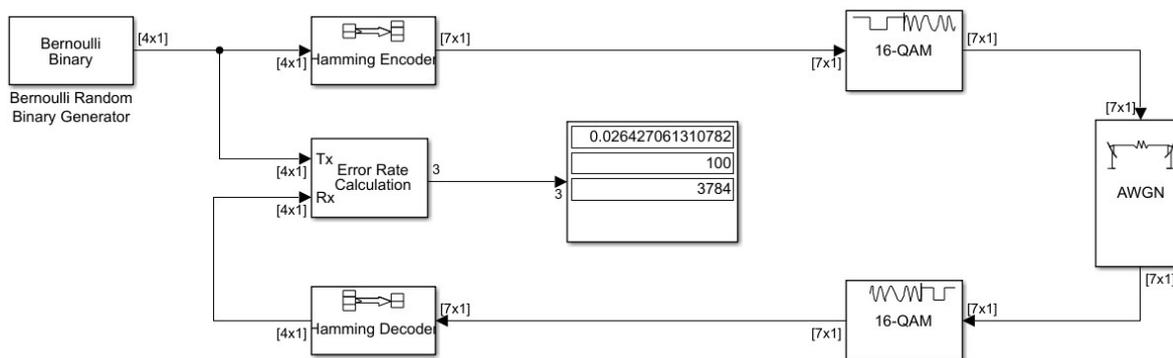


Рис. 3. Имитационная модель без перемежения в системе моделирования Simulink

Для проведения исследования был выбран случайный перемежитель. Случайный перемежитель устраняет регулярные зависимости в кодированной последовательности. Перестановка элементов случайного перемежителя генерируется с помощью датчика случайных чисел в диапазоне, ограниченном периодом перемежения.

Кодирование и декодирование осуществляется такими кодами как:

- код Хэмминга;
- код Боуза – Чоудхури – Хоквингема;
- код Рида – Соломона.

В таблице 1 представлены результаты исследования.

ТАБЛИЦА 1. Результаты исследования

Код	Частота битовых ошибок для модели без перемежения	Частота битовых ошибок для модели с перемежением
Хэмминга	0,0218	0,0264
Боуза – Чоудхури – Хоквингема	0,0047	0,0071
Рида – Соломона	0,0388	0,0429

Из полученных результатов исследования можно сделать вывод, что применение перемежения ведёт к повышению помехоустойчивости. Частота битовых ошибок может быть снижена в 1,5 раза благодаря использованию перемежения. В дальнейших работах будет рассмотрено применение псевдослучайного перемежения в системах ММО и применение псевдослучайного перемежения в системах с турбокодами.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Быховский М. А. Гиперфазовая модуляция – оптимальный метод передачи сообщений в гауссовских каналах связи. М. : ТЕХНОСФЕРА, 2018. 310 с.
2. Баринев А. Ю. Перемежение в канальном кодировании: свойства, структура, специфика применения // Журнал радиоэлектроники. 2019. N 1.

УДК 681.391
ГРНТИ 47.05.09

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛЬНО-КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МКМ С ТК/КАМ

Е. И. Глушанков, В. В. Пуршель

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

В работе рассмотрено применение сигнально-кодированных конструкций с МКМ на основе турбокодов и QAM. Разработана модель таких сигнально-кодированных конструкций и проведен их анализ в среде Simulink. На основе анализа показана высокая эффективность подобных методов совместного кодирования и модуляции, что позволяет рекомендовать их для применения в радиотехнических системах.

сигнально-кодированные конструкции, помехоустойчивое кодирование, Simulink, код Соломона-Рида, турбокод.

Для исследования сигнально-кодированных конструкций на основе МКМ была разработана имитационная модель в среде моделирования Simulink (рис. 1). Модель демонстрирует работу кодера Рида-Соломона и турбокодера. Такая конструкция позволяет исследовать исправляющую способность кодов для разных видов модуляции.

В основу схемы положены следующие элементы, встроенные в библиотеку Simulink:

- Bernoulli Binary Generator;
- Binary Input RS Encoder;
- Turbo Encoder;
- Rectangular QAM Modulator Baseband;
- Блок OSTBC;
- MIMO Channel;
- AWGN Channel;
- Блок Squeeze;

- Блок OSTBC;
- Rectangular QAM Demodulator Baseband;
- Unipolar to Bipolar Converter;
- Turbo Decoder;
- Binary Output RS Decoder;
- Error Rate Calculation;
- Discrete Time Scatter Plot Scope;
- FER Display (дисплей, отражающий ошибки).

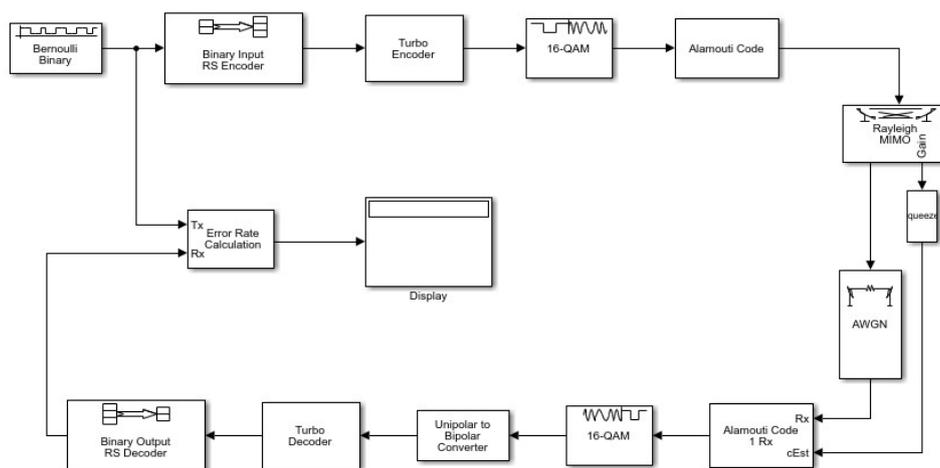


Рис. 1. Имитационная модель в среде Simulink

Блок «Binary Input RS Encoder» демонстрирует работу кода Рида-Соломона. Код Рида-Соломона является частным случаем кодов Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ-коды) [1]. Код Рида-Соломона принадлежит к классу кодов с максимально достижимым расстоянием, у которых при заданной кодовой скорости кодовое расстояние между кодовыми конструкциями имеет наибольшее значение. Такие коды могут обеспечить высокую надёжность связи при сравнительно небольшой длине, и в то же время имеют достаточно простой алгоритм декодирования [2].

Популярным видом кода Рида-Соломона является RS (255, 223) с 8-битными символами.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики кода Рида-Соломона

Длина кодового слова	255
Количество информационных символов	223
Количество символов чётности	32
Максимальное число ошибок в кодовом слове	16

Объем вычислительной мощности, который необходим для кодирования и декодирования кода Рида-Соломона, зависит от числа

символов чётности. Большое значение числа символов чётности означает, что может быть исправлено большее число ошибок, но это потребует большей вычислительной мощности. Декодер может исправить 16 символов с ошибками в кодовом слове: то есть ошибки могут быть исправлены, если число искажённых байт не превышает 16 [3].

Блок «Turbo Encoder» демонстрирует работу турбокода. Турбокод представляет собой параллельный каскадный блочный или сверточный код, связанный с перемежителем информационных символов, который способен исправлять ошибки, возникающие при передаче цифровой информации по каналу связи.

Термин «турбо» отражает свойства, используемые при декодировании итеративного алгоритма: информация с выхода одной итерации декодирования поступает на вход второй итерации декодирования и т. д. Количество итераций декодирования зависит от обеспечения заданной достоверности передачи информации и может составлять несколько десятков. Декодирование с наибольшей апостериорной вероятностью используется для составляющих кодов. В связи с этим турбокоды позволяют практически приблизиться к границе Шеннона. Реальный проигрыш составляет не более 0,5 дБ [4].

ТАБЛИЦА 2. Характеристики турбокода

Порождающие многочлены	133, 171
Свободное расстояние по Хэммингу	10
Скорость кодирования	1/2
Длина кодового слова	6

Такая конструкция стандартизирована для многих систем передачи информации. Например, подобная схема используется для передачи телеметрической информации с космических аппаратов и является основным методом помехоустойчивого кодирования стандарта цифрового телевизионного вещания DVB. Использование каскадных кодов позволяет получить дополнительный энергетический выигрыш от кодирования порядка 3–5 дБ.

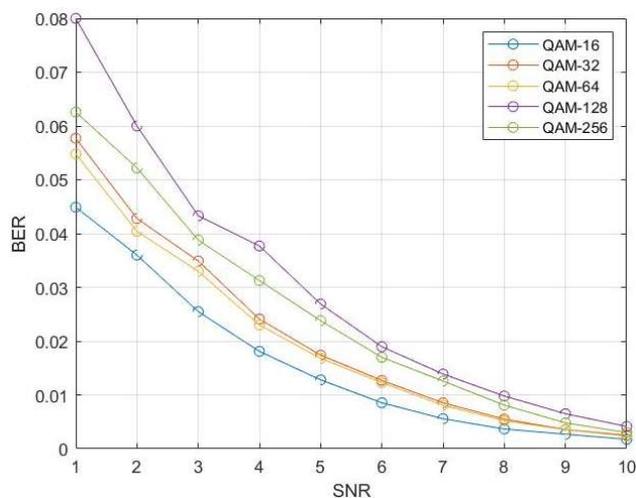


Рис. 2. Результаты исследования помехоустойчивости приёма СКК в системах с QAM-M модуляцией при значениях SNR от 1 до 10 дБ

Анализ характеристик каскадных кодов показывает, что они на несколько децибел отстают от предела Шеннона. Одна из причин снижения эффективности их использования – кодирование внутренним кодером как информационных, так и проверочных символов внешнего кода ведёт к нерациональной трате пропускной способности канала [5].

Результаты исследования показывают (рис. 2), что использование СКК положительно влияет на помехоустойчивость при передачи канале связи.

Канстелляционные диаграммы (рис. 3) показывают, что декодер Рида-Соломона и турбодекодер обеспечивают полноценное восстановления сигнала.

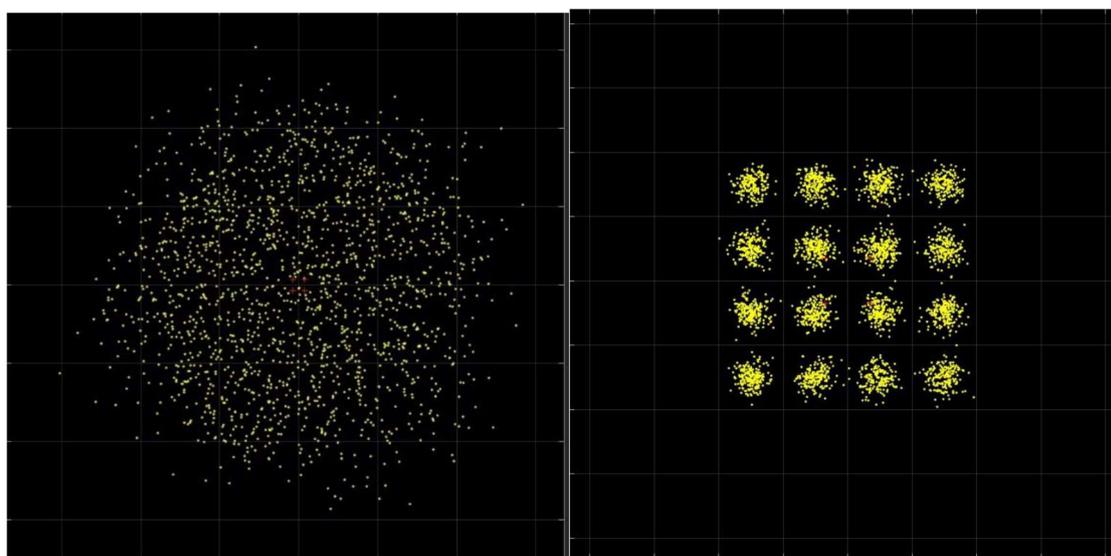


Рис. 3. Канстелляционные диаграммы QAM-16 сигнала на входе приёмника и после декодирования

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Дружин В. И., Кузьмин О. В. Коды Рида – Соломона в системах обнаружения и исправления ошибок при передаче данных // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 1. С. 116–124.
2. Быховский М. А. Гиперфазовая модуляция – оптимальный метод передачи сообщений в гауссовских каналах связи. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. 310 с.
3. Голиков А. М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учебное пособие. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2016. 516 с.
4. Королев А. И., Конопелько В. К. Турбокоды и итеративное декодирование: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУИР, 2015. 74 с.
5. В. Л. Банкет, С. Д. Прокопов, А. Г. Постовой, Ф. В. Турбокоды и их применение в телекоммуникационных системах // ЗВ'ЯЗОК – 2004. № 3. С. 45–47.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.33.29

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ

Е. И. Глушанков, В. А. Размыслова

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

В задаче оценки координат подвижных объектов широкое практическое применение получил алгоритм фильтрации Калмана, который реализует оптимальное байесовское решение при условии, что модели динамической системы и наблюдений линейны, а статистические характеристики шумов гауссовские. В работе синтезирован модифицированный для оценки координат в низкоорбитальных спутниковых радиотехнических системах фильтр Калмана и проведено моделирование его работы в MATLAB.

MATLAB, фильтр Калмана, оценка координат, уравнение состояния, уравнение наблюдения.

Рассмотрим задачу измерения положения объекта для оценки фактической скорости его перемещения в низкоорбитальных спутниковых системах. Возьмем за основу алгоритма цифровой фильтр Калмана, проанализируем его чувствительность по методике, предложенной в [1]. При реализации программы в MATLAB частично используем результаты [2].

Пусть уравнение состояния объекта в дискретном времени после дискретизации с интервалом дискретизации Δt имеет следующий вид:

$$x_{k+1} = \Phi x_k + w_k;$$

$$\Phi = e^{A\Delta t};$$

$$A = [0 \ 1; 0 \ 0];$$

$$w_k \sim N(0, Q);$$

$$Q = [0 \ 0; 0 \ 1],$$

где x_k – координаты объекта.

Модель измерения запишем в виде

$$y_{k+1} = [1 \ 0]x_{k+1} + v_k;$$

$$v_k \sim N(0,1).$$

Решение поставленной задачи оценки координат низкоорбитальной спутниковой радиотехнической системы, описываемых заданными уравнениями состояния и наблюдения, реализуем отслеживанием объекта с помощью модифицированного фильтра Калмана и проведем его анализ в среде *Matlab*.

Сама реализация требует предоставления начальных параметров модели, включая параметры гауссовского процесса, которые представляют собой матрицы пространства состояний. Зададим их в виде

```
A = expm([0 1; 0 0] * Δt);  
B = [0; 0];  
C = [1 0];  
D = 0;
```

а начальное состояние объекта оценивания

```
x0 = [0; 10].
```

Зададим ковариационные матрицы шумов состояния (формирующего шума) и наблюдения следующим образом:

```
Q = diag([0; 1]);  
R = 1;
```

Определим параметры для фильтра Калмана, которые могут иметь разные значения, чтобы имитировать несоответствие модели реальным данным и исследовать чувствительность алгоритма оценивания

```
A1 = A;  
B1 = B;  
C1 = C;  
D1 = D;  
Q1 = Q;  
R1 = R;  
P1 = eye(2).
```

Ограничим количество выборок до 100 и обозначим фактическую позицию координаты объекта

```
Xtrue = y1(:, 1);
```

и скорость его перемещения

```
Vtrue = y1(:,2);
```

Измеренное положение представим как:

```
z = y2;  
t = t*Δt;
```

Зададим фильтр Калмана функцией

```
sim('kalmanfilter',tspan,[],[0 u]).
```

Произведем оценку отклонения истинной позиции и расчетного перемещения по Калману путем построения соответствующего графика на рис. 1. При построении графика по оси абсцисс возьмем значения времени в секундах, а по оси ординат – местоположение объекта в метрах.

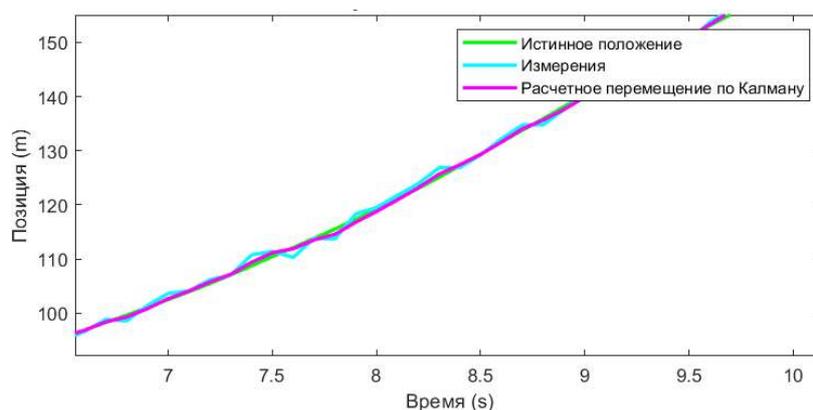


Рис. 1. Результат оценки позиции

Для анализа отклонения скорости воспользуемся функцией *InstantV* для оценки скорости по необработанным выборкам, для оценочной скорости по скользящему среднему воспользуемся функцией *InstantVAverage*, истинную скорость зададим как V_{true} , а значение на выходе фильтра обозначим как $X = y_3$.

Для построения графика воспользуемся функцией *set(gcf,'Position')*. По оси абсцисс и ординат возьмем значения соответственно времени в секундах и скорости в метрах в секунду. Результат моделирования на рис. 2.

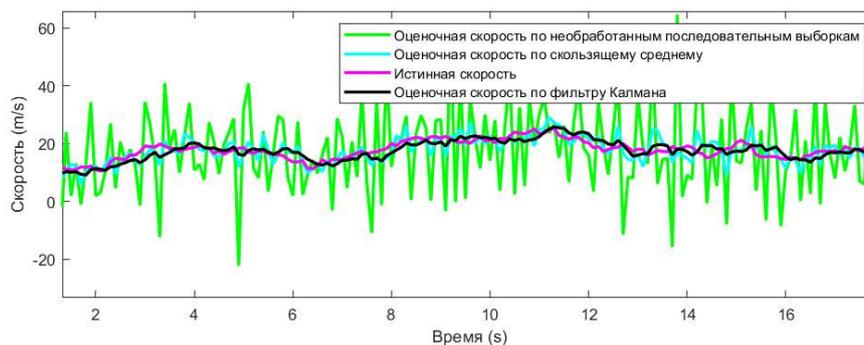


Рис. 2. Результат оценки отклонения скорости

```

% Анализ скорости
% Мгновенная скорость, получена из 2х последовательных
% измерений положения
InstantV = [10;diff(z)/dt];
% Мгновенная скорость из тех же измерений
WindowSize = 5;
InstantVAverage = filter(ones(1,WindowSize)/WindowSize,1,InstantV);
figure;
subplot(212)
plot(t,InstantV,'g',t,InstantVAverage,'c',t,Vtrue,'m',t,X(:,2),'k','linewidth',2);
title('Результаты оценки скорости');
xlabel('Время (s)');
ylabel('Скорость (m/s)');
legend('Оценочная скорость по необработанным последовательным выборкам','Оценочная скорость по скользящему среднему','Истинная скорость','Оценочная скорость по фильтру Калмана','Местоположение','NorthWest');
set(gcf,'Position',[100 100 600 800]);
subplot(2,1,2)
xlim([2.7 17.7])
ylim([-23 67])
% Построим систему с двумя входами и двумя выходами для четырех состояний
% и ненулевым отклонением
dt = 0.1;
A = [0.8110    -0.0348    0.0499    0.3313
      0.0038    0.9412    0.0184    0.0399
      0.1094    0.0094    0.6319    0.1080
      -0.3186   -0.0254   -0.1446    0.8391];
B = [-0.0130    0.0024
      -0.0011    0.0100
      -0.0781    0.0009
      0.0092    0.0138];
C = [0.1685   -0.9595   -0.0755   -0.3771
      0.6664    0.0835    0.6260    0.6609];
D = [0.2 0;0 0.1];

```

```
Q=diag([0.5^2 0.2^2 0.3^2 0.5^2]); % отклонение технологического шума
R=eye(2); % дисперсия шума измерения
x0 = randn(4,1); % случайное начальное состояние
% настройка ФК
A1 =A;
B1 = B;
C1 = C;
D1 = D;
Q1 = Q;
R1 = R;
x1 = zeros(4,1); % исходное состояние нулей
P1 = 10*eye(4); % ковариация нач. состояния
% Настройка моделирования для временного интервала в 100 выборок
tspan = [0 1000];
u = [(0:100:1000)' randn(11,2)]; % случайное изменение через каждые 100 выборок
[t,x,y1,y2,y3,y4] = sim('kalmanfilter',tspan,[],u); % моделирование
% результаты графика и отображения
t = t*dt;
figure
set(gcf,'Position',[100 100 600 800])
for k=1:4
    subplot(4,1,k)
    plot(t,y1(:,k),'b',t,y3(:,k),'r','linewidth',2);
    legend('Фактическое состояние','Расчетное состояние','Местоположение','best')
    title(sprintf('Состояние %i',k))
end
xlabel('время, s')
```

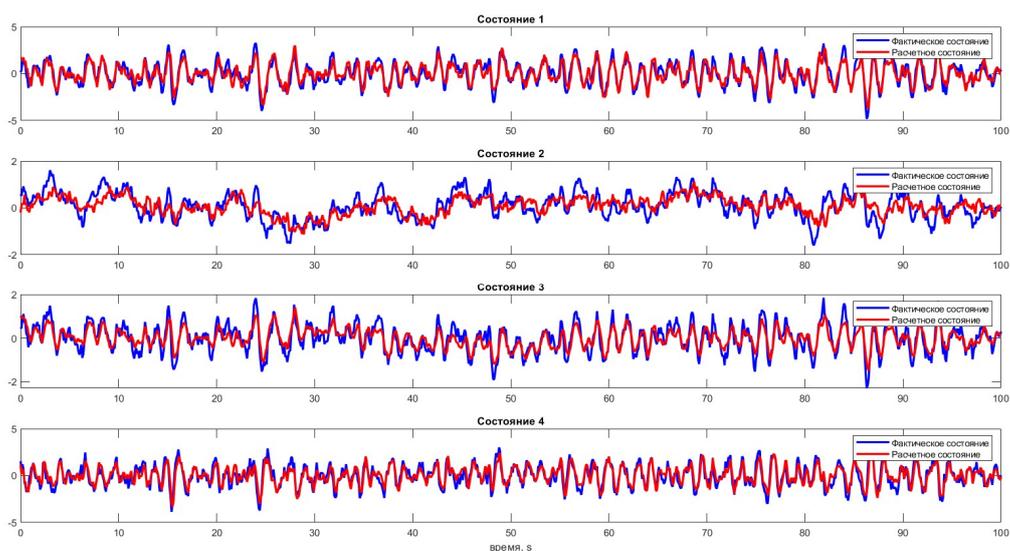


Рис. 3. Результат построения для входных данных и данных предсказания фильтром Калмана.

Как показали результаты представленного анализа фильтр Калмана является эффективным методом оценивания координат объекта в низкоорбитальных спутниковых системах. При этом, если уравнение состояния системы линейное и известное, а также совпадает с заданным при синтезе фильтра, то фильтр Калмана позволяет получить наилучшее решение. Если уравнение нелинейное, то фильтр Калмана будет наилучшим среди линеаризованных фильтров. Анализ чувствительности показал, что при достаточно больших (до 15 %) отклонениях параметров модели калмановский фильтр не теряет устойчивости и погрешность в определении координат по сравнению с реальными данными в угломестной плоскости не превосходит 3–5 %, что является приемлемым и позволяет рекомендовать алгоритм к применению в низкоорбитальных спутниковых системах.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.
2. Adjouadi M., Barreto A. NO-larnnithipong, F.Ortega Intuitive understanding of Kalman filtering with MATLAB (2021).

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ С УЧЁТОМ БЛОЧНО-ТЕПЛИЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ

Е. И. Глушанков, А. А. Хренов

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

В статье синтезирован и проанализирован с использованием среды MATLAB алгоритм пространственной обработки сигналов (ПОС) для реализации в прямоугольных антенных решетках (АР) с учётом блочно-теплицевой структуры корреляционной матрицы (КМ). Показано, что учет специальной структуры матрицы позволяет упростить алгоритм ПОС без потери точности обработки.

пространственная обработка сигналов, алгоритм Воеводина, блочно-теплицева матрица, антенная решетка, вектор весовых коэффициентов.

Для исследования алгоритмов ПОС зададим математическую модель прямоугольной АР [1]. Антенные элементы располагаются в плоскости $x - y$, как показано на рис. 1, в направлении оси x решетка имеет N_x элементов, расположенных параллельными столбцами на расстоянии d_x друг от друга. В направлении оси y размещены N_y элементов в виде параллельных строк с расстоянием d_y .

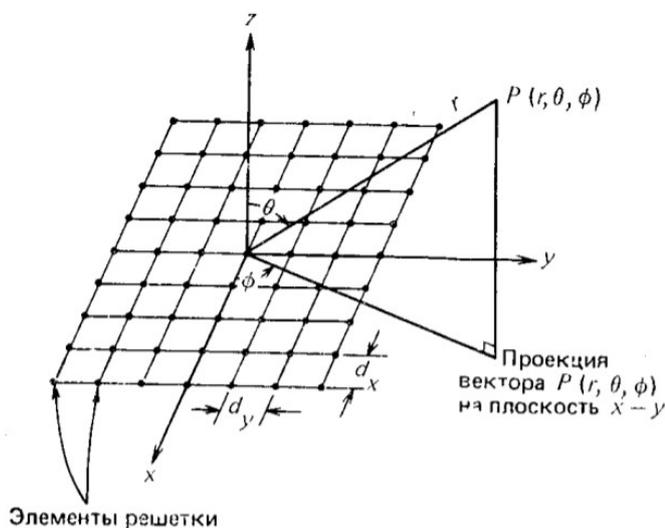


Рис. 1. Прямоугольная антенная решетка

Общее число элементов равно произведению N_x на N_y .

Векторная сумма составляющих сигналов от элементов каждого отдельного столбца такой решетки равна соответствующей сумме сигналов линейной решетки и определяется выражением, где $x(t)$ – полезный сигнал:

$$y(t) = \sum_{i=1}^{N_x} x(t) e^{j(i-1)\psi_x},$$

а

$$\psi_x = 2\pi \left(\frac{d_x}{\lambda_0} \right) \sin \theta \cos \varphi, \quad \psi_y = 2\pi \left(\frac{d_y}{\lambda_0} \right) \sin \theta \sin \varphi.$$

Из представленных выражений видно, что выходной сигнал прямоугольной решетки зависит от азимута φ и угла места θ источника сигнала. Длина волны λ_0 соответствует частоте f_0 полезного сигнала $x(t)$. Результирующая векторная сумма составляющих сигналов для всех элементов решетки равна

$$y(t) = \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{k=1}^{N_y} x(t) e^{j(i-1)\psi_x} e^{j(k-1)\psi_y}.$$

В [2–3] показано, что в прямоугольной эквидистантной АР $N = N_x \times N_y$ ($2N \times 2N$)-мерная действительная КМ является блочно-теплицевой с числом блоков $N \times N$ и размером каждого блока 2×2 .

При этом корреляционная матрица будет иметь следующий вид:

$$R_{xx} = \begin{bmatrix} x_{1c}x_{1c} & x_{1c}x_{1к} & x_{1c}x_{2c} & x_{1c}x_{2к} & \cdots & x_{1c}x_{Nc} & x_{1c}x_{Nк} \\ x_{1к}x_{1c} & x_{1к}x_{1к} & x_{1к}x_{2c} & x_{1к}x_{2к} & \cdots & x_{1к}x_{Nc} & x_{1к}x_{Nк} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{Nc}x_{1c} & x_{Nc}x_{1к} & x_{Nc}x_{2c} & x_{Nc}x_{2к} & \cdots & x_{Nc}x_{Nc} & x_{Nc}x_{Nк} \\ x_{Nк}x_{1c} & x_{Nк}x_{1к} & x_{Nк}x_{2c} & x_{Nк}x_{2к} & \cdots & x_{Nк}x_{Nc} & x_{Nк}x_{Nк} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 & r_{-1} & r_{-2} & \cdots & r_{-2N+1} \\ r_1 & r_0 & r_{-1} & \cdots & r_{-2N+2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \cdots & r_{-2N+3} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{2N-1} & r_{2N-2} & r_{2N-3} & \cdots & r_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 & R_{-1} & \cdots & R_{-N+1} \\ R_1 & R_0 & \cdots & R_{-N+2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ R_{N-1} & R_{N-2} & \cdots & R_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где x_{ic} , x_{ik} – синфазная и квадратурная составляющие сигнала соответственно на выходе i -го антенного элемента;

$$R_i = \begin{pmatrix} r_{2i} & r_{2i-1} \\ r_{2i+1} & r_{2i} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}.$$

Будем рассматривать 4-элементную прямоугольную АР $N = 4$ с $N_x = N_y = 2$ и запишем, используя выражение (1), КМ для такой АР в виде:

$$R_{xx} = \begin{bmatrix} R_0 & R_{-1} & R_{-2} & R_{-3} \\ R_1 & R_0 & R_{-1} & R_{-2} \\ R_2 & R_1 & R_0 & R_{-1} \\ R_3 & R_2 & R_1 & R_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Для решения системы с блочно-теплицевой матрицей будем использовать алгоритм Воеводина [4]. Для этого рассмотрим решение уравнения вида:

$$R_{xx} W^{(k)} = R_{xz}^{(k)}$$

Здесь R_{xx} – блочно-теплицева матрица, вида (2), правая часть представляет вектор $R_{xz} = [r_{xz_0} \ r_{xz_1} \ \cdots \ r_{xz_{2N}}]^T = [R_{xz_0} \ R_{xz_1} \ \cdots \ R_{xz_N}]^T$, где

$R_{xz_0} = \begin{bmatrix} r_{xz_0} & r_{xz_1} \end{bmatrix}^T$. Искомый вектор W состоит из блоков $p \times p$, как и R_{xz} .

Приведем блочный вариант метода усечённых систем:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{k} = 0: \\
 & W_0^{(0)} = R_0^{-1} \cdot R_{xz_0}, \\
 & \mathbf{k} = 1, \dots, n-1: \\
 & e_k = R_{xz_k} - R_k \cdot W_0^{(k-1)} - \dots - R_1 \cdot W_{k-1}^{(k-1)}, \\
 & \omega_k = Q_k \cdot e_k, \\
 & \begin{bmatrix} W_0^{(k)} & W_1^{(k)} & \dots & W_k^{(k)} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} W_0^{(k-1)} & W_1^{(k-1)} & \dots & W_{k-1}^{(k-1)} & 0 \end{bmatrix}^T + \\
 & + \begin{bmatrix} Y_0^{(k)} & Y_1^{(k)} & \dots & Y_k^{(k)} \end{bmatrix}^T \cdot \omega_k
 \end{aligned} \tag{3}$$

Для поиска коэффициентов Q_k и параметров Y_k воспользуемся модифицированным алгоритмом [4]. В качестве Q_0 выберем $Q_0 = R_0^{-1}$ и произведем следующие вычисления:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{k} = 0: \\
 & Y_0^{(0)} = R_0^{-1} \cdot Q_0^{-1}, \\
 & \mathbf{k} = 1, \dots, n-1: \\
 & G_k = R_{-1} \cdot Y_0^{(k-1)} + R_{-2} \cdot Y_1^{(k-1)} + \dots + R_{-k} \cdot Y_{k-1}^{(k-1)}, \\
 & p_k = -Q_{k-1} \cdot \alpha \cdot G_k, \quad Q_k = (I - p_k^2)^{-1} \cdot Q_{k-1}, \\
 & \begin{bmatrix} Y_0^{(k)} & Y_1^{(k)} & \dots & Y_k^{(k)} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \beta Y_{k-1}^{(k-1)} & \dots & \beta Y_0^{(k-1)} & 0 \end{bmatrix}^T \cdot p_k + \\
 & + \begin{bmatrix} 0 & Y_0^{(k-1)} & Y_1^{(k-1)} & \dots & Y_{k-1}^{(k-1)} \end{bmatrix}^T,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где α и β – квадратные блоки порядка p , причем такие, что: $\alpha^2 = \beta^2 = I$.

$$\alpha = \beta = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Анализ и оценку работы алгоритма (3)–(4) будем проводить в программе MATLAB по двум параметрам.

Первый из них это оценка по значению ошибки:

$$e = s - W^T \cdot X,$$

где s – образцовый сигнал, W – вектор весовых коэффициентов, полученный путем вычислений алгоритма, X – вектор сигнала с помеховой и шумовой составляющими.

Второй параметр – это отношение мощности сигнала к мощностям шума и помехи (ОСШП), определяемое в виде:

$$P = W^T \cdot R_{xx} \cdot W.$$

Результаты работы алгоритма при количестве элементов линейной АР $N = 4$, фиксированных значениях азимута φ и угла места θ источника полезного сигнала и изменяющемся угле прихода помехи $\varphi_{\text{п}}$ в пределах от -90° до 90° представлены на рисунках ниже.



Рис. 2. Значение ошибки при угле прихода полезного сигнала 10° и 45°



Рис. 3. Значение ОСШП при угле прихода полезного сигнала 10° и 45°

Проанализировав полученные графики, можно сделать вывод о том, что весовой вектор W , полученный с помощью алгоритма Воеводина для блочно-теплицевой структуры матрицы, формирует оценочные показатели, отражающие работу алгоритма. Первый показатель минимизируется это – значение ошибки при принятии полезного сигнала. Второй, наоборот показывает максимум ОСШП в направлении угла прихода полезного сигнала или же в окрестности этого значения, которая получается вследствие влияния помехового сигнала и наличия шумовой составляющей.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. М.: Радио и связь, 1986г. 448 с.
2. Глушанков Е. И., Колесников А. Н., Мотков В. И., Родимов В. А. Аппроксимация выборочных корреляционных матриц матрицами специального вида в задачах адаптации центрально-симметричных антенных решеток // В сб.: Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи. – Приложение к журналу «Радиотехника», 1992. С. 41–52.
3. Glushankov, E. I., Kirik, D. I., Kirsanov, D. M., Rylov, E. A. Adaptation of antenna arrays with using correlation matrices of a special types // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings, 2021, 9488331
4. Воеводин В. В., Тыртышников Е. Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. М.: Наука, 1987. 320 с.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ

Е. И. Глушанков¹, В. И. Царик²

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
²ООО "Эйртэго"

Рассмотрены алгоритмы адаптивной пространственной фильтрации сигналов, основанные на прямых методах с учетом геометрии кольцевой антенной решетки (АР) и на итерационных процедурах. Проведено сравнение алгоритмов для реальных сигналов

и помех, воздействующих на вход AP , полученных на основе экспериментальных исследований радиолиний.

антенная решетка, пространственный фильтр, прямой метод адаптации, итерационный алгоритм, сопряженная циркулянтная матрица

1. Постановка задачи

Рассмотрим следующую постановку задачи пространственной фильтрации сигналов. Пусть в плоскости Oxy расположена кольцевая эквидистантная антенная решётка, состоящая из восьми антенных элементов (см. рис.). Центр решётки расположен в начале координат, радиус окружности равен 7,19 см. В верхнем полупространстве ($z > 0$) расположены источник полезного сигнала и источник помехи. На входе антенной решётки присутствует входной сигнал $x \in \mathbb{C}^{8 \times K}$, где K – количество временных отсчётов, представляющий собой аддитивную смесь полезного сигнала, помехи и шума, при этом уровень полезного сигнала выше уровня шума, а уровень помехи выше уровня полезного сигнала. Требуется синтезировать адаптивный пространственный фильтр, выходной сигнал y которого представляет собой выделенный из смеси с помехой и шумом полезный сигнал.

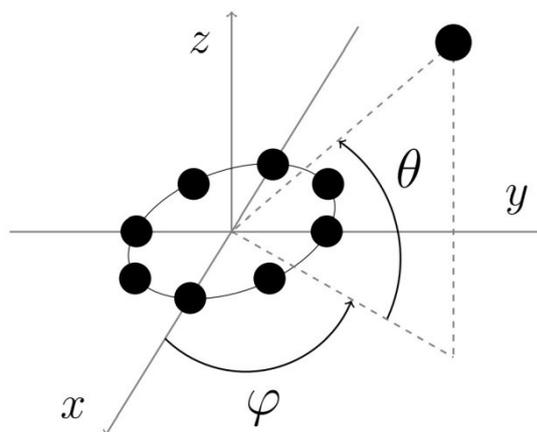


Рисунок. Взаимное расположение антенной решётки и источника сигнала

2. Построение фильтров

Рассмотрим несколько алгоритмов вычисления весовых коэффициентов пространственного фильтра, основанных на прямых и итерационных адаптивных процедурах.

2.1. Прямые алгоритмы

При использовании прямых алгоритмов весовые коэффициенты w вычисляются по формулам, представленным ниже, а выходной сигнал y представляет собой матрицу тех же размеров, что и входной сигнал x и определяется из выражения

$$y = wx.$$

2.1.1. Обращение мощности

В данном случае вычисление вектора весовых коэффициентов основывается на винеровском решении путем вычисления обратной корреляционной матрицы R^{-1} входного сигнала. Весовые коэффициенты определяются следующей формулой [1]:

$$w = \begin{pmatrix} 1 & \frac{R_{12}^{-1}}{R_{11}^{-1}} & \dots & \frac{R_{18}^{-1}}{R_{11}^{-1}} \\ \frac{R_{21}^{-1}}{R_{22}^{-1}} & 1 & \dots & \frac{R_{28}^{-1}}{R_{22}^{-1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{R_{81}^{-1}}{R_{88}^{-1}} & \frac{R_{82}^{-1}}{R_{88}^{-1}} & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

2.1.2. Формирование луча с приближённым вычислением и обращением циркулянтной корреляционной матрицы

При данном подходе для вычисления вектора весовых коэффициентов также используется обратная корреляционная матрица входного сигнала и дополнительно учитывается тот факт, что у восьмиэлементной кольцевой эквидистантной антенной решётки корреляционная матрица является сопряжённой циркулянтной [2–3]. При этом оценка сопряжённой циркулянтной корреляционной матрицы строится следующим образом [2–3]:

$$\hat{R}_{i,j} = \frac{1}{8(8-(j-i))} \sum_{k=1}^8 \sum_{l=1}^{8-j+i} x_l(k) x_{j-i+l}^*(k), i \leq j, \\ \hat{R}_{N+1-j,i} = \hat{R}_{i,j}^*, i > j.$$

Матрицу, обратную к полученной сопряжённой циркулянтной оценке, можно вычислить с применением специального итерационного алгоритма, увеличивающего скорость вычислений [4]. В результате весовые коэффициенты w фильтра определяются как [1]

$$w(\varphi, \theta) = \left(\frac{\hat{R}^{-1} a(\varphi, \theta)}{a(\varphi, \theta) \hat{R}^{-1} a(\varphi, \theta)} \right)^T,$$

где $a(\varphi, \theta)$ – управляющий вектор антенной решётки по направлению, заданному долготой φ и широтой θ (см. рис.), вычисляемый по формуле

$$a(\varphi, \theta) = \exp \left\{ i \frac{2\pi}{\lambda} uv \right\},$$

где i – мнимая единица, u – матрица декартовых координат антенных элементов, $v = (\cos \theta \cos \varphi, \cos \theta \sin \varphi, \sin \theta)^T$.

Оптимальные веса при этом выбираются из условия максимизации коэффициента подавления помехи:

$$w^* = \arg \max_{\varphi, \theta, j} 10 \lg \left(\frac{\mathbf{D}x_j}{\mathbf{D}\{w(\varphi, \theta)x\}} \right).$$

2.1.3. Использование спектрального разложения

В данном случае корреляционная матрица входного сигнала представляется в виде

$$R = VDV^*,$$

где V – матрица, составленная из собственных векторов R , D – диагональная матрица, составленная из собственных чисел $\lambda_1, \dots, \lambda_8$, для которых выполняются соотношения

$$\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \dots \approx \lambda_M < \lambda_{M+1} < \dots < \lambda_8$$

для некоторого $M \in [1, 8]$. Далее из матрицы V выбирается подматрица \tilde{V} , состоящая из первых M столбцов V . Тогда весовые коэффициенты w вычисляются по формуле [1]

$$w = \tilde{V}\tilde{V}^H.$$

2.2. Итерационный пространственный фильтр

В случае итерационной процедуры вычисления весовые коэффициенты w_k фильтра и отсчёты y_k выходного сигнала пересчитываются в соответствии с алгоритмом LMS по следующим формулам [5]:

$$\begin{aligned} w_0 &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T, \\ d_k &= x_{1,k}, x_k = (x_{2,k}, \dots, x_{8,k})^T, \\ y_k &= d_k - w_{k-1}^H x_k, \\ w_k &= w_{k-1} + \mu x_k y_k^*, \end{aligned}$$

где $k = 1, \dots, K$, μ – параметр алгоритма, называющийся «параметром забывания».

3. Результаты моделирования

Для сравнения работы алгоритмов были проведены эксперименты по обработке реальных экспериментальных записей спутниковых сигналов с широкополосной помехой различной мощности. Измерялось время работы алгоритмов и коэффициент подавления (КП) помехи, который вычисляется по формуле

$$\max_i 10 \lg \left(\frac{Dx_i}{Dy} \right).$$

После компенсации выходной сигнал подавался на вход программного приёмника SoftGNSS [6], где измерялось среднее отношение сигнал/шум (ОСШ) для обнаруженного источника полезного сигнала. Результаты обработки сигнала длиной $K = 5 \cdot 10^6$ отсчётов с абсолютным уровнем 28 дБ без помехи приведены в таблице 1. Из неё можно сделать вывод о том, что лучшие значения времени работы, КП и ОСШ даёт алгоритм, основанный на спектральном разложении. Низкая вычислительная сложность итерационного алгоритма не обеспечила более быстрое выполнение по сравнению с точными алгоритмами. Формирование луча начинает работать лучше обращения мощности только при достаточно высоком уровне помехи.

ТАБЛИЦА 1. Результаты экспериментов.

Абсолютный уровень сигнала с помехой, дБ	Алгоритм	Время работы, с	КП, дБ	ОСШ, дБ
55	Обращ.	0,92	16	43
	Луч.	1,23	17	25
	Спектр.	1,03	38	44
	Итер.	22,98	16	43
75	Обращ.	0,92	32	38
	Луч.	1,28	34	25
	Спектр.	1,03	56	42
	Итер.	24,42	35	42
85	Обращ.	0,93	34	25
	Луч.	1,35	37	26
	Спектр.	0,96	60	37
	Итер.	22,87	44	42

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Van Trees H. L. Optimum Array Processing. Part IV of Detection, Estimation and Modulation Theory. New York : John Wiley and Sons, 2002. ISBN 0-471-09390-4.
2. Глушанков Е. И., Колесников А. Н., Мотков В. И., Родимов В. А. Аппроксимация выборочных корреляционных матриц матрицами специального вида в задачах адаптации центрально-симметричных антенных решеток // В сб.: Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи. Приложение к журналу «Радиотехника», 1992. С. 41–52.
3. Glushankov, E.I., Kirik, D.I., Kirsanov, D.M., Rylov, E.A. Adaptation of antenna arrays with using correlation matrices of a special types // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings, 2021, 9488331
4. Воеводин В. В., Тыртышников Е. Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. М. : Наука, 1987. 320 с.
5. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М. : Техносфера, 2013. 528 с. ISBN 978-5-94836-342-4.
6. Borre K., Akos D. M., Bertelsen N., Rinder P., Jensen S. H. A Software-Defined GPS and Galileo Receiver. A Single-Frequency Approach. Boston : Birkhäuser, 2007. 176 p. ISBN 978-0-8176-4390-4.

УДК 621.396.6
ГРНТИ 47.45.29

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЕМОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ МИМО, ОПТИМАЛЬНОГО ПО КРИТЕРИЮ МСКО

Е. И. Глушанков, Д. А. Цветков

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

Разработан алгоритм демодуляции для систем МИМО, оптимальный по критерию минимума среднеквадратической ошибки, на основе модифицированного фильтра Калмана. Выполнено исследование точности алгоритма и чувствительности к отклонениям параметров модели методом имитационного моделирования в среде MATLAB. Чувствительность исследовалась по дополнительному движению показателя качества фильтрации при вариациях параметров модели.

демодуляция, МИМО, MATLAB, фильтр Калмана, чувствительность.

Одним из наиболее распространенных и эффективных алгоритмов демодуляции в системах ММО являются алгоритмы, оптимальные по критерию минимума среднеквадратической ошибки (МСКО) [1–2]. При этом модель наблюдаемого сигнала на приёмной стороне можно записать в виде:

$$Y(t) = HX(t) + \eta,$$

где H – матрица комплексных коэффициентов передачи канала связи (матрица канала), $X(t)$ – вектор переданных символов размерности M , η – мерный комплексный гауссовский случайный вектор шума в канале связи. Размерность матриц определяется, исходя из количества приемных (M) и передающих (N) антенн.

Представим модель изменения во времени вектора переданных символов на входе приемных антенн в виде следующего стохастического дифференциального уравнения (СДУ), называемого уравнением состояния:

$$\frac{dX(t)}{dt} = F(t)X(t) + G(t)w(t) \quad (1)$$

где $X(t)$ – M -мерный вектор принимаемых сигналов, $F(t)$ и $G(t)$ – известные $M \times M$ -матрицы, $w(t)$ – M -мерный векторный белый шум.

Для удобства моделирования перейдем от СДУ к разностному стохастическому уравнению (РСУ) вида, представив

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{X(k+1) - X(k)}{\Delta t}$$

Тогда получим следующее РСУ:

$$X(k+1) = \Phi(k)X(k) + \Gamma(k)V(k) \quad (2)$$

$$\Phi(k) = I + \Delta t \cdot F(k) \quad (3)$$

$$\Gamma(k) = \Delta t \cdot G(k) \quad (4)$$

где Δt – интервал дискретизации, I – единичная матрица размера $M \times M$.

Определение коэффициентов СДУ (1) подробно изложено в [3–4] и в данной работе не рассматривается.

При представлении модели системы с ММО в форме разностных уравнений состояния и наблюдения (2)–(3) для оценивания $X(k)$ по критерию МСКО можно использовать модифицированный фильтр Калмана аналогично [5] в форме:

$$\hat{X}(k) = \Phi(k-1)\hat{X}(k-1) + K(k)[Y(k) - H(k)\Phi(k-1)\hat{X}(k-1)]$$

$$K(k) = P(k-1)H^T(k)[H(k)P(k-1)H^T(k) + V_\eta]$$

$$P(k) = \Phi(k)[I - K(t)H(t)]P(k - 1)\Phi^T(k) + V_w$$

где $K(k)$ – коэффициент усиления ФК, $P(k)$ – дисперсия ошибки оценивания, V_η , V_w – матрицы спектральных плотностей шумов $\eta(t)$ и $w(t)$ соответственно, I – единичная матрица.

На рис. 1 показан график зависимости дисперсии ошибки от отношения сигнал шум при точно заданных матрицах $F(t)$ и $G(t)$.

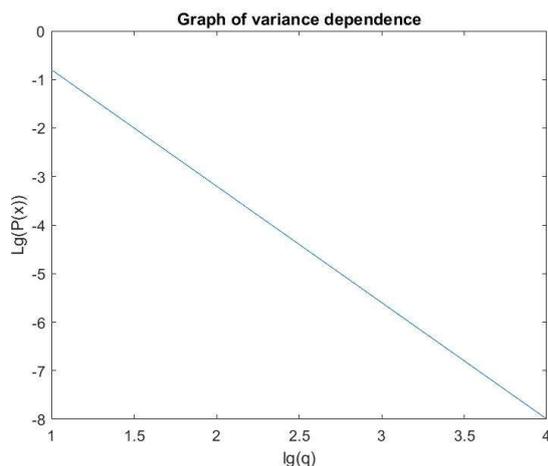


Рис. 1. График зависимости дисперсии ошибки от ОСШ при точно заданных матрицах $F(t)$ и $G(t)$

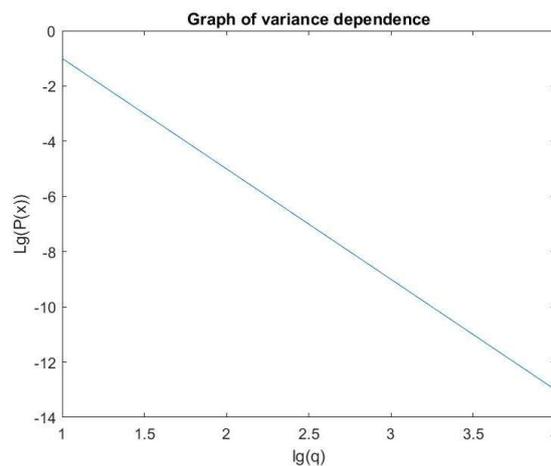


Рис. 2. График зависимости дисперсии ошибки от ОСШ при неточно заданных матрицах $F(t)$ и $G(t)$

Результаты моделирования ФК в среде MATLAB показали достаточно высокую точность рассматриваемых моделей. На рисунке 2 представлен график зависимости дисперсии ошибки от ОСШ при неточно заданных матрицах $F(t)$ и $G(t)$, который показал возможность использования ФК в задачах демодуляции при отклонениях реальных параметров сигналов от заданных при синтезе фильтров.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

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. Смирнов А. Э. Исследование и разработка алгоритмов обработки сигналов в системах беспроводной связи с большим количеством антенн : дисс. канд. техн. наук. – М.: МТУСИ, 2019. – 159 с.
3. Глушанков Е. И., Конторович В. Я. Математическое моделирование сигналов различной пространственной когерентности в системах радиосвязи // В кн.: Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1991. С. 432–466.

4. Glushankov E. I., Lyalina A., Rylov E. A. Modeling the satellite communication channel based on stochastic differential equations // CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2922, pp. 52–59.

5. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. 496 с.

6. Тиханов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.

УДК 681.5.015.7
ГРНТИ 29.37.23

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СИГНАЛ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В. С. Годына¹, С. В. Перелыгин², Б. М. Штейн²

¹ИООО «ЭПАМ СИСТЕМЗ» (Белоруссия)

²Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

Статья посвящена исследованию свойств специального измерительного сигнала с экспоненциально изменяющейся частотой. Представлены выражения, описывающие ЭЧМ-сигнал во временной и спектральной областях. Приведены и проиллюстрированы процедуры использующего ЭЧМ-сигнал метода профессора А. Фарина; дано их сравнение с традиционными способами измерений характеристик устройств.

экспоненциальная частотная модуляция, импульсная характеристика, спектральная плотность, свёртка.

Аналитические выражения

В 2000 году профессор Пармского университета Анджело Фарина предложил способ одновременного измерения импульсной характеристики и нелинейных искажений с использованием сигнала с экспоненциально нарастающей частотой [1–3] (в англоязычных статьях ESS – Exponential Sine Sweep; далее – ЭЧМ-сигнал):

$$s(t) = S_m \cdot \sin \left\{ 2\pi \cdot \frac{f_{нач} \cdot T_{ЭЧМ}}{\ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}} \cdot \left[\exp \left(\frac{t}{T_{ЭЧМ}} \cdot \ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right) - 1 \right] \right\}, \quad (1)$$

$f_{нач}$, $f_{кон}$ – начальная и конечная частоты тестового сигнала (выбираются в соответствии с измеряемым диапазоном частот);

$T_{ЭЧМ}$ – длительность тестового ЭЧМ-сигнала в секундах.

Можно переписать выражение (1) следующим образом:

$$s(t) = S_m \cdot \sin \left[2\pi \cdot \frac{f_{нач} \cdot T_{ЭЧМ}}{\ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}} \cdot \left(\left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

откуда полная фаза колебания:

$$\theta(t) = 2\pi \cdot \frac{f_{нач} \cdot T_{ЭЧМ}}{\ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}} \cdot \left[\left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}} - 1 \right], \quad (3)$$

а мгновенная частота:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} = f_{нач} \cdot \left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}} \quad (4)$$

Из (4) следует, что при $t = 0$ $f = f_{нач}$, а при $t = T_{ЭЧМ}$ $f = f_{кон}$.

Спектральная плотность ЭЧМ-сигнала

Выразим удельную мощность [4] ЭЧМ-сигнала (см. (1)), считая, что его мгновенная частота изменяется медленно в сравнении с её текущим значением для любого момента времени. Тогда мгновенной мощности ЭЧМ-сигнала можно поставить в соответствие среднюю за один период мощность синусоидального сигнала, которая не зависит от его частоты:

$$p(t) = \frac{S_m^2}{2}. \quad (5)$$

Из математической связи мощности и энергии финитного сигнала [4–5] можно выразить энергию ЭЧМ-сигнала за дифференциально малый промежуток времени dt :

$$dE(t) = p(t)dt = \frac{S_m^2}{2} dt. \quad (6)$$

Теперь возьмём производную от мгновенной частоты ЭЧМ-сигнала, найдём скорость изменения его мгновенной частоты:

$$v_f(t) = \frac{df(t)}{dt} = \frac{f_{нач} \cdot \ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}}{T_{ЭЧМ}} \cdot \left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}} \quad (7)$$

и её приращение за дифференциально малый промежуток времени dt :

$$df(t) = v_f(t)dt = \frac{f_{нач} \cdot \ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}}{T_{ЭЧМ}} \cdot \left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}} dt. \quad (8)$$

Выразим (7) через (4), получив зависимость скорости изменения мгновенной частоты не от времени, а от текущего значения самой мгновенной частоты:

$$v_f(f) = \frac{\ln(f_{кон} / f_{нач})}{T_{ЭЧМ}} \cdot f. \quad (9)$$

Найдём выражение, приближённо описывающее спектральную плотность энергии ЭЧМ-сигнала, зная правило дифференцирования двух параметрических функций [6]:

$$G(f) = \frac{dE}{df} = \frac{dE}{dt} \bigg/ \frac{df}{dt} = \frac{p(t)}{v_f(t)} = \frac{\frac{S_m^2}{2}}{\frac{f_{нач} \cdot \ln \frac{f_{кон}}{f_{нач}}}{T_{ЭЧМ}} \cdot \left(\frac{f_{кон}}{f_{нач}} \right)^{t/T_{ЭЧМ}}} \quad (10)$$

и далее произведём в (10) замену в соответствии с (9):

$$G(f) = \frac{dE}{df} = \frac{S_m^2 \cdot T_{\text{ЭЧМ}}}{2 \cdot \ln(f_{\text{кон}} / f_{\text{нач}})} \cdot \frac{1}{f}. \quad (11)$$

Частота f , являющаяся аргументом энергетической спектральной плотности ЭЧМ-сигнала, стоит в знаменателе выражения (11). Отсюда следует, что при увеличении частоты ЭЧМ-сигнала в 2 раза значение функции $G(f)$ уменьшится в 2 раза – будет иметь место спад 3 дБ на октаву (10 дБ на декаду) в сторону высоких частот. Отметим, что вычисление энергии ЭЧМ-сигнала в спектральной области:

$$E_f = \int_{f_{\text{нач}}}^{f_{\text{кон}}} \frac{S_m^2 \cdot T_{\text{ЭЧМ}}}{2 \cdot \ln \frac{f_{\text{кон}}}{f_{\text{нач}}}} \cdot \frac{1}{f} df = S_m^2 \cdot T_{\text{ЭЧМ}} / 2$$

даёт такой же результат, как и интегрирование выражения (5) по длительности ЭЧМ-сигнала (от 0 до $T_{\text{ЭЧМ}}$).

Амплитудная спектральная плотность ЭЧМ-сигнала может быть вычислена путём извлечения квадратного корня из выражения (11). Пример амплитудной спектральной плотности ЭЧМ-сигнала с параметрами: $f_{\text{нач}} = 11.7 \text{ Гц}$, $f_{\text{кон}} = 24 \text{ кГц}$, $T_{\text{ЭЧМ}} = 43 \text{ с}$ приведён на рис. 1.

Таким образом, основная часть энергии ЭЧМ-сигнала сосредоточена в области частот от $f_{\text{нач}}$ до $f_{\text{кон}}$. В отличие от измерительного сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), спектральная плотность которого **равномерна** в аналогичной области частот [4–5], у ЭЧМ-сигнала имеет место спад 3 дБ на октаву в сторону высоких частот.



Рис. 1. Теоретическая амплитудная спектральная плотность ЭЧМ-сигнала

Метод профессора Фарина

Измерение импульсной характеристики и нелинейных искажений испытуемого устройства по методу А. Фарина производится следующим образом [2, 3, 7]:

1. Вначале необходимо подать ЭЧМ-сигнал на вход испытуемого устройства и записать его выходной сигнал;
2. Далее необходимо произвести операцию свёртки выходного сигнала со специально подготовленным ЭЧМ-сигналом, который образован из исходного ЭЧМ-сигнала путём его отражения во времени и модуляции по амплитуде.

Полученный после свёртки сигнал содержит импульсные реакции испытуемого устройства.

Схематично процедура измерений представлена на рис. 2.

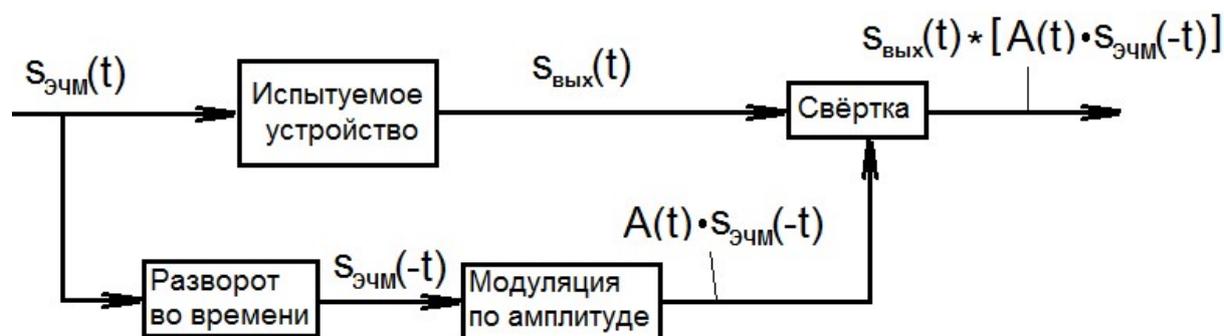


Рис. 2. Схема проведения измерений по методу А. Фарина (символом «*» обозначена процедура свёртки)

Заметим, что *традиционные* косвенные методы измерений импульсной характеристики (ИХ) радиоэлектронных и акустических устройств включают в себя такие операции, как

- переход из временной области в частотную

$$s_{BX}(t) \rightarrow S_{BX}(j\omega), s_{ВЫХ}(t) \rightarrow S_{ВЫХ}(j\omega);$$

- нахождение комплекснозначного частотно зависимого коэффициента передачи устройства путём деления спектральных плотностей выходного и входного сигналов:

$$K(j\omega) = S_{ВЫХ}(j\omega) / S_{BX}(j\omega);$$

и, наконец, вычисление АЧХ, ФЧХ и ИХ устройства на основе найденного коэффициента передачи [4, 5, 8, 9].

В последующих публикациях будет произведён анализ описанных в методе А. Фарина процедур дополнительной обработки выходного сигнала, являющегося откликом испытуемого устройства на ЭЧМ-сигнал: его свёртки с развёрнутым во времени и модулированным по амплитуде исходным ЭЧМ-сигналом.

Список используемых источников

1. Персональная страница профессора А. Фарина. URL: <http://pcfarina.eng.unipr.it> (дата обращения: 10.02.2022).
2. Фарина А. Метод одновременного измерения импульсной характеристики и нелинейных искажений с помощью гармонического сигнала экспоненциально изменяющейся частоты. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.33.1614&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 10.02.2022).
3. Фарина А. Достижения в измерении импульсной характеристики с помощью гармонического сигнала экспоненциально изменяющейся частоты. URL: <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/226-AES122.pdf> (дата обращения: 10.02.2022).
4. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. Стандарт третьего поколения / под ред. В. Н. Ушакова. СПб.: Питер, 2014. 336 с.
5. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2000.
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
7. Годына В. С., Перельгин С. В., Штейн Б. М. Инновационный метод измерения импульсной характеристики и нелинейных искажений // Цифровая обработка сигналов. 2020. № 1. С. 26–29.
8. Акустика: учебник для вузов / Ш. Я. Вахитов и др.; под ред. проф. Ю. А. Ковалгина. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 660 с.
9. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И. Аудиотехника. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 742 с.

УДК 621.396.2
ГРНТИ 49.43.29

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОКАНАЛА СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

И. А. Горобцов, Д. И. Кирик, Т. С. Косицына

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

В статье рассмотрена модель канала связи с подвижными объектами. Модель задается импульсной характеристикой $h_x(t)$ с двумя переменными, где x представляет местоположение приемника. Модель состоит из двух подмоделей, одна из которых описывает траекторию прямой видимости, а другая – сигнал, который достигает приемника с однократным отражением.

канал связи, математическая модель, приемник.

Одной из особенностей модели канала связи является то, что она изменчива в пространстве и инвариантна во времени. Изменение времени является результатом движения приемника, которое изменяет точку x . Ниже представлено описание модели, которая состоит из двух подмоделей. Первая подмодель учитывает ту часть сигнала, который получает приемник, где на пути его распространения имеется один отражатель, т.е. через однократное отражение. Вторая подмодель учитывает сигнал прямой видимости между передатчиком и приемником. Суперпозиция этих двух подмоделей составляет полную модель мобильного радиоканала.

Модель канала состоит из семейства импульсных характеристик, $h_x(t)$, по одной для каждой точки x прямой линии. Характеристика $h_x(t)$ определяется как сигнал, который мог быть принят при отсутствии шума в момент времени t и местоположении x , если бы единичный импульс был передан от отправителя в момент времени 0. Зная $h_x(t)$, можно вычислить принятый сигнал $r_x(t)$ в точке x , с помощью свертки $h_x(t)$ и его входного сигнала $s(t)$:

$$r_x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_x(t - t') * s(t') dt'$$

Рассматриваемая модель предполагает идеальные отражатели, единственное влияние которых на передаваемый сигнал заключается в его задержке и ослаблении. При отсутствии шума принятый сигнал становится суперпозицией задержанных лучей передаваемого сигнала. Движение приемника происходит по прямой линии, которую мы принимаем за ось x , лежащей в плоскости, содержащей передатчик и отражатели.

Для построения модели канала с отражением, необходимо внести предположение, что каждый из лучей переданного сигнала, достигающий приемника, столкнулся с одним отражением, т.е. произошли однократные отражения. Модель предполагает, что все отражатели являются стационарными и идеальными.

Импульсная характеристика $h_x(t)$ будет описана как функция пяти дискретных случайных процессов $\{Y[i]\}$, $\{B[i]\}$, $\{\Theta[i]\}$, $\{D[i]\}$ и $\{A[i]\}$, где индекс « i » этих процессов соответствует номеру отраженного луча в соответствии с порядком.

Связь импульсной характеристики $h_x(t)$ с этими случайными процессами представлена ниже. Предполагается, что луч i падает на ось x только на интервале длины $B[i]$. Случайная величина $B[i]$ называется длиной луча. Точка, в которой луч i пересекает ось x , будет обозначена $X[i]$ и будет называться начальной точкой данного луча. Точка $X[i]$ находится на расстоянии $Y[i]$ от $X[i-1]$ – начальной точки предыдущего луча $i-1$. $Y[i]$ – расстояние между лучами. Последовательность переменных $Y[i]$, $i = 1, 2, \dots$ образуют

случайный процесс, который определяет начальные точки лучей таким образом

$$X[i] = X[i - 1] + Y[i],$$

что предполагается, что лучи были пронумерованы так, что $X[0] < 0$ и $X[1] > 0$. Случайная величина $\Theta[i]$ задает постоянный угол падения i -го луча. Величина $D[i]$ определяет задержку i -го луча. Величина $A[i]$ представляет принятую амплитуду i -го луча, которая, как предполагается, остается постоянной на протяжении всего интервала $[X[i], X[i] + B[i]]$.

Импульсная характеристика $h_x(t)$ может быть записана, на основе вышесказанного, как

$$h_x(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \alpha_i(x) * \delta(t - \tau_i(x)) \quad (1)$$

где $\alpha_i(x)$, амплитуда i -го луча в точке x , определяемая как

$$\alpha_i(x) = \begin{cases} A[i], & X[i] \leq x \leq X[i] + B[i] \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

$\tau_i(x)$ – время, необходимое сигналу для прохождения от передатчика по i -му отражателю до положения x , определяется как

$$\tau_i(x) = D[i] - \frac{x - X[i]}{c} \cos(\Theta[i]). \quad (2)$$

Выражение (2) для задержки $\tau_i(x)$ регулирует задержку $D[i]$ для положений « x », отличных от начала $X[i]$ этого луча

Чтобы избежать суммирования по бесконечному числу лучей i в (1), необходимо определить для каждой точки x заданную случайную величину $A(x)$, называемую набором активных лучей, содержащую индексы i тех лучей, которые активны в точке x , т. е.,

$$A(x) = \{i: X[i] \leq x \leq X[i] + B[i]\}.$$

Таким образом, можно записать (1) в виде

$$h_x(t) = \sum_{i \in A(x)} \alpha_i(x) * \delta(t - \tau_i(x)).$$

Импульсная характеристика $h_x(t)$ описывается статистически путем определения пяти случайных процессов, описанных выше. Во-первых, предполагается, что случайные процессы $\{Y[i]\}$, $\{B[i]\}$, $\{\Theta[i]\}$, $\{D[i]\}$

и $\{A[i]\}$ независимы друг от друга. Во-вторых, каждый из пяти случайных процессов представляет собой последовательность независимых и идентично распределенных случайных переменных [1].

Кроме того, мы делаем следующие предположения об отдельных случайных процессах в нашей модели канала:

1. Предполагается, что $A[i]$ имеет Рэлеевское распределение;
2. Предполагается, что задержка $D[i]$ луча равномерно распределена между некоторыми заданными минимальными и максимальными значениями;
3. $\Theta[i]$ предполагается равномерно распределенным в $[0, 2\pi)$;
4. Ширина $B[i]$ i -го луча предполагается экспоненциально распределенной;
5. Расстояние между лучами $Y[i]$ также предполагается экспоненциально распределенным.

Предположение 5 эквивалентно предположению, что процесс начальной точки $\{X[i]\}$ является предупредительным процессом точки Пуассона с интенсивностью λ_l точек на единицу расстояния. Физическая причина данного предположения заключается в том, что вероятность увидеть новый луч, начинающийся в небольшом интервале длины Δx по оси x , не зависит как от местоположения интервала на оси x , так и от того, сколько лучей было активным слева от интервала Δx .

Предположения 4 и 5 подразумевают, что случайный процесс $\{K_x\}$, где K_x – количество активных лучей в точке x , попадает под теорию массового обслуживания. Это означает, что лучи поступают с постоянной скоростью λ_l на приемник. Время прибытия лучей формирует пуассоновский процесс, идентичный процессу $\{X[i]\}$ модели. Каждый отраженный луч немедленно обслуживается приемником, время обслуживания которого для луча i соответствует случайной величине $B[i]$. Так как предполагается, что приемников бесконечно много, то скорость обработки пропорциональна количеству лучей и принимает значение $K_x \lambda_B$. Ожидаемая длина $1/\lambda_B$ луча соответствует среднему времени обработки луча.

Отсюда следует, что, как только будут определены интенсивности λ_l и λ_B , будет определен процесс генерации луча в подмодели.

Предполагается, что блокирование луча прямой видимости может быть смоделировано с помощью теории массового обслуживания $\{M_x\}$, как и процесс активного луча $\{K_x\}$ в модели отражения. Пусть M_x – число промежуточных объектов на прямой линии между точкой x на оси x и передатчиком. Предполагается, что $\{M_x\}$ имеет «частоту поступления» λ_0 и «скорость обслуживания» λ_1 . Частота поступления λ_0 соответствует количеству препятствий на единицу длины, которые лежат на прямой линии между точкой x на оси и передатчиком, а $1/\lambda_0$ соответствует средней длине препятствия.

Процесс L_x , который определяет наличие или отсутствие сигналов прямой видимости в точке x , определяется с помощью M_x , как

$$L_x = \begin{cases} 1, & \text{если } M_x = 0 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

где $L_x = 1$ означает, что сигнал прямой видимости активен в этой точке, а $L_x = 0$ означает, что сигнал прямой видимости заблокирован, поскольку по крайней мере один промежуточный отражатель блокирует сигнал. Пронумеруем интервалы на оси x при $L_x = 1$ индексом j , начиная с $j = 1$ для интервала, содержащего наименьшее неотрицательное число x , для которого $L_x = 1$. Начало j -го интервала будет обозначено координатой $X_{LOS}[j]$. Длина $X_{LOS}[j]$ j -го интервала является экспоненциально распределенной случайной величиной со средним значением $1/\lambda_0$.

Особенностью луча прямой видимости является то, что он состоит из суперпозиций нескольких дополнительных лучей, которые практически одновременно поступают в точку x с незначительно отличающимися углами падения. Это свойство объясняет затухание луча прямой видимости. Один из этих лучей является «лучом прямой видимости», а другие лучи возникают либо в результате отражения от земли этого прямого луча, либо в результате его отражений. Ограничимся двумя вспомогательными лучами.

Предполагается, что угол падения луча прямой видимости Θ_0 не зависит от всех других параметров и равномерно распределен в $[0, 2\pi)$. Предполагается, что угол падения Θ_j второго луча прямой видимости в каждом интервале задается

$$\Theta_j = \Theta_0 + \Delta_j,$$

где углы $\{\Delta_j\}$ независимы и равномерно распределены в $(-\pi\epsilon, \pi\epsilon)$, где ϵ – небольшая положительная постоянная.

Используя приведенные выше предположения, можно записать импульсную характеристику луча прямой видимости как

$$h_{xLOS}(t) = \alpha(x)\delta(t - \tau(x)) + \alpha'(x)\delta(t - \tau'(x)),$$

где амплитуда первого вспомогательного луча равна

$$\alpha(x) = \begin{cases} A_0, & \text{при } L_x = 1 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

и амплитуда второго вспомогательного луча в j -м интервале на оси x , где $L_x = 1$ – равна

$$\alpha'(x) = \begin{cases} A_j, & X_{LOS}[j] \leq x < X_{LOS}[j] + B_{LOS}[j] \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

Задержка луча прямой видимости составляет

$$\tau(x) = D_{LOS} - \frac{x}{c} \cos \Theta_0$$

задержка второго луча прямой видимости в j -м интервале с $L_x = 1$ равна

$$\tau'(x) = D_{LOS} - \frac{x}{c} \cos \Theta_0.$$

Задержка D_{LOS} должна быть выбрана таким образом, чтобы луч прямой видимости приходил раньше, чем все другие отраженные сигналы в любой точке x .

5. Изменяющийся во времени многолучевой канал

Далее необходимо описать связь между изменяющейся в пространстве моделью многолучевого канала и соответствующей изменяющейся во времени моделью, которая возникает, когда приемник движется с постоянной скоростью v вдоль оси x :

$$x = vt + x_0, \quad (3)$$

где x_0 – произвольная константа.

В соответствии с [2] и [3] мы сначала определяем изменяющийся во времени импульсный отклик $h(t, \xi)$ как отклик в момент времени t на единичный импульс, переданный в момент времени $t - \xi$, то есть ξ -секунд в прошлом времени наблюдения t .

Напомним, что $h_x(t)$ – это отклик в момент времени t на импульс, переданный в момент времени 0 для приемника в точке x . Поскольку это отклик, не зависящий от времени, отклик в момент времени t на импульс, переданный во время, скажем, $t - \xi$, равен просто $h_x(\xi)$. Поскольку местоположение x приемника изменяется в соответствии с (3), из этого следует, что

$$h(t, \xi) = h_{vt+x_0}(t - \xi).$$

Преимущество определения импульсного отклика $h_x(\xi)$ как функции местоположения x и времени t состоит в том, что изменяющийся во времени отклик $h(t, \xi)$ может быть явно выражен в условиях движения между передатчиком и приемником.

Модель многолучевого канала однократного отражения может быть использована для полосовых передаваемых сигналов $s(t)$ вида

$$s(t) = \sqrt{2}s_c(t) * \cos(2\pi f_c t),$$

где $s_c(t)$ – случайный процесс с полосой пропускания W , а f_c – несущая частота. В этом случае отклик канала сводится к двум импульсным откликам $h_{xc}(t)$ – синфазной составляющей и $h_{xs}(t)$ – квадратурной составляющей, которые показаны в [4] как

$$h_{xc}(t) = \sum_{i \in A(x)} \alpha_i(x) \cos \phi_i(x) \delta(t - \tau_i(x))$$

$$h_{xs}(t) = \sum_{i \in A(x)} \alpha_i(x) \sin \phi_i(x) \delta(t - \tau_i(x))$$

где $\phi_i(x)$ – случайная фаза каждого входящего луча, которая показана в [4] как

$$\phi_i(x) = \Phi[i] - 2\pi f_c \frac{(x - X[i])}{c} \cos \Theta[i]$$

где $\Phi[i]$ – случайная величина, равномерно распределенная в $[0, 2\pi)$. Две составляющие импульсной характеристики могут быть использованы для получения синфазной и квадратурной составляющих принятого сигнала, который был принят в точке x после демодуляции в приемнике в отсутствие шума. В этом случае $r_{xc}(t)$ и $r_{xs}(t)$ становятся

$$r_{xc}(t) = s_c(t) * h_{xc}(t)$$

$$r_{xs}(t) = s_c(t) * h_{xs}(t)$$

В настоящей статье дано краткое описание модели радиоканала. Одной из важных особенностей этой модели является использование пространственной координаты x , а не временной координаты, так как это упрощает математический аппарат модели, позволяя легко ее реализовать на компьютере для моделирования производительности существующих схем модуляции.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ по государственному заданию Минцифры России в 2022 году.

Список используемых источников

1. Служивый М. Н. Математические модели каналов радиосвязи // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2001. N 4 (16). С. 26–35.
2. Biglieri E., Proakis J., Shamai S. "Fading channels: information-theoretic and communications aspects" // Information Theory IEEE Transactions on, vol. 44, no. 6, pp. 2619–2692, 1998.
3. Hopgood J. R., Rayner P. J. W., "Single channel nonstationary stochastic signal separation using linear time-varying filters" // Signal Processing IEEE Transactions on, vol. 51, no. 7, pp. 1739–1752, 2003.
4. Mohamed-Slim Alouini, Marvin K. Simon, Andrea J. Goldsmith, "Performance analysis of single carrier and multicarrier DS-CDMA systems over generalized fading channels" // Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 1, pp. 93, 2001.

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. Н. Григорьев, Е. И. Туманова

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

В современном мире существует большое количество различных акустических систем (АС). В связи с этим, перед потребителями, и, в первую очередь – производителями, стоит задача по оцениванию того или иного продукта. Для этих целей существуют различные методики оценки параметров АС, разделяющиеся на объективные и субъективные.

акустические системы, методики, объективные и субъективные оценки.

К объективным методикам относятся те, в которых используются специальные приборы для получения данных в виде цифр и графиков. Методики, где для оценки качества акустических систем используются люди, относятся к субъективным [1].

Рассмотрим один из вариантов классической методики измерения объективных характеристик. Специальный измерительный микрофон закрепляют в положении, где он будет находиться строго на акустической оси измеряемой АС. Расстояние от микрофона до измеряемого устройства может изменяться в зависимости от помещения и размера излучателей. Подключать микрофон и акустическую систему желательно к одному аудиоинтерфейсу, чтобы избежать дополнительных искажений. На ПК, подключенный к аудиоинтерфейсу, должно быть установлено специальное программное

обеспечение, которое будет генерировать испытательные сигналы и измерять характеристики АС. Несмотря на простоту схемы, она имеет ряд недостатков, таких, как: необходимость специально подготовленного помещения (в идеале – безэховой камеры), сложность в точной настройке положения устройств друг относительно друга и относительно малое количество измеряемых характеристик.

Для автоматизации данного процесса существует измерительный комплекс Klippel Near Field Scanner, состоящий из самого измерительного стенда и аудиоинтерфейса КАЗ для управления им. Принцип измерения остаётся тем же, но в реализации имеется ряд отличий. Для работы измерителя требуется начальная настройка, включающая в себя установку крайних точек, положение акустической оси, количество точек измерения в пространстве и т.д. После этого, система работает в автоматическом режиме и предоставляет расширенный набор данных, включающий диаграмму направленности, уровень звукового давления в любой точке и т.д. Благодаря начальной настройке и специальным программным алгоритмам, использовать данный комплекс можно даже в плохо подготовленном помещении [2].

В качестве субъективной оценки будет рассмотрен тест на прослушивание по методике AES20-1996/2002. Для его проведения необходима группа специально подготовленных экспертов, которые имеют опыт прослушивания.

Условия прослушивания

Если рассмотреть помещение для прослушивания, то оно должно быть приближено по своим характеристикам для аудиоаппаратуры. Рекомендации для помещений могут быть такими: прямоугольная форма с $H = 2,8$ м; $L = 6,7$ м; $W = 4,2$ м. Разумеется, допускаются помещения и меньшего объёма. Минимум – 42 м^3 ($H = 2,1$ м, $S = 20 \text{ м}^2$).

Если говорить про климатические условия, то тут необходимо остановиться на следующем: $t = 18-35$ °С; влажность = 25-75 %; $P_{\text{атм}} = 86-106$ кПа. Уровень фонового шума < 35 дБ по шкале А (согласно стандарту ISO 1996-1).

На результаты прослушивания большое влияние оказывают расположение излучающих систем и слушателей относительно друг друга. Данный фактор является решающим в решении задач. На объективные параметры и качество звучания значительно оказывают влияние ранние отражения ($t < 3,0$ мс). Они вносят дополнительную тембральную окраску, что само по себе способно приводить к сдвигу слухового образа, а также к изменению пространственных характеристик. Именно поэтому стоит принимать меры для поглощения ранних отражений в окрестности расположения данных акустических систем. Об это говорят и документы. Так в AES-20-1996 нам рекомендуют указать установки излучателей – их фронтальные панели

должны быть на расстоянии не менее 1 м от окружающих поверхностей. И тут стоит отметить, что угловое разделение АС для слушателей, которые находятся на центральной оси, должно составлять не менее 40°. В идеале должно быть 60°, особенно для основных контрольных мониторов [3].

Также, если далее следовать рекомендациям, то уже в AES-20-1996 сказано, что в работе нам предпочтительнее ещё указывать и площадь прослушивания, а не только отдельно фиксированные места, где собирается информация для прослушивания. Данная площадь должна располагаться на расстоянии не менее 1 м, но не более 3 м от фронтальных поверхностей излучателей, а также не менее 1 м от задней стены. Ширина зоны должна соответствовать расстоянию между излучателями. Слушатели, которые принимают участие в сборе информации, обязательно должны иметь возможность свободно перемещаться внутри зоны [3].

Общее требование к параметрам звуковоспроизводящего тракта представлены в AES-20-1996. Их смысл заключается в том, чтобы технические параметры всех элементов тракта, среди которых диапазон, мощность, КНИ и т.д. были лучше, чем у испытуемых излучающих систем.

Если выбирать фрагменты программ для прослушивания, то здесь также надо обратить внимание на следующее. Фонограммы должны быть подобраны таким образом, чтобы максимально полно идентифицировать пространственные и тембральные характеристики звучания. Тестовые записи должны содержать записи отдельных инструментов, например рояль, скрипка, виолончель, духовые и струнные инструменты и т.д., а также записи симфонического оркестра, хора, мужских и женских поющих голосов и речи.

В практике оценки аудиоаппаратуры в основном используется 2 метода субъективного прослушивания:

1) «Метод парного сравнения». В данном случае акустическая система сравнивается со специально отобранным эталонным образцом. И здесь слушатели оценивают большую или меньшую близость звучания предложенных систем. Прослушивание должно производиться через визуально непрозрачный, но акустически прозрачный экран. Влияние экрана не должно приводить к изменению частотной характеристики изделия более чем на 1 дБ.

2) «Метод абсолютной оценки качества звучания». Здесь эксперты сравнивают звучание испытуемого образца с «живым» звуком, который сохраняется в памяти. Метод само по себе используется, как правило, для оценки высококачественной аппаратуры и требует отдельно привлечения экспертов и профессионалов, которые уже имеют большой опыт слухового контроля и постоянную практику прослушивания натуральных звучаний.

Ссылаясь на исследования и рекомендации, длительность прослушивания каждого взятого фрагмента звучания должна составлять от 30 до 60 с

с перерывом на 1–2 с. При прослушивании методом парного сравнения один фрагмент программы (А) должен переключаться на образец и на изделие с интервалом 1–2 с, переход на другой фрагмент (В) должен происходить с интервалом 10–15 с. Каждый фрагмент тестовой программы следует воспроизводить поочередно через изделие и образец с соответствующей индикацией их условных номеров. Степень соответствия изделия к качеству образца оценивается по 7-балльной шкале:

- минус 3 – значительно хуже;
- минус 2 – хуже;
- минус 1 – незначительно
- хуже; 0 – равноценно;
- плюс 1 – незначительно лучше;
- плюс 2 – лучше;
- плюс 3 – значительно лучше.

При экспертизе по методу абсолютной оценки в рекомендациях AES-20-1996 г. предложена и оценка по каждому из критериев, которые подробно описаны в таблицах по 9-балльной шкале:

- высшая оценка – 5,
- низшая – 1,
- с градацией – 0,5 балла.

Если говорить про полный отчёт о полученных результатах, то он содержит:

- Результаты;
- Описание используемых методов оценки (в т. ч. многоканальная или одноканальная система);
- Перечень несовпадений с рекомендациями AES;
- Размеры комнаты прослушивания;
- Расположение слушателей и громкоговорителей;
- Описание музыкальных фрагментов;
- Основные данные экспертов (число, пол, возраст, тренированность, острота слуха) [3].

Также следует сказать о том, что совместное использование 2-х типов методик позволяет получить полную картину об акустических системах, как для производителей, так и для потребителей.

Список используемых источников

1. Liebetrau, J., Schneider, S. Music and Emotions: A Comparison of Measurement Methods / AES 134th Convention (May 2013) Paper Number: 8875. pp. 2–3.
2. Klippel: signal and system analysis. URL: <https://www.klippel.de/know-how/measurements/signal-and-system-analysis/waveform-and-spectrum.html> (Дата обращения 05.02.2022)
3. AES STANDARD // AES20-1996 (s2008): AES recommended practice for professional audio – Subjective evaluation of loudspeakers. pp. 15–21.

УДК 654.197
ГРНТИ 49.45.33

НОВЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ СТУДИЙ

Е. Д. Гузева

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

В статье основное внимание акцентируется на новых технологиях и подходах развития виртуальных студий в настоящее время. Виртуальные студии – технология, которая оказывает большое влияние на современное телевидение и видео. Технология виртуальных студий постоянно развивается и использует самые последние достижения компьютерных аппаратных средств и программного обеспечения. Рассмотрены такие технологии, как «цифровая стена», расширенная реальность (xR), светодиодные экраны как альтернатива хромакею. На основе данных технологий создание виртуальных студий принимает совершенно новый вид, что позволяет полноценно претворить в жизнь кинематографическую и телевизионную концепцию «что видишь, то и получаешь».

виртуальные студии, цифровая стена, светодиодные экраны, расширенная реальность.

Виртуальные студии – технология, которая оказывает большое влияние на современное телевидение и видео. Технология виртуальных студий постоянно развивается и использует самые последние достижения компьютерных аппаратных средств и программного обеспечения.

Понятия и концепции виртуальной и дополненной реальности не претерпели радикальных изменений за последние 30 лет, но технологии виртуальной и дополненной реальности прошли значительный эволюционный путь как в плане совершенствования устройств и программного обеспечения, так и контента и уже пережили несколько скачков роста.

При создании виртуальных студий учитывается много аспектов, технологии совершенствуются и улучшаются в области создания контента, трекинга камер, самих видеокамер и т. д. Рассмотрим такие технологии, как «цифровая стена», расширенная реальность (xR) и светодиодные экраны как альтернатива хромакею и Reality – компоузер.

Получить постоянно меняющиеся изображения на стенах и других поверхностях можно разными способами.

«Цифровая стена» или интерактивная стена может быть представлена огромными дисплеями и экранами, а также создана с помощью специальных ультратонких и гнущихся дисплеев, или реализована с помощью бесшовной поверхности размером со стену и использованием нескольких проектов [7].

Самый простой – проецирование лучей света на подготовленную поверхность. При создании проекции проектор подвешивают к потолку, а стены ровняют и покрывают специальными экранами. На стены устанавливают светодиодные лампы разных цветов. К проектору подключаются через компьютер и создают светящиеся изображение.

Сложнее – цифровые экраны, которыми можно управлять с помощью технического средства. Такие стены создают более реалистичную обстановку и погружение в виртуальный мир.

В настоящее время интерактивные стены можно встретить в крупных музеях. Их используют для создания атмосферы и полного погружения человека в происходящие события, например погружение в подводный мир или историческое событие.

При использовании специального оборудования, при котором есть возможность установки датчиков движения, датчиков, с помощью которых можно управлять степенью освещённости, цветами, температурой и влажностью воздуха. То есть любые цифровые стены легко становятся интерактивными. А некоторые даже самообучаются реагировать на определённые движения и слова хозяина [8].

Коммутация оборудования, в данном случае нескольких экранов, может быть, с помощью 3-х различных способов [9].

Первый вариант: «матричный коммутатор» или «переключатель» – это устройство, которое может принимать входные данные от одного или нескольких видеоканалов (обычно через порт HDMI). Затем коммутатор разделяет видеосигнал на несколько выходов (каждый из которых идет на простой телевизионный дисплей). Представлена на рис. 1а) [9].

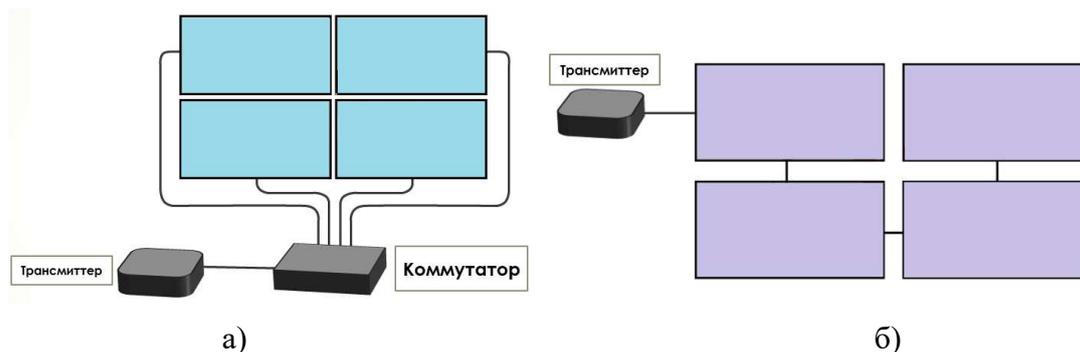


Рис. 1. а) коммутация с помощью матричного коммутатора,
б) объединение профессиональных телевизионных дисплеев в цепь

Второй вариант: объединение профессиональных телевизионных дисплеев в цепь (известен как "Daisy chain" или "chaining displays"). Для этого варианта необходимы промышленные и/или профессиональные ТВ-дисплеи. Такие дисплеи имеют встроенные функции, позволяющие создавать видеостены. Это делается путем подключения одного экрана к другому

через HDMI, DVI или DisplayPort. Этот процесс называется "гирлянда", поскольку дисплеи представляют собой одну цепочку: первый подключается ко второму, второй – к третьему и так далее. Каждый экран должен быть настроен в соответствии с его положением на видеостене. Представлен на рис. 1б) [9].

Третий вариант: использование функции синхронизации. Функция синхронизации позволяет синхронизировать часы нескольких отдельных устройств. Каждое устройство подключается к простому телевизионному дисплею. Одно из синхронизированных устройств будет выступать в качестве NTP-сервера, который каждую минуту отправляет плюсы времени на все остальные устройства. Представлен на рис. 2 [9].

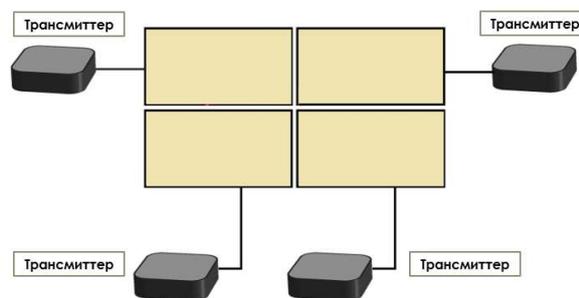


Рис. 2. Коммутация с использованием устройств синхронизации

Важным преимуществом варианта с синхронизацией является разрешение: в то время как в двух вышеописанных вариантах присутствует ограничение максимального разрешения экрана, поддерживаемым трансмиттером, подключенным к видеостене.

В этом варианте есть недостаток: если сеть перестанет работать или не будет связи с NTP-сервером, устройства могут выйти из синхронизации через некоторое время [9].

Под XR следует понимать всю полноту технологий и решений, объединяемых ранее устоявшимися определениями виртуальной реальности (Virtual Reality, VR) и дополненной реальности (Augmented Reality, AR). Таким образом подчеркивается способность этих технологий расширять границы физического пространственно-временного континуума за счет возможностей цифровых инструментов работы с человеческим восприятием. Пока телепортацию не изобрели, именно XR играют роль средства переноса человека за пределы места его фактического расположения в искусственно созданные миры. Иммерсивные решения (от англ. to immerse – погружаться) на базе VR/AR и нескольких вспомогательных технологий сегодня являются одним из наиболее перспективных направлений XR в практике множества отраслей [1].

Или же XR – это сочетание виртуального и реального миров. В это понятие входит Виртуальная реальность (VR), дополненная (AR) и смешанная (MR) реальности.

В отношении конкретных продуктов приставка XR означает, что устройство объединяет в себе несколько разных технологий. К примеру, у компании HumanEyes есть камера под названием Vuze XR, которая может

быть использована как для записи стандартного сферического видео, так и для стереоскопического видео на 180 градусов [1].

В настоящее время по поводу технологии расширенной реальности идут различные споры и дебаты, так как существует мнение, что технология для простого пользователя (потребителя контента) не будет доступна и крупные компании продвигают её только ради получения инвестиций.

Но с плавным переходом от хромакея к светодиодным экранам, расширенная реальность (xR) все ближе подступает к виртуальным студиям и простому потребителю контента.

Использование хромакея в кино- и теле-индустрии берет начало еще с 1930-х годов. Эта технология дала большой рывок для её развития. Со временем она совершенствовалась и постепенно может быть заменена другими технологиями, например, светодиодными экранами. На экраны в реальном времени проецируют нужное изображение. Это выглядит настолько реалистично, что большинство снятых таким образом сцен даже не требуют последующей постобработки [2].

Одно из преимуществ то, что изображение на экране можно изменять и настраивать в реальном времени, например, изменить яркость или контраст, масштаб объектов и так далее. Таким образом режиссер программы сразу видит какая картинка получается и может редактировать ее прямо на съемке, что занимает значительно меньше времени, чем постобработка сцены. А участникам ТВ-проектов больше не нужно приезжать в студии, их трехмерная проекция может оказываться там независимо от того, где находится сам человек. Снимать в реальных студиях и локациях также нет необходимости [5, 6].

С помощью нескольких камер слежения в реальном времени можно создавать впечатляющие сцены, которые естественным образом сочетаются с артистами и съемочной площадкой. Изображение на экране движется за камерой, словно все снимается в живых декорациях. Таким образом достигается эффект полного погружения в виртуальное изображение. Реализм картины зависит от качества проецируемого контента и дополнительного освещения на съемочной площадке [2, 5].

Преимуществом использования светодиодных экранов является то, что съемочная команда и зрители могут видеть видеоконтент и все визуальные эффекты в режиме реального времени и без помощи дополнительных устройств.

Также создается возможность установки светодиодных экранов, как на потолок, так и на пол, где соблюдается точное соединение между сегментами экранов и точный угол для удовлетворения всем требованиям виртуальных студий. Такие экраны обладают защитными функциями, обеспечивающими защиту во время любого процесса сборки-разборки или технического обслуживания.

Сегодня появилось еще одно решение, которое позволяет создать реалистичное изображение и упростить работу виртуальной студии – это Reality – компоузер, позволяющий создавать конвейеры визуальных эффектов в реальном времени с вводом/выводом видео, кеингом, компоузингом и рендерингом в одном программном пакете. Reality предоставляет пользователю полный набор инструментов для создания иммерсивного контента, при этом дает впечатляющий результат при кеинге контактных теней, прозрачных объектов и субпиксельных деталей, например, волос. Также появилась возможность заходить за виртуальные объекты, дополнять реальные существующие объекты и т.п. В данной технологии применяется уникальный подход, в котором изображение на хромакее комбинируется с графикой в 3D-сцене. Эта техника обеспечивает реалистичное отражение и преломление физических объектов и людей внутри хромакея над графикой в реальном времени. Кроме того, эффекты ореола и блики линз накладываются на реальные элементы. Весь компоузинг выполняется с 16-битной плавающей точкой для точной передачи расширенного динамического диапазона (HDR) [6].

Reality поддерживает индустриальные трекинговые протоколы и устройства, а также обладает возможностью использовать данные юстировки объектива, принимаемые с трекинговых устройств. Reality также предоставляет собственные данные калибровки оптики для точного соответствия. Reality использует данные калибровки дистанции фокусировки, чтобы сопоставить виртуальную графику с отслеживаемым фокусом объектива в каждом кадре. Эта функция дает возможность фокусировки виртуальной графики оператору. Технология Reality передает поток в высоком разрешении на видеостены. С использованием трекинг-данных с камеры видеостену можно превратить в «портал» в виртуальную среду. С Reality виртуальную студию можно создать даже без хромакея. С отслеживаемым потоком камеры в качестве входного изображения, Reality Engine отображает отражения и преломления реальной среды на виртуальных объектах. 3D-отражения и тени виртуальных объектов также накладываются на входящий поток с камеры. Ореол и блики, вызванные яркими виртуальными пикселями, также смешиваются с итоговой композицией [3, 6].

В результате использования каждой из технологий возможно получить максимально фотореалистичное изображение в режиме реального времени, что значительно экономит ресурсы и ограничивается только фантазией человека. Также усовершенствование и развитие в программном обеспечении и трекинге видеокамер делает виртуальные студии более востребованными и простыми в использовании.

Список используемых источников

1. Пиджуков А. Расширенная реальность: перспективы рынка // Телеспутник: электрон. журн. 2019. URL: <https://telesputnik.ru/materials/tekhnika-i-tekhnologii/article/rasshirennaaya-realnost-perspektivy-rynka/> (дата обращения: 05.02.2022).
2. Уход эпохи хромакея. Чем заменят технологию? // Life Globe: электрон. журн. 2021 URL: <https://lifeglobe.net/entry/11663> (дата обращения: 08.02.2022).
3. Каширихина Е. Технологии виртуального производства на ТВ и в шоу-индустрии // Инф. портал 2020 URL: http://www.showroom.ru/article_txt.php?a=310
4. Виртуальная студия Zero Density Reality // официальный сайт компании 2022 URL: <http://aioka.tv/ru/virtualnaja-studija-zero-density-reality/>
5. LED Virtual production // официальный сайт компании 2022 URL: <https://ekranpro.ru/other/virtual-production/>
6. Технологии виртуального производства на ТВ и в шоу-индустрии // Инф. портал 2020 URL: http://www.show-master.ru/categories/tekhnologii_virtualnogo_proizvodstva_na_tv_i_v_shou_industrii.html
7. Абдипур М. Исследование дизайна обустройства: внедрение цифровой стены в домашней обстановке: дис. ... докт. наук : Morteza Abdipour. Umeå University, Sweden, 2021. 187 с. URL: <http://umu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1527996/FULLTEXT01.pdf>
8. Веселова М. Цифровые стены, цифровые обои // Berlogos: интернет-журнал 2018 URL: <http://www.berlogos.ru/article/cifrovye-steny-cifrovye-oboii/> (дата обращения: 13.02.2022).
9. How to build a video wall? // Technical Signage Blog 2017 URL: <https://www.novisign.com/blog/tech/how-to-build-video-wall/> (дата обращения: 14.02.2022).

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом Е. И. Тумановой.*

УДК 621.396.712
ГРНТИ 49.43.37

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИНХРОНИЗАЦИИ СИГНАЛА ДЛЯ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА СТАНДАРТА DRM MODE E

О. А. Гуминский, С. В. Мышьянов

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

При приеме OFDM-сигналов особенно важна точная синхронизация приемника и передатчика. Успешное решение этой задачи позволяет в значительной степени повысить помехоустойчивость приемника. Вопросам синхронизации OFDM-систем посвящено множество исследований, ведется синтез новых и оптимизация известных алгоритмов в плане повышения рабочих характеристик и возможности аппаратной

реализации. В статье представлены результаты исследования алгоритмов синхронизации применимых при обработке сигнала цифрового радиовещания стандарта DRM mode E, приведена реализация системы синхронизации в среде Matlab/Simulink.

MATLAB, Simulink, DRM, синхронизация.

Точная синхронизация приемника и передатчика позволяет значительно увеличить помехоустойчивость приемника. В системе цифрового радиовещания DRM [1] в качестве модуляции применяется мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM). Синхронизация OFDM-сигналов во времени осуществляется при помощи защитного интервала, который является копией конца информационной части OFDM-символа – так называемого активного интервала (рис. 1). Их схожесть позволяет с достаточно высокой точностью определить начало символа.



Рис. 1. Общая длительность символа OFDM сигнала, где ЗИ – защитный интервал

На вход приемника подаются отсчеты сигнала, из которых необходимо выделить отсчет с которого начитается символ OFDM сигнала. Для реализации алгоритма поиска начала символа по защитному интервалу необходимо создать блоки выборок, длительностью T_g (или в дискретном представлении N_g отсчетов), соответствующих длительности защитного интервала (окна W1 и W2 соответственно). Расстояние между этими выборками соответствует длительности активного интервала OFDM-символа. В процессе работы алгоритма окна выборок сдвигаются по времени с шагом в один отсчет и сравниваются между собой для определения начала OFDM символа. Принцип сдвига выборки отсчетов для определения начала символа отображен на рис. 2.

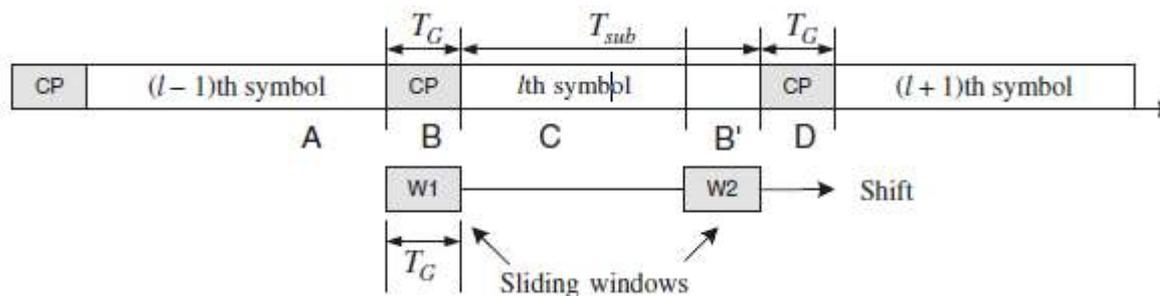


Рис. 2. Определение начала символа при помощи двух скользящих окон

В разделе 5.3.1.1 [2] описываются методы синхронизации по защитному интервалу, рассмотрим их.

В первом случае определяется минимум суммы модуля разницы отсчетов между защитным интервалом и его оригиналом в конце символа (1).

$$\hat{\delta} = \arg_{\delta} \min \left\{ \sum_{i=\delta}^{N_G-1+\delta} |y_l[n+i] - y_l[n+N+i]| \right\}, \quad (1)$$

где δ – номер первого отсчета, с которого начинается работа алгоритма;

i – номер сравниваемого отсчета защитного интервала и его оригинала;

y_l – l -й символ;

n – начало l -го символа;

N – расстояние в отсчетах между защитным интервалом и его оригиналом;

N_G – количество отсчетов защитного интервала;

$\hat{\delta}$ – начало определяемого символа.

Данный метод прост, однако точность определения начала OFDM-символа может быть снижена при наличии центрального сдвига частоты. Для минимизации ошибки работы алгоритма можно воспользоваться другим методом, который заключается в минимизации квадратичной разницы между блоком сигналов окон W1 и W2 (2).

$$\hat{\delta} = \arg_{\delta} \min \left\{ \sum_{i=\delta}^{N_G-1+\delta} \left(|y_l[n+i]| - |y_l^*[n+N+i]| \right)^2 \right\}, \quad (2)$$

где y_l^* – сопряженный l -й символ;

Другим подходом будет определение корреляции между сигналами выборок W1 и W2 (3), однако этот метод хуже работает при наличии центрального сдвига частоты.

$$\hat{\delta} = \arg_{\delta} \max \left\{ \sum_{i=\delta}^{N_G-1+\delta} |y_l[n+i]y_l^*[n+N+i]| \right\}. \quad (3)$$

Наиболее оптимальный алгоритм, учитывающий центральный сдвиг частоты, отображен в формуле (4):

$$\hat{\delta} = \arg_{\delta} \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=\delta}^{N_G-1+\delta} |y_l[n+i]y_l^*[n+N+i]| - \\ \sum_{i=\delta}^{N_G-1+\delta} \frac{1}{2} \left(|y_l[n+i]|^2 |y_l[n+N+i]|^2 \right) \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Этот алгоритм был выбран для реализации в приемном устройстве и на основе него была построена модель в Simulink (рис. 3), не требующая по составу использованных в ней блоков дополнительного пояснения.

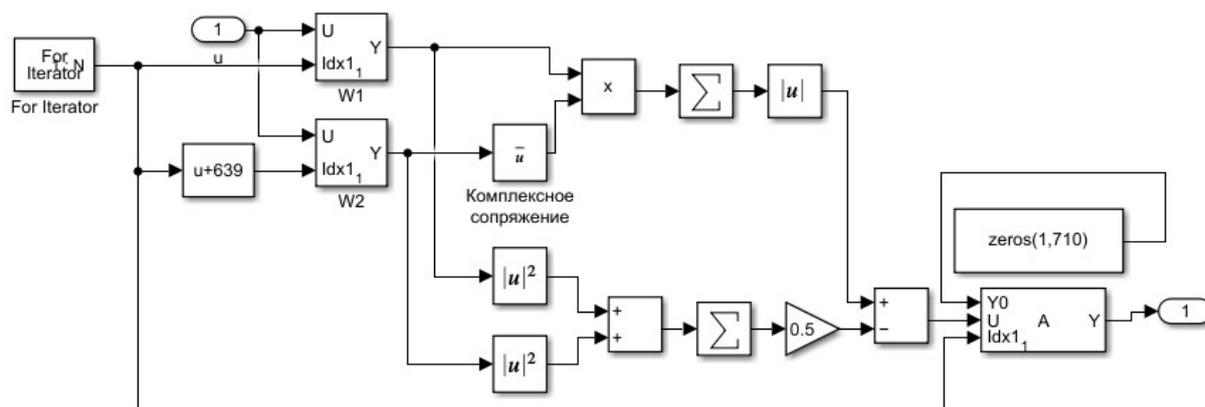


Рис. 3. Реализация алгоритма временной синхронизации

Работоспособность всех четырех алгоритмов продемонстрирована на рис. 4. В качестве испытательного сигнала была выбрана запись измерений параметров вещательного сигнала DRM в рамках проведенной в 2019 году НИР [3]. По оси X отображено время, по оси Y номер первого отсчета, определенный алгоритмом. Алгоритмы, описанные формулами (1), и (2) определяют начало отсчета с высокой точностью, с ошибкой не более двух отсчетов. Алгоритм, описанный формулой (3), работает с меньшей точностью допуская ошибочное определение начала OFDM-символа около пяти отсчетов. Алгоритм, описанный формулой (4), работает достаточно стабильно, допуская минимум ошибок.

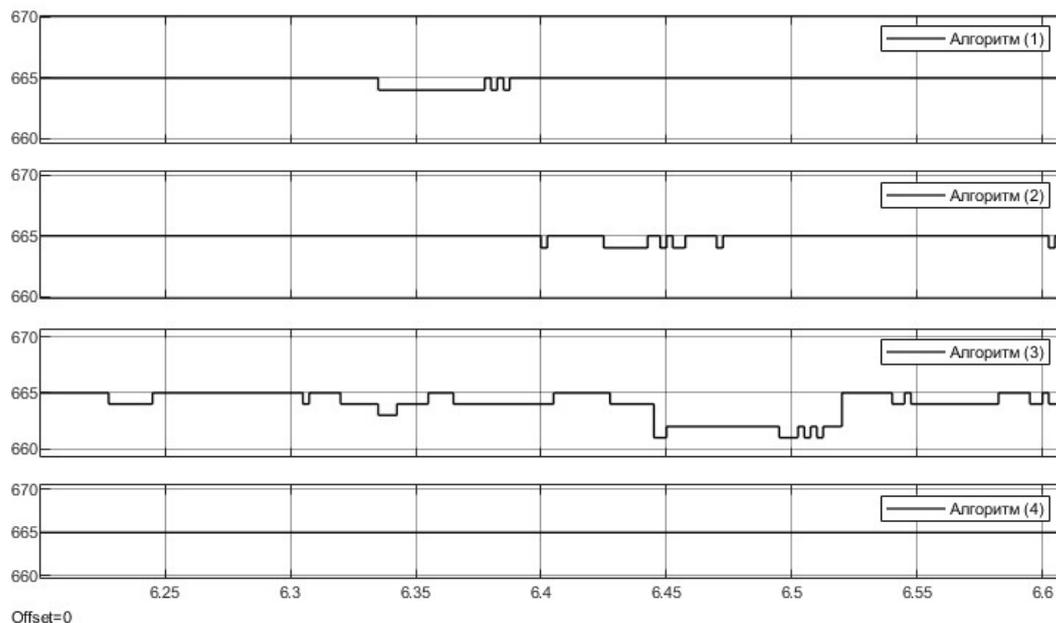


Рис. 4. Результаты работы алгоритмов согласно формулам (1)–(4)

Кроме временной синхронизации для определения начала кадра необходима кадровая синхронизация. Она осуществляется сравнением принимаемых значений амплитуды и фазы ячеек временной синхронизации с их эталонными величинами.

Формула для определения первого символа OFDM кадра отображена ниже:

$$\hat{n} = \arg_n \max \left\{ \sum_{n=1}^{8520} |y(n)Y^*(n)| \right\}, \quad (5)$$

где n – номер текущего символа;

\hat{n} – номер первого символа OFDM кадра;

y – пилотные поднесущие принимаемого сигнала;

Y^* – сопряженные эталонные пилотные поднесущие.

На рис. 4 приведена реализация алгоритма кадровой синхронизации.

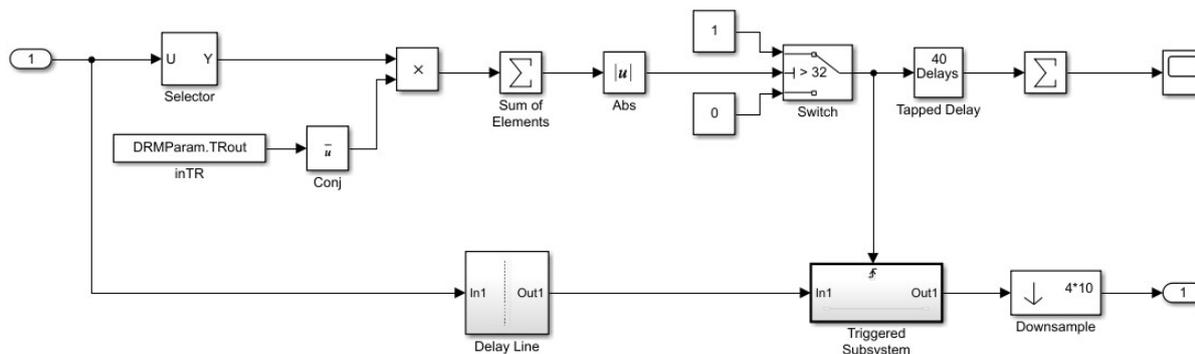


Рис. 4. Схема подсистемы, реализующей кадровую синхронизацию

В первом OFDM-символе каждого кадра располагается 21 ячейка временной синхронизации. Однако помимо ячеек временной синхронизации можно использовать пилотные ячейки. Результат сравнения работы алгоритма кадровой синхронизации представлен на рис. 5.

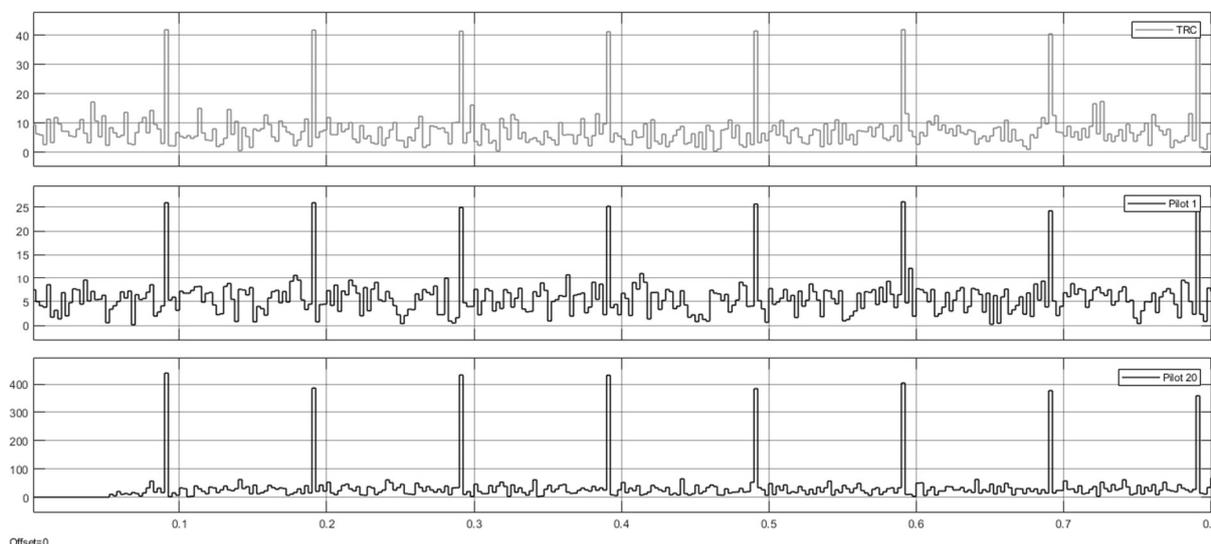


Рис. 5. Результат работы алгоритма кадровой синхронизации, использующий ячейки временной синхронизации (верхний график), пилотные ячейки первого символа (средний график) и пилотные ячейки первых двадцати символов (нижний график)

Таким образом, используя пилотные ячейки можно дополнительно увеличить корреляцию между ячейками временной синхронизации и пилотными ячейками с их оригиналами, тем самым улучшив кадровую синхронизацию.

Решение задачи синхронизации позволило сократить ошибки на выходе декодера и уменьшить влияние центрального сдвига частоты. Алгоритмы, реализованные в программной среде Matlab/Simulink в дальнейшем могут быть сгенерированы в C/C++ код для реализации их на аппаратном уровне.

Список используемых источников

1. ETSI ES 201 980 V4.1.2 (2017-04) Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.; 2017. 195 p.
2. Cho Y. S. et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB. John Wiley & Sons, 2010.
3. Построение опытной аналого-цифровой зоны радиовещания DRM+/УКВ ЧМ в диапазоне 87,5–108 МГц : отчёт о НИР (заключительный) / ООО «Дигитон Системс» ; рук. Ю. А. Ковалгин ; исполн.: С. А. Соколов, С. В. Мышьянов, В. В. Мошков, О. А. Гуминский. Санкт Петербург, 2019. 223 с.

Статья представлена профессором кафедры ТВиМ СПбГУТ, доктором технических наук, профессором Ю. А. Ковалгиным.

УДК 621.396.965
ГРНТИ 47.05.17

СОПРОВОЖДЕНИЕ НАДВОДНОЙ ЦЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРАКТИВНОГО МНОГОМОДЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА

Дао Ван Лук, А. А. Коновалов, Ле Минь Хоанг

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Сопровождение надводной цели с использованием траектрных фильтров вызвало значительное внимание в последние годы. Рассмотрена интерактивная многомодельная фильтрация (ИММ) для решения задачи сопровождения надводных маневрирующих целей. Приведены результаты моделирования.

траекторная фильтрация, ИММ-фильтр, сопровождение цели, фильтр Калмана.

Сопровождение надводных целей стало предметом повышенного интереса в последние годы [1–4]. Сложность сопровождения надводных целей относится к неманевренным, маломаневренным и высокоманевренным целям. Одна модель не может в достаточной мере моделировать сложные переменные. Одним из популярных методов слеживания маневрирующих целей является подход с использованием многомодельного алгоритма (ММ), особенно подход с использованием интерактивного многомодельного алгоритма (ИММ) [5, 6]. Подход ИММ оказался подходящим методом для решения таких задач фильтрации. Чтобы проверить алгоритм ИММ, стандартные фильтры ИММ с разной скоростью поворота сравниваются по их способности обрабатывать задачу сопровождения движущихся целей. Приведены результаты моделирования работы ИММ-фильтра при сопровождении надводных маневрирующих целей.

Динамическая система и модели наблюдения

Динамическая система

Вектор состояния целей определяется: $x=[x \ v_x \ a_x \ y \ v_y \ a_y]^T$; где вектор положения $s=[x \ y]^T$, вектор скорости $v=[v_x \ v_y]^T$, вектор ускорения $a=[a_x \ a_y]^T$. Вектор шума системы определяется выражением $w=[w_x \ w_y]^T$. Обращаем внимание, что w_x, w_y соответствуют «ускорениям» белого шума с нулевым средним по осям X и Y соответственно.

Модель без маневра: модель постоянной скорости (constant velocity CV):

Уравнение движения: $x_{k+1} = Fx_k + Gu_k + w_k$;

где F – матрица экстраполяции:

$$F_{CV} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; G_{CV} = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & T & 0 \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

где T – разница во время между измерениями x_{k+1} и x_k

Модели маневра

Модель постоянного ускорения (constant acceleration CA)

$$F_{CA} = \begin{bmatrix} 1 & T & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; G_{CA} = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & T & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & T & 1 \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

Модель постоянной скорости поворота (constant turn CT)

$$F_{CT} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 & 0 & -\frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \cos \omega T & 0 & 0 & -\sin \omega T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 0 & 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \sin \omega T & 0 & 0 & \cos \omega T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$G_{CT} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 & 0 & -\frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 0 & 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 \end{bmatrix}^T; \quad (3)$$

Модель наблюдения

Измерения в полярных координатах, выполненные радаром в дискретном времени, включают дальность и азимут:

$$\begin{aligned} z_k &= \begin{bmatrix} \rho_k \\ \alpha_k \end{bmatrix} = h(x_k) + v_k; \\ &= \begin{bmatrix} \sqrt{x_k^2 + y_k^2} \\ \text{atan}\left(\frac{x_k}{y_k}\right) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{\rho_k} \\ v_{\alpha_k} \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (4)$$

где (x, y) – истинное местоположение неподвижной цели в прямоугольных (декартовых) координатах; v_k – вектор гауссовского шума с нулевым средним и дисперсией $R_k = \text{diag}(\sigma_\rho^2, \sigma_\alpha^2)$, а σ_ρ и σ_α – стандартные отклонения для дальности и азимута соответственно.

Алгоритм IMM-фильтра

Основным преимуществом IMM – фильтра является возможность оценки состояния динамической системы с несколькими моделями движения, которые могут переходить из одного в другой. Общая структура IMM состоит из банка фильтров Калмана, работающих параллельно в каждый момент времени.

Система описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} x_k &= F(M_{k-1})x_{k-1} + G(M_{k-1})u_{k-1} + w_k, \\ z_k &= H(M_k)x_k + v_k \end{aligned} \quad (5)$$

где F – матрица перехода состояния; u – вектор детерминированных управляющих воздействий; G – входная матрица; w – вектор случайных воздействий; z – вектор измеряемых параметров цели; H – матрица измерений; v – вектор ошибок измерения.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$M_k \in \{M^s\}_{s=1}^N$: последовательность состояний, принимаемых системой, описывается марковской цепью с известными вероятностями переходов: $\pi_{is} \square P\{M_k^s | M_{k-1}^i\}$.

Структура ИММ-фильтра показана на рис. 1.

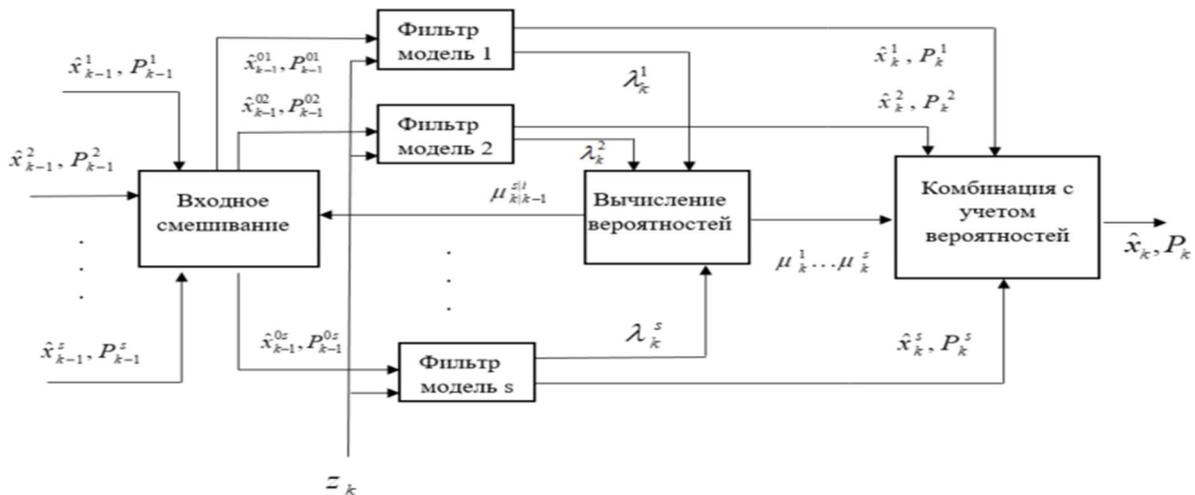


Рис. 1. Структура ИММ алгоритма

Результат моделирования

Рассмотрим цель с двумя моделями движения CV и СТ со следующими начальными условиями: $x_0 = y_0 = 0, \sigma_x = \sigma_y = 3(m), v_{0x} = 10(\text{узлов}); v_{0y} = 6(\text{узлов})$. Цель движется по прямой (модель CV) в течение 240 с, затем начинает поворачивать направо (модель СТ) со скоростью 1 град/с в течение 300 с, после чего продолжает двигаться по прямой. Начальные вероятности модели $\mu_0 = [0.9 \ 0.1]$, а вероятности переключения модели:

$$\pi_{is} = \begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 \\ 0.05 & 0.95 \end{bmatrix}.$$

Вводим 3 разных набора моделей, соответственно ИММ1, ИММ2, ИММ3 для описания движения цели. Их модели движения:

- ИММ1: модель CV и СТ со скоростью поворота –1 град/с.
- ИММ2: модель CV и СТ со скоростью поворота –2 град/с.
- ИММ3: модель CV и СТ со скоростью поворота –3 град/с.

Результаты моделирования представлены на рис. 2–5. На рис. 2 представлены зависимости СКО по позиции от времени движения цели. На рис. 3, 4, 5 представлены модель вероятности ИММ1, ИММ2, ИММ3 фильтра соответственно.

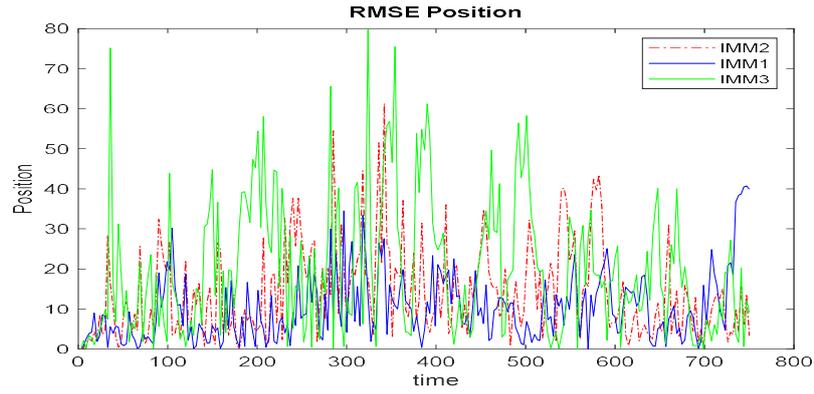


Рис. 2. СКО по позиции

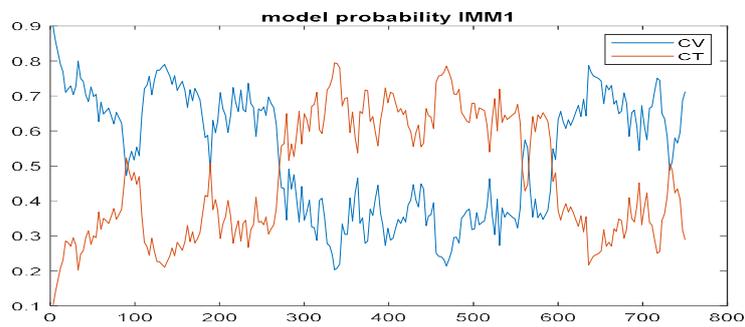


Рис. 3. Модель вероятности IMM1-фильтра

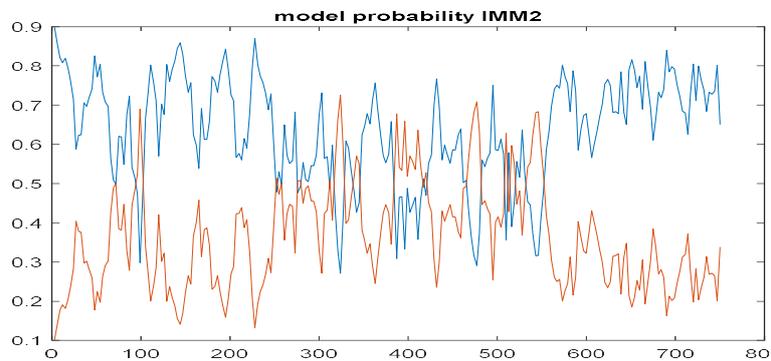


Рис. 4. Модель вероятности IMM2-фильтра

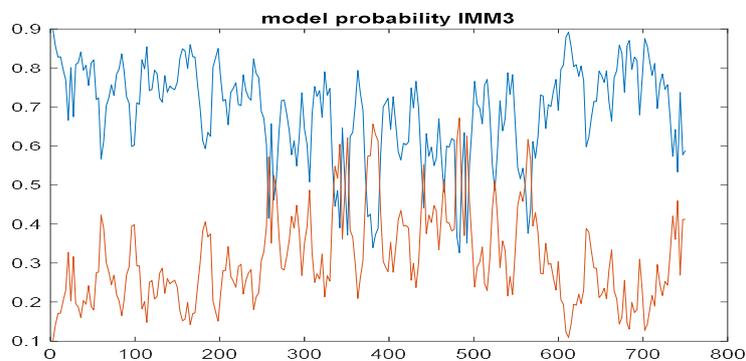


Рис. 5. Модель вероятности IMM3-фильтра

Результаты моделирования показывают, что точность оценивания от высокого к низкому соответствует ИММ1 и ИММ2, ИММ3 по порядку. Наилучше результат наблюдается, естественно, при полном соответствии маневра и фильтра. На практике скорость поворота не известна, в этом случае использование схемы фильтрации ИММ2 фильтров обеспечивает разумный компромисс между точностью сопровождения при выполнении действия с маневром и без маневра.

Список используемых источников

1. Guo R. et al. Interacting Multiple Model Particle-type Filtering Approaches to Ground Target Tracking // J. Comput. 2008. Т. 3. №. 7. С. 23–30.
2. Hong L. et al. Multirate interacting multiple model particle filter for terrain-based ground target tracking // IEE Proceedings-Control Theory and Applications. 2006. Т. 153. №. 6. С. 721–731.
3. Garren D., Chong C., Grayson T. P. Ground target tracking-a historical perspective // Proceedings of the IEEE Aerospace, Big Sky, MT. 2000.
4. Cui N., Hong L., Layne J. R. A comparison of nonlinear filtering approaches with an application to ground target tracking // Signal Processing. 2005. Т. 85. №. 8. С. 1469–1492.
5. Bar-Shalom Y., Challa S., Blom H. A. P. IMM estimator versus optimal estimator for hybrid systems // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 2005. Т. 41. №. 3. С. 986–991.
6. Bar-Shalom Y., Li X. R. Estimation and tracking- Principles, techniques, and software // Norwood, MA: Artech House, Inc, 1993. 1993.
7. Mazor E. et al. Interacting multiple model methods in target tracking: a survey // IEEE Transactions on aerospace and electronic systems. 1998. Т. 34. №. 1. С. 103–123.
8. Коновалов А. А. (2014) Основы траекторной обработки радиолокационной информации: в 2 ч. СПб. : Изд-во СПбГЭТУ. Ч. 2. 180 с.

УДК 621.396.99
ГРНТИ 47.47.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДМЕНЫ MAC-АДРЕСА ПО СМЕЩЕНИЮ ЧАСТОТЫ В СЕТЯХ Wi-Fi

Л. А. Демченко², В. В. Мошков¹, Д. М. Юраков¹

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

²Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

В статье представлена одна из возможностей выявления подмены MAC адреса устройства в сети Wi-Fi на основе измерения смещения частоты сигнала с применением короткой и длинной обучающих последовательностей в принимаемом пакете. Исследование проводится с применением SDR-оборудования и ПО GNU Radio Companion.

Известный из публикаций подход [1] к выявлению подмены MAC адреса основан на гипотезе о том, что вычисленная частота смещения однозначно определяется параметрами задающего генератора передатчика. В настоящей работе исследуется влияние прочих факторов на вычисляемую частоту смещения.

LimeSDR, GNU Radio Companion, SDR, Software-defined radio, Wi-Fi, MAC.

Пакеты Wi-Fi при распространении в естественных условиях могут иметь разную несущую частоту. Этот сдвиг частоты вызван несколькими факторами, главными из которых являются: неточность кварцевого генератора в передатчике и приемнике Wi-Fi, движение передатчика относительно приемника Wi-Fi (возникновение эффекта Доплера) [2].

Несмотря на значительные усилия производителей по поддержанию этой частотной ошибки на минимально возможном уровне (обычно менее 20 частей на миллион, или 0,002% от несущей частоты), даже эта небольшая ошибка может нанести ущерб приемнику OFDM. Ошибка частоты обычно проявляется как эффект вращения созвездия QAM, поэтому для устранения данных ошибок при приёме сигнала выполняется частотная коррекция и символьная синхронизация (рис. 1).

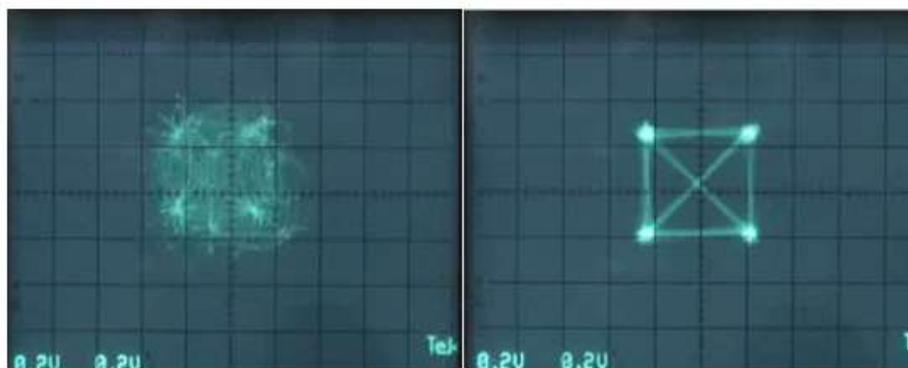


Рис. 1. Созвездие QAM до коррекции и QAM созвездие после частотной коррекции и символьной синхронизации

Из-за высокой чувствительности к ошибке частоты каждый приемник Wi-Fi реализует сложный алгоритм для измерения и корректировки смещения частоты. Без этой поправки прием OFDM был бы практически невозможен. Сдвиг частоты рассчитывается каждый раз при приёме пакета Wi-Fi при помощи короткой (Short Training) и длинной (Long Training) обучающей последовательности в начале пакета Wi-Fi (рис. 2). Короткая обучающая последовательность состоит из 10 одинаковых последовательностей из 16 символов каждая. Длинная обучающая последовательность состоит из защитного интервала и двух одинаковых слов синхронизации, заведомо известных приёмнику, состоящим из 64 символов на каждое слово.

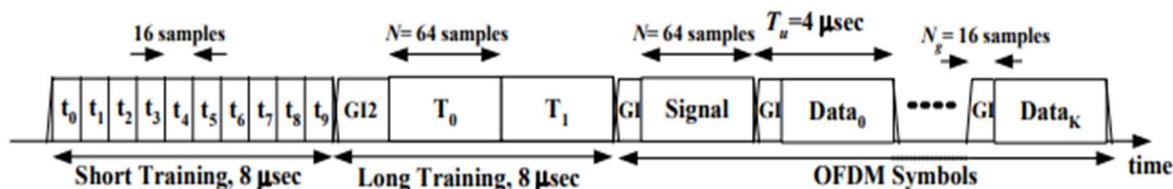


Рис. 2. Структура кадра IEEE 802.11

В таком случае сдвиг частоты может представлять из себя особенный набор радиочастотных метаданных. Эти данные могут раскрыть уникальные свойства передатчика Wi-Fi, а также использоваться для отслеживания подмены MAC адреса. MAC-адрес – это уникальный адрес каждого сетевого устройства, который передаётся в пакете Wi-Fi вместе с адресом приёмника и передатчика. MAC адрес устройства назначается производителем. В современных устройствах имеется возможность подменять этот адрес, как для безопасности пользователей [3], так в целях перехвата данных [4].

Во время проведения исследования использовалась разработанная на основе библиотеки «gr-ieee-80211» программа [5] в среде GNU Radio Companion [6]. В качестве аппаратного обеспечения во время эксперимента было задействовано устройство программно-конфигурируемого радио LimeSDR [7]. Программные блоки на рис. 3 используются для обнаружения каждого начального состояния передачи пакета данных (рис. 3).

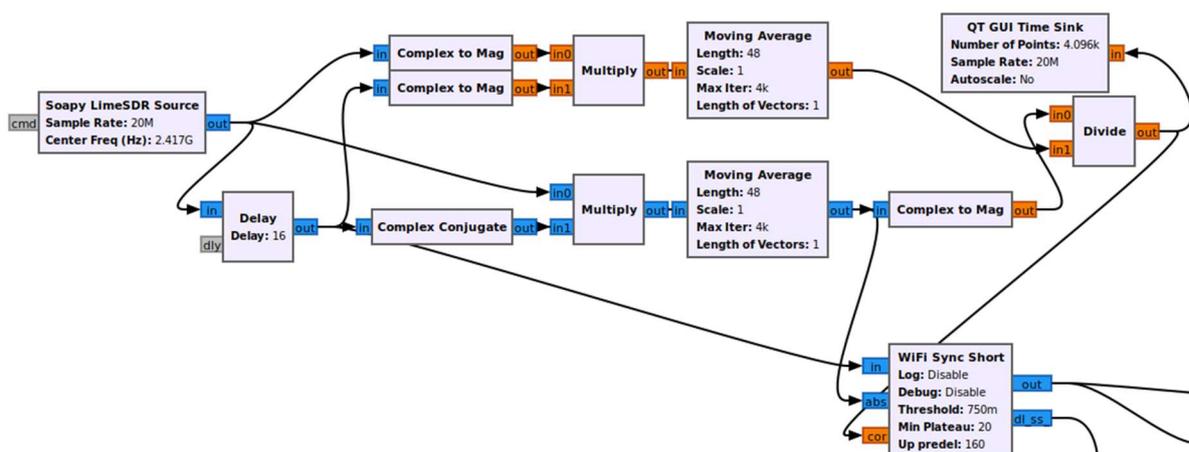


Рис. 3. Определения начала пакетов в модели декодирования пакетов Wi-Fi

После детектирования отсчёта нового пакета данных выполняется коррекция, декодирование и извлечение данных из заголовка пакета (рис. 4).

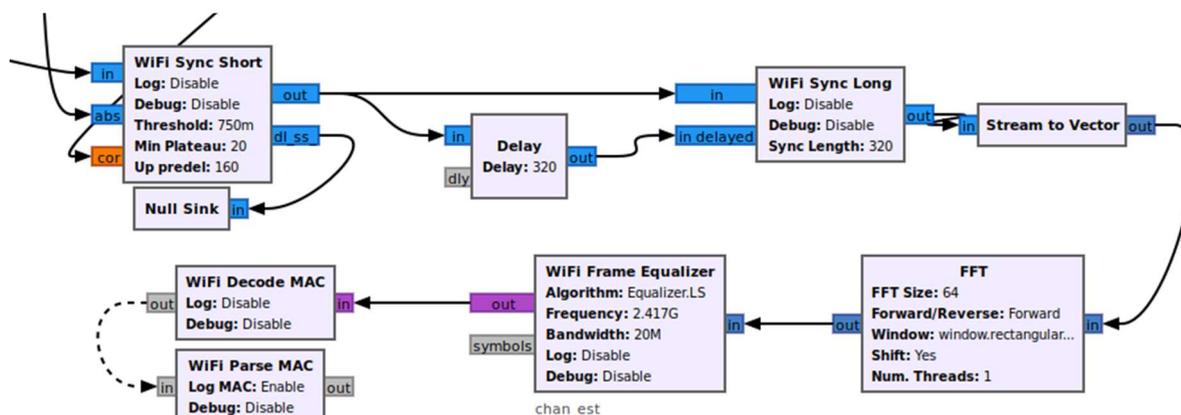


Рис. 4. Блоки коррекции частоты модели декодирования пакетов Wi-Fi

Последовательность действий, представленных на рисунке выше, происходит следующим образом:

1) Блок «Sync Short» производит грубую оценку частоты по короткой обучающей последовательности и передаёт вычисленное значение через тег следующему блоку.

2) Блок «Sync Long» позволяет оценить смещение несущей частоты по длинной обучающей последовательности и суммирует полученное с ранее вычисленным значением.

3) Блок «Frame Equalizer» вносит коррекцию частоты при декодировании символов одного пакета Wi-Fi.

4) Блок «WIFI Decode MAC» декодирует заголовок пакета Wi-Fi.

5) Блок «WIFI Parse MAC» преобразует декодированные данные заголовка из байт в кодировку ASCII, а также ранее полученные данные такие, как длина пакета, смещение частоты, способ декодирования заголовка и т. д.

Для отслеживания частоты смещения был доработан блок «WIFI Parse MAC». Данный блок записывает в файл вычисленное значение смещения частоты, которое было определено по грубому и точному смещению в соответствии с принятым пакетом от конкретного устройства (отслеживание происходило по MAC-адресу передающего устройства). Для этого в листинг блока «WIFI Parse MAC» был добавлен следующий код, представленный на рис. 5. После внесения изменений в существующий оригинальный блок программы была произведена новая сборка библиотеки.

Тестирование происходило следующим образом. Активная точка доступа настраивалась на канал с интервалом в 5 минут, после чего происходило переключение на следующий указанный канал. В качестве используемых каналов были выбраны 2, 5 и 7 каналы в диапазоне 2,4 ГГц. Для проведения тестирования использовались два устройства: «Apple iPhone 7» и «Samsung Galaxy S10». Данные устройства по очереди подключались к точке доступа при проведении серии тестов. Серия тестов начиналась на 2

канале, далее происходило переключение на 5 и 7 каналы, после чего происходил возврат снова на 2й канал. Во время проведения тестов на каждом канале SDR устройство LimeSDR настраивалось на используемый канал и рассчитывало смещение частоты по передаваемым пакетам на точку доступа в эфире.

```
auto frek_ofs = pmt::dict_ref(d_meta, pmt::mp("frequency offset") ,
pmt::mp("frequency offset")); // получение из словаря тегов вычисленное
значение смещения частоты
auto address2 = format_mac_address(h->addr2); //MAC - адрес декодированного
пакета

std::string test1 = "64:7b:ce:42:cd:16"; // MAC - адрес тестируемого
устройства
    if (test1 == address2)
    {
        mylog(boost::format(" *** mac2: %1% ---> %2% Hz *** ") % address2
% frek_ofs); // команда для вывода значения в консоль
        test1 += std::string("_frek_ofset.txt"); // название файла
        //запись данных в файл
        std::ofstream ofile;
        ofile.open(test1, std::ios::app); // открываем файл
        ofile << frek_ofs << std::endl; // записываем данные в файл
        ofile.close(); // закрываем файл
    }
```

Рис. 5. Код, добавленный в листинг блока «WIFI Parse MAC»

Результаты исследования представлены в таблице 1. Значения в таблице приведены как среднее значение за 1500 пакетов в Гц.

ТАБЛИЦА 1. Результаты проведения исследования

Устройство	канал 2, Гц	канал 5, Гц	канал 7, Гц	канал 2, Гц
iPhone 7	-8445,333333	-7533,730769	-8823,866667	-8695,105263
Galaxy S10	-7323,617647	-8465,416667	-8393,727273	-6310,933333

Получив в рамках исследования указанные выше результаты было установлено, что определение устройства с измененным MAC адресом по смещению частоты является затруднительным. На основе полученных результатов сложно определить частоту задающего генератора устройства подключенного к точке доступа. В дальнейшем планируется исследование других факторов и способов для возможности определения подмены MAC-адреса устройства.

Список используемых источников

1. Using RfTap to Detect MAC Spoofing. URL: <https://rftap.github.io/blog/2016/09/01/rftap-wifi.html> (дата обращения: 14.11.2021 г.).
2. Чечуев, В. Я. Элементы физики колебаний и волн. учеб. Пособие // Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост. В. Я. Чечуев. Новосибирск: Золотой колос, 2014. 83–90 с.
3. Как изменить MAC-адрес. URL: <https://profhelp.com.ua/articles/kak-izmenit-mac-adres> (дата обращения: 14.11.2021 г.).
4. Подмена MAC: атака и защита, теория и практика. URL: <https://хакер.ру/2002/01/24/14341/> (дата обращения: 14.11.2021 г.).
5. Приемопередатчик IEEE 802.11 a/g / р для GNU Radio. URL: <https://github.com/bastibl/gr-ieee802-11> (дата обращения: 10.10.2021 г.).
6. About GNU Radio. URL: <https://www.gnuradio.org/about/> (дата обращения: 29.03.2021 г.).
7. LimeSDR. URL: <https://limemicro.com/products/boards/limesdr/> (дата обращения: 29.03.2021 г.).

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, профессором О. В. Воробьёвым.*

УДК 621.396.96
ГРНТИ 47.29.47

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ-ИМПУЛЬСА ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ПОГЛОЩАЮЩИХ СРЕД

А. В. Денисов¹, М. Л. Маслаков^{2,3}, Е. П. Сауленко^{1,3}

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

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

³Акционерное общество «Российский институт мощного радиостроения»

В современных задачах, связанных с распространением радиоволн, не только ставится вопрос об определении положения предмета в пространстве, но и возникает интерес к определению различных характеристик внутреннего состояния тела или среды. Данное исследование может быть проведено путем зондирования поверхности короткими электромагнитными импульсами с последующим анализом изменений профиля отраженного сигнала.

ЛЧМ сигнал, зондирование, метод регуляризации, коэффициент отражения.

Исследование параметров поглощающих сред можно проводить электромагнитными импульсами удаленно, без непосредственного контакта.

Подобные задачи возникают при изучении и построении моделей СВЧ систем, зондировании ионосферы Земли и т. д.

Зондирование среды будет производиться двумя видами сигналов:

1) Прямоугольными импульсами (как предложено в работе [1]) с частотой $f_0 = 28$ Гц, коэффициентом заполнения 50 %, амплитудой 1 В.

2) Сигналом с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [2], определяемый выражением:

$$x(t) = U_n \cos\left(\omega_0 t + \frac{\mu t^2}{2}\right)$$

с параметрами $f_0 = 28$ Гц, $\frac{\mu}{2} = 2 * 10^4$, $U_n = 1$ В.

Преимущество использования ЛЧМ сигнала состоит в равномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в пределах занимаемой полосы частот. Поэтому умножение на него какого-либо другого сигнала в частотной области схоже с умножением на дельта-функцию в некоторой полосе частот.

Суть численного эксперимента, представленного в работе, состоит в следующем. Формируются зондирующие прямоугольный и ЛЧМ сигналы, с параллельной или перпендикулярной поляризацией, с помощью которых исследуется некоторая поглощающая среда. Цель зондирования оценить коэффициент отражения R .

Будем регистрировать отраженный от среды сигнал с добавленным гауссовским шумом, представляющий собой правую часть уравнения:

$$\int_{-\infty}^{\infty} r(t - \tau)x(\tau)d\tau = u(t), \quad (1)$$

где $r(t)$ – импульсная характеристика среды, $u(t)$ – принимаемый сигнал, причем

$$u(t) = u_0(t) + \xi(t),$$

где $u_0(t)$ – точные значения сигнала, $\xi(t)$ – аддитивный белый шум.

Для решения уравнения (1) в работе применяется методом регуляризации Тихонова. По найденному в частотной области решению уравнения (1) будем оценивать коэффициент отражения.

Система линейных алгебраических уравнений для реализации метода регуляризации выглядит следующим образом [3]:

$$(\alpha E + A^T A)z_\alpha = A^T u. \quad (2)$$

Здесь $\alpha > 0$ параметр регуляризации, E, A^T – единичная и транспонированная матрицы. Применительно к нашей работе, выражение (2) можно переписать в ином виде:

$$(\alpha M + x_{\omega}^* x_{\omega}) R_{\alpha} = x_{\omega}^* u.$$

Здесь $\alpha, M > 0$ параметры регуляризации, x_{ω}^* – спектр сигнала, комплексно сопряженный со спектром зондирующего сигнала x_{ω} , u_{ω} – спектр принятого отраженного сигнала.

Численный эксперимент проводился в среде MATLAB. При моделировании отношение сигнал/шум составляло 62 дБ.

Полученные результаты представлены на рис. 1–4. На рис. 1 рассматривается применение перпендикулярно поляризованного прямоугольного сигнала, на рис. 2 – перпендикулярно поляризованного ЛЧМ сигнала. На рис. 3 рассматривается применение параллельно поляризованного прямоугольного сигнала, на рис. 4 – параллельно поляризованного ЛЧМ сигнала.

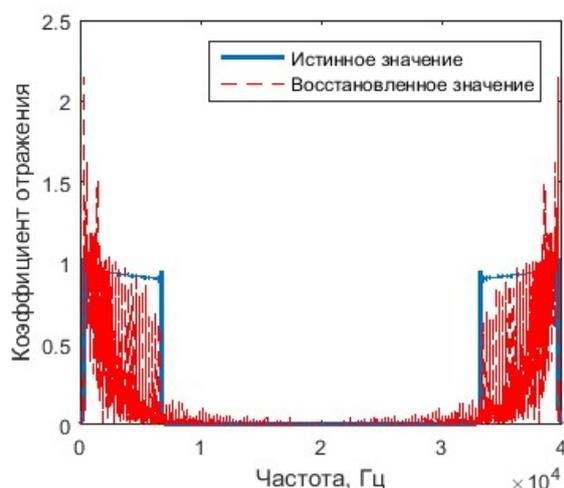


Рис. 1. Восстановление коэффициента отражения перпендикулярно поляризованного прямоугольного сигнала при $\alpha = 0.0001, M = \{M_n\} = n^2$

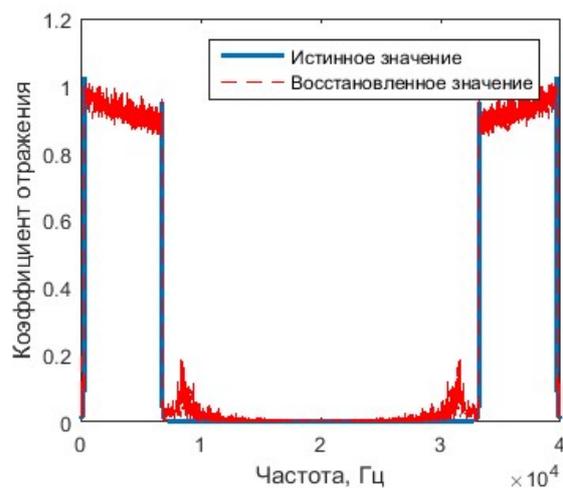


Рис. 2. Восстановление коэффициента отражения перпендикулярно поляризованного ЛЧМ сигнала при $\alpha = 0.0001, M = \{M_n\} = n^2$

Из полученных в ходе эксперимента данных, можно сделать вывод о том, что зондирование прямоугольными импульсами в сочетании с применением метода Тихонова является неэффективным, поэтому для зондирования поглощающих сред целесообразно использование именно ЛЧМ сигнала.

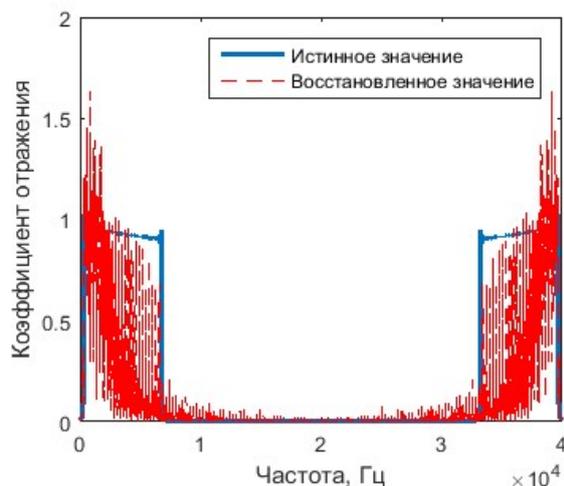


Рис. 3. Восстановление коэффициента отражения параллельно поляризованного прямоугольного сигнала при $\alpha = 0.0001, M = \{M_n\} = n^2$

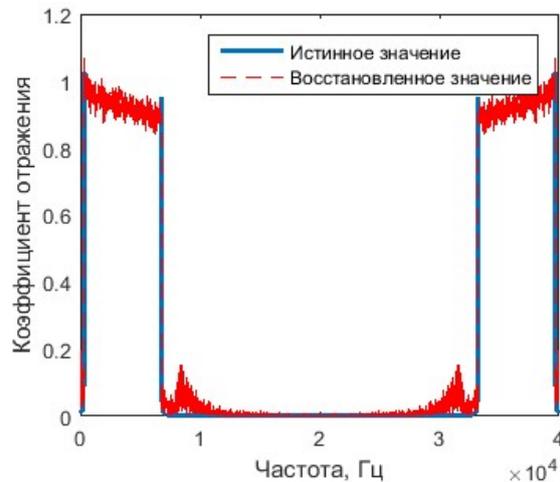


Рис. 4. Восстановление коэффициента отражения параллельно поляризованного ЛЧМ сигнала при $\alpha = 0.0001, M = \{M_n\} = n^2$

Список используемых источников

1. Водяницкий С. Я., Зуев М.А., Молостов А. А., Шварцбург А. Б. Секвентные сигналы в зондировании поглощающих сред // Компьютерная оптика. 1990. № 7. С. 86–89.
2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы: Пер. с англ. / Под ред. В. С. Кельзова. М.: Советское радио, 1971.
3. Сизиков В. С., Кривых А. В. Восстановление непрерывных спектров методом регуляризации с использованием модельных спектров // Оптика и спектроскопия. 2014. Т. 117. № 6. С. 1040–1048. doi: 10.7868/S0030403414110166

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.99

ИССЛЕДОВАНИЕ СТУПЕНЧАТЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ СВЧ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ НА ПЛАНАРНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫ

Н. О. Дёшина, А. Р. Кубалова, Т. А. Рыжикова

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

Статья посвящена рассмотрению ступенчатых эллиптических фильтров СВЧ на линиях передачи одинаковой длины. Наиболее перспективным способом реализации ступенчатых эллиптических фильтров является структура из двух параллельно соединенных решёток связанных линий со скачком волнового сопротивления в точке соединения.

Достоинством подобных структур является наибольшая компактность за счёт реализации на планарных линиях передач.

эллиптический фильтр, планарные линии передачи, СВЧ-устройства, ступенчатый фильтр, волновое сопротивление.

Из-за относительной сложности расчёта эллиптические фильтры (ЭФ) СВЧ пока не получили широкого распространения в радиотехнике. Однако благодаря развитию современных средств электромагнитного моделирования и их внедрению в процесс расчёта ЭФ СВЧ, открылась возможность точнее предсказывать характеристики реального устройства. В связи с этим становится актуальными накопление и анализ экспериментальных данных о работе ЭФ СВЧ, разработка новых и модификация предложенных ранее способов реализации ЭФ СВЧ с учётом ужесточения требований к миниатюризации в радиотехнике, а также разработка методик инженерного расчёта.

Ранее Д. Роудсом была изложена методика проектирования ступенчатых ЭФ только для объёмных стержней в среде с воздушным заполнением [1, 2]. С точки зрения уменьшения массогабаритных характеристик и повышения технологичности устройства представляет интерес планарная реализация ступенчатого ЭФ СВЧ.

В работах Роудса концы резонаторных стержней фильтра заземлены с одного или с двух концов (рис. 1а, 1б). Соединение обоих концов объёмных резонаторов в воздушной среде со стенками корпуса приводит к дополнительной прочности конструкции [3]. При реализации на планарных линиях передачи заземление нежелательно, однако без него можно обойтись с помощью новой схемы, концы резонаторов которой работают в режиме холостого хода (рис. 1в).

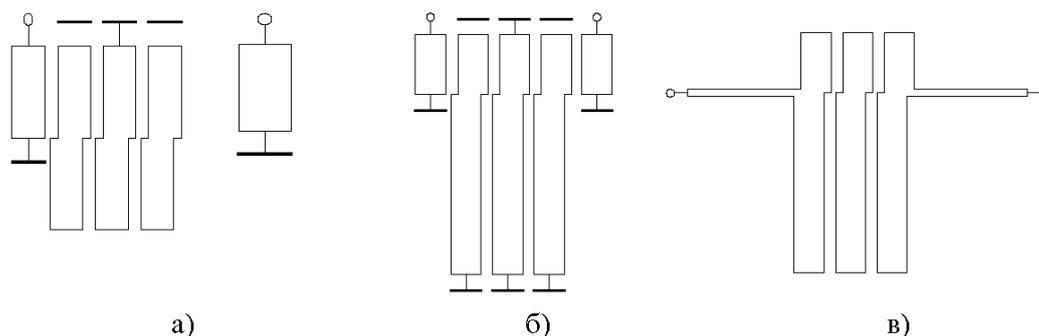


Рис. 1. Способы реализации ступенчатого ЭФ СВЧ: а) на линиях передачи одинаковой длины; б) на линиях передачи разной длины; в) на линиях передачи без заземления

В данной статье изложены основные этапы синтеза ступенчатых ЭФ СВЧ на линиях передачи одинаковой длины. Для случая резонаторов без за-

земления выведены расчётные формулы. Разработаны методы конструктивного расчёта фильтров Роудса с реализацией на планарных линиях передачи, а именно на СПЛ и МПЛ, с применением электромагнитного анализа методом конечных элементов в HFSS.

Синтез ступенчатого ЭФ СВЧ начинается с выбора фильтра-прототипа нижних частот (ФПНЧ) из справочников [4] или [5], удовлетворяющего техническому заданию. Входными данными для определения эллиптического ФПНЧ являются:

- а) уровень пульсаций АЧХ в ПП a_D в dB;
- б) минимальные затухания в ПЗ a_S в dB;
- в) порядок фильтра N .

Типичная П-секция эллиптического ФПНЧ представлена [3], а её АЧХ [3]. Одна П-секция представляет собой ФПНЧ порядка $N = 3$. С помощью каскадного соединения подобных П-секций реализуются эллиптические полосно-пропускающие фильтры (ППФ) нечётного порядка с симметричной характеристикой затухания.

С помощью преобразования можно сразу перейти от эллиптического ФПНЧ к полосно-пропускающему ЭФ на идеальных линиях передачи (рис. 2).

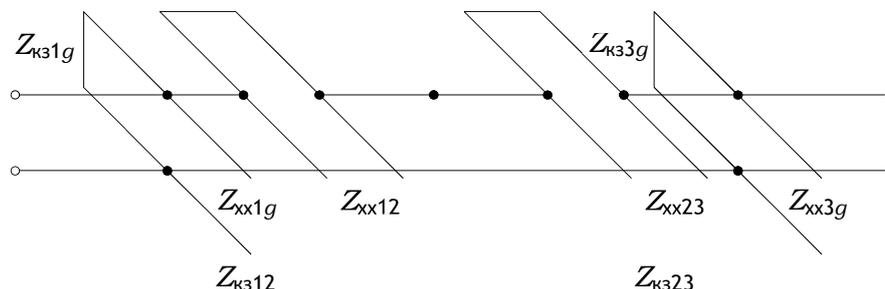


Рис. 2. П-секция эллиптического ППФ на идеальных Т-линиях на f_0 .

Электрическая длина всех элементов цепи на рис. 2 составляет θ_0 .

От выбора электрической длины элементов цепи Ричардса θ_0 зависит расположение паразитной полосы пропускания (ПП) и габариты фильтра. Теоретически θ_0 можно выбирать произвольно при условии $\theta_0 < \pi/2$. В дальнейшем будут показаны АЧХ фильтра на идеальных линиях передачи при $\theta_0 = \pi/4$ и при $\theta_0 = \pi/3$. На практике для получения симметричной характеристики затухания и удобных для реализации волновых сопротивлений выбирают $\theta_0 = \pi/4$.

П-секцию на рис.2 можно представить, как параллельное соединение двух лестничных подходов A и B . Подсхема A состоит только из короткозамкнутых элементов, а подсхема B – только из разомкнутых (рис. 3)

А добавляются единичные элементы (ЕЭ), реализуемые встречно-стержневыми связанными линиями, для согласования внутренней части фильтра с источником и нагрузкой.

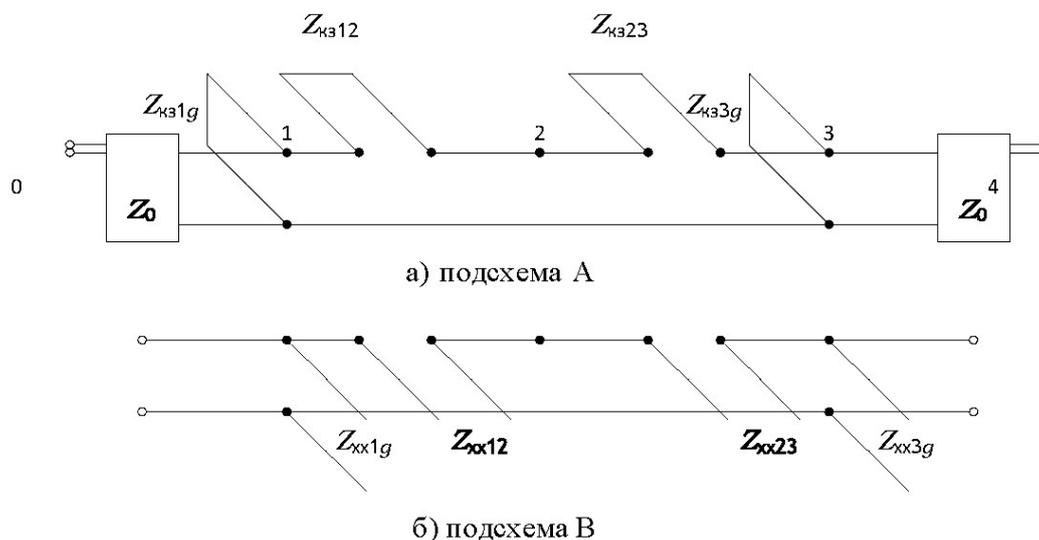


Рис. 3. Подсхемы А и В на идеальных Т-линиях к расчёту ступенчатого ЭФ СВЧ

Очевидным вариантом реализации подсхем А и В служат многопроводные связанные линии. Двумерные представления решёток связанных линий с указанием граничных условий изображены в виде ёмкостных диаграмм [6]. C_{i-1} i – взаимные погонные ёмкости, а C_{ig} – погонные ёмкости узлов на землю ($i = 1, 2, \dots, N + 1$). Итоговой структурой будет параллельное соединение в соответствующих узлах двух решёток связанных линий общей электрической длины $2\theta_0$ на центральной частоте фильтра f_0 .

Теперь для реализации фильтра на решётках связанных СПЛ или МПЛ необходимо:

а) преобразовать волновые сопротивления элементов так, чтобы у каждого внутреннего узла появилось конечное волновое сопротивление на землю;

б) масштабировать уровень всех волновых сопротивлений схемы фильтра с целью выполнения требований физической реализуемости.

Преобразования волновых сопротивлений или проводимостей удобно проводить в матричной форме методом Венцеля [6]. Для этого сформируем матрицы волновых проводимостей с помощью метода узловых потенциалов. Суммы внешних и центральных столбцов матриц равны нулю. Это связано с тем, что собственная проводимость нулевого и чётных узлов исходных подсхем полностью определяется взаимными элементами.

Зададимся коэффициентом трансформации внутренних чётных узлов $\sqrt{n} > 1$ коэффициентом трансформации всей схемы $\frac{1}{\sqrt{b}} < 1$

Полностью преобразование можно записать следующим образом:

$$Y_A = IY'_A I,$$

$$Y_B = IY'_B I,$$

где Y_A и Y_B – преобразованные матрицы волновых проводимостей подсхем A и B ,

I – матрица преобразования.

Элементы неглавных диагоналей матриц равны по абсолютной величине взаимным погонным ёмкостям узлов. Суммы столбцов – это погонные ёмкости соответствующих узлов на землю. В матрицах делается допущение, что связь между не соседними линиями пренебрежимо мала.

Ступенчатые ЭФ СВЧ нечётных порядков $N > 3$ составляются путём каскадного соединения подобных П-секций.

Список используемых источников

1. Rhodes J. D. The Stepped Digital Elliptic Filter / J.D. Rhodes // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. – 1969. V. 17. – pp. 178-174.
2. Rhodes J. D. The Half-Wave Stepped Digital Elliptic Filter // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. – 1969. V. 17. pp. 1102–1107.
3. Кубалова А. Р., Томашевич. С. В. Анализ и синтез микроволновых эллиптических фильтров. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2013. 368 с.
4. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь, 1983. 752 с.
5. Richards P. I. Resistor-Transmission-Line Circuits // Proceedings of the IRE. 1948. V. 36. pp. 217–220.
6. Wenzel R. J. Exact Theory of Interdigital Band-Pass Filters and Related Coupled Structures // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1965. V. 13.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.99

ИССЛЕДОВАНИЕ СТУПЕНЧАТЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ СВЧ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ НА ПЛАНАРНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

Н. О. Дёшина, А. Р. Кубалова, Т. А. Рыжикова

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

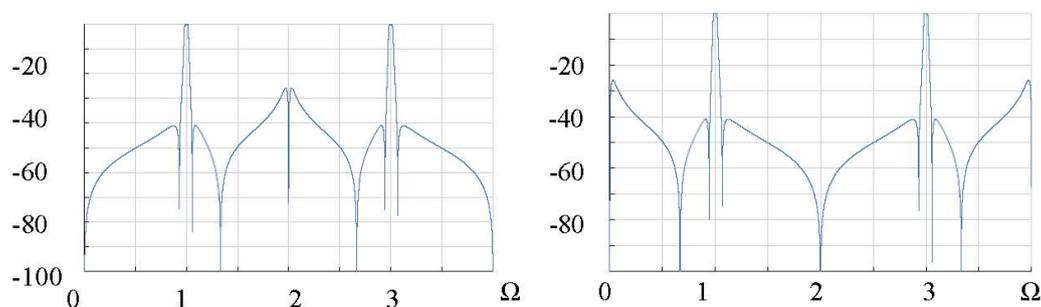
Статья посвящена рассмотрению ступенчатых эллиптических фильтров СВЧ на линиях передачи разной длины. Характеристика затухания данного фильтра пульсирует как в полосе пропускания, так и в полосе заграждения, и имеет нули передачи на конечных частотах. Эти свойства позволяют аппроксимировать характеристику идеального фильтра с применением наименьшего числа резонаторов. Для уменьшения массогабаритных характеристик и повышения технологичности устройства используют планарную реализацию ступенчатого эллиптического фильтра.

аппроксимация, планарные линии передачи, СВЧ-устройства, ступенчатый фильтр, полоса заграждения, полоса пропускания.

Наиболее перспективным способом реализации планарного эллиптического фильтра (ЭФ) является структура из двух параллельно соединенных решёток связанных линий со скачком волнового сопротивления в точке соединения. Достоинством подобных структур является наибольшая компактность за счёт реализации на многопроводной линии.

Известно два варианта реализации узкополосных ступенчатых эллиптических СВЧ фильтров на линиях передачи разной длины:

- резонаторы замкнуты на землю с обоих концов (рис. 1а);
- резонаторы разомкнуты с обоих концов (рис. 1б).



а) на короткозамкнутых резонаторах б) на разомкнутых резонаторах

Рис. 1. АЧХ П-секции, нормированного ЭФ СВЧ на идеальных Т-линиях разной длины при $\theta_0 = \pi/4$

На рис. 1 представлены типичные АЧХ нормированных ступенчатых ЭФ на идеальных линиях передачи разной длины обоих вариантов.

Первый вариант повышает прочность фильтров на объёмных СПЛ с воздушным заполнением за счёт крепления стержней на стенки корпуса. Второй вариант удобен в случае планарных фильтров на диэлектрических подложках, поскольку не требует использования металлизированных переходных отверстий. Недостатком обеих реализаций является удлинение резонаторов в два раза по сравнению со структурой на линиях передачи одинаковой длины [1].

Покажем, что резонатор длиной $\pi/2$ на f_0 , заземленный с одного конца, можно заменить полуволновым резонатором, короткозамкнутым с обоих концов (рис. 2).

Таким образом, можно преобразовать все четвертьволновые резонаторы ЭФ, заземлённые с одного конца, в короткозамкнутые с обоих концов резонаторы длиной π на f_0 (рис. 3).

Таким образом к решётке связанных четвертьволновых резонаторов, заземлённых с одного конца, можно перейти к решётке без заземления общей длиной π на f_0 .

Входные сопротивления ЭФ СВЧ на линиях передачи одинаковой длины и альтернативных структур на линиях разной длины совпадают в узкой полосе частот [2].

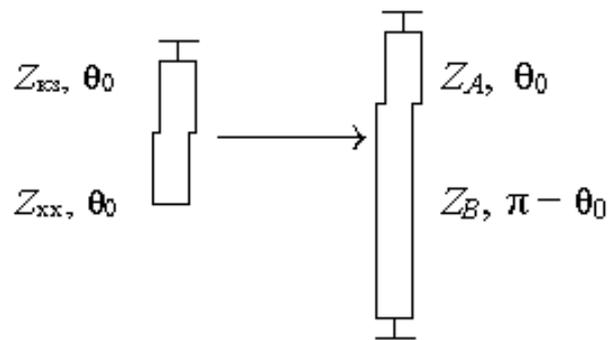


Рис. 2. Преобразование резонатора ступенчатого ЭФ СВЧ

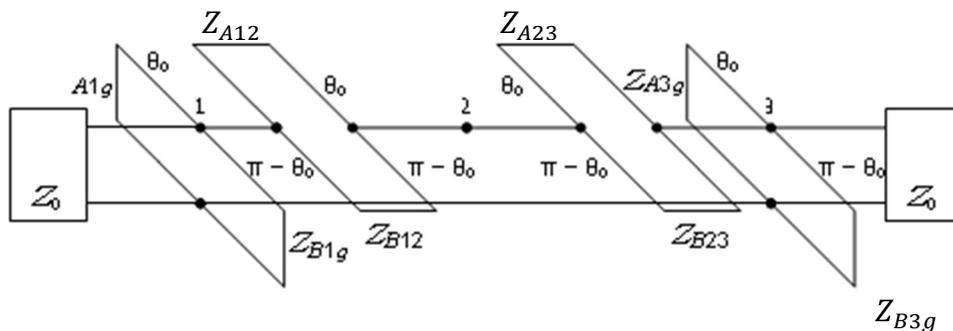


Рис. 3. Π -секция эллиптического ППФ на идеальных Т-линиях разной длины с заземлением

Отдельный интерес представляет синтез четырёхпортового ЭФ на основе структуры с заземлёнными резонаторами [3]. Впервые идея о том,

что полуволновый ступенчатый фильтр допускает альтернативные способы подключения портов высказана ещё Д. Роудсом в работе [2]. Эта возможность обусловлена тем, что встречно-стержневые согласующие секции могут встраиваться как в подсхему *A*, так и в подсхему *B* фильтра на короткозамкнутых линиях разной длины. Но, если добавить в схему обычной П-секции ЭФ вторую пару ЕЭ, как показано на рис. 4, то после ряда стандартных преобразований можно получить фильтр с четырьмя портами [4].

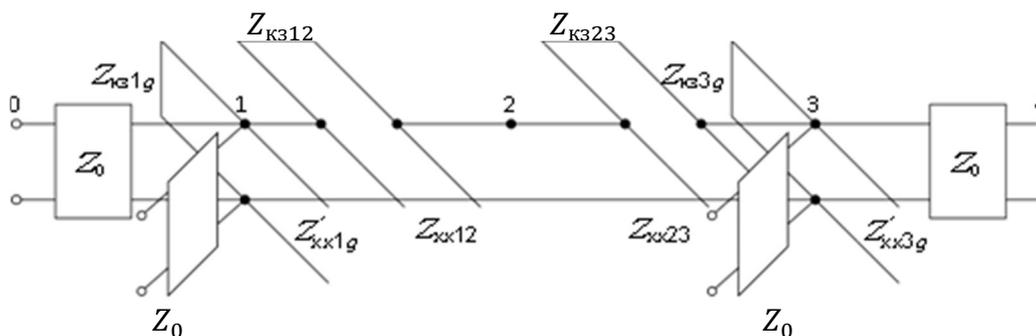


Рис. 4. П-секция эллиптического ППФ на идеальных Т-линиях к расчёту четырёхпортового фильтра

Как известно, разомкнутые ЕЭ характеризуются ёмкостным импедансом. Следовательно, их волновые сопротивления можно вычесть из примыкающих элементов подсхемы *B*. Таким образом, новые значения $Z_{xx\ 1g}$ и $Z_{xx\ 3g}$.

Далее все резонаторы пересчитывают в полуволновые по формулам [3] и преобразуют матрицы волновых проводимостей по процедуре, изложенной в разделе [4]. В результате получают топологию, представленную на рис. 5. Могут быть использованы следующие пары портов: Π_1 - Π_2 , Π_3 - Π_4 , Π_1 - Π_4 , Π_2 - Π_3 . При этом, если любой из портов Π_1 , Π_2 не используется, то недействующие полоски должны работать в режиме холостого хода, а если не используется любой из портов Π_3 , Π_4 , то полоски замыкают на землю.

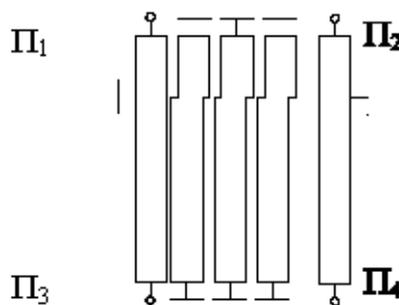


Рис. 5. Топология четырёхпортового ЭФ СВЧ порядка $N = 3$

В качестве примера был синтезирован нормированный четырёхпортовый ступенчатый ЭФ СВЧ порядка $N = 5$. Частотные характеристики, полученные в результате моделирования фильтра в среде проектирования СВЧ устройств ADS, для пар портов Π_1 - Π_2 , Π_3 - Π_4 , Π_1 - Π_4 представлены на рис. 6. АЧХ в полосе пропускания практически идентичны при всех трёх способах включения фильтра в СВЧ тракт. Значения нормированных волновых сопротивлений фильтра сведены в таблицу 1.

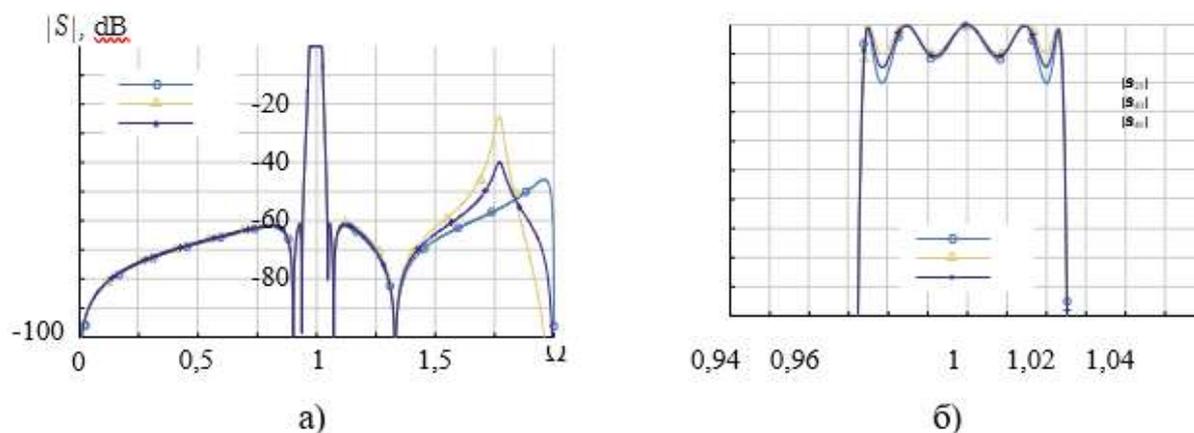


Рис. 6. АЧХ нормированного четырёхпортового ступенчатого ЭФ СВЧ на идеальных Т-линиях порядка $N = 5$

ТАБЛИЦА 1. Нормированные волновые сопротивления четырёхпортового ступенчатого ЭФ СВЧ порядка $N = 5$

Под-схема	Нормированные волновые сопротивления												
	Z_{A1g}	Z_{A12}	Z_{A2g}	Z_{A23}	Z_{A3g}	Z_{A34}	Z_{A4g}	Z_{A45}	Z_{A5g}	Z_{A56}	Z_{A6g}	Z_{A67}	Z_{A7g}
<i>A</i>	1,56	2,78	1,24	3,14	2,01	10,14	2,01	2,6	2	3,09	1,27	2,78	1,56
<i>B</i>	Z_{B1g}	Z_{B12}	Z_{B2g}	Z_{B23}	Z_{B3g}	Z_{B34}	Z_{B4g}	Z_{B45}	Z_{B5g}	Z_{B56}	Z_{B6g}	Z_{B67}	Z_{B7g}
	1,56	2,78	1,36	5,03	1,88	5,44	2,03	3,56	2,17	2,13	1,63	2,78	1,56

Список используемых источников

1. Rhodes J. D. The Stepped Digital Elliptic Filter // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1969. V. 17. pp. 178–174.
2. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М. : Радио и связь, 1983. 752 с.
3. Richards P. I. Resistor-Transmission-Line Circuits // Proceedings of the IRE. 1948. V. 36. pp. 217–220.
4. Wenzel, R. J. Exact Theory of Interdigital Band-Pass Filters and Related Coupled Structures / R.J. Wenzel // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1965. V. 13.

УДК 628.336.712
ГРНТИ 87.53.22

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОИСК НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ

А. Р. Елистратова, Н. Е. Манвелова

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

Осадки сточных вод (ОСВ) - твердая фракция органических и минеральных веществ, образующиеся на очистных сооружениях; являются основным отходом процесса очистки стоков. Объемы ОСВ в России исчисляются более чем двумя миллионами тонн осадка в год в расчете на сухое вещество. Наиболее часто используемым методом обработки ОСВ является их сжигание, например, в многоподовых печах, печах с псевдоожигенным слоем инертного материала, однако, применение этих технологий сопровождается вторичным загрязнением окружающей среды токсичными продуктами высокотемпературного сгорания осадков. Предлагается использовать новейший метод низкотемпературного сжигания ОСВ в слое катализатора, позволяющий избежать недостатков высокотемпературных способов утилизации.

осадки сточных вод, вторичное загрязнение окружающей среды, утилизация осадков методом сжигания в печах с псевдоожигенным слоем катализаторов.

Проблема утилизации осадков сточных вод, а именно их переработки, сейчас как никогда остро стоит. До 300 тыс. м³ необработанной воды в сутки может поступать на крупные очистные сооружения в городе с населением больше миллиона человек. В процессе эксплуатации таких очистных сооружений образуются неочищенные осадки сточных вод, которые наносят значительный ущерб окружающей среде без их последующей обработки и утилизации.

Опасность необработанного илового осадка заключается в его составе: он на 70–75 % состоит из органических веществ, способных к быстрому и интенсивному гниению. Основными компонентами беззольной части осадка являются белковые, жирные, углеводные вещества, которые в общей сложности составляют 80–85 %. Содержание патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов делает осадок еще более опасным без утилизации или обезвреживания [1].

Учитывая сложный морфологический состав и содержание до 95 % воды, определяется конкретный способ обработки осадков. Наиболее рас-

пространенными технологическими процессами, используемыми для обработки и обезвреживания илового осадка являются уплотнение, стабилизация, кондиционирование, обезвоживание, утилизация и ликвидация [2].

Чтобы полностью удалить органические компоненты осадка, его сжигают. Метод сжигания применим в тех случаях, когда утилизация осадка невозможна или экономически нецелесообразна. При сжигании происходит полное окисление органических веществ и образование стерильного остатка – золы, относящейся к IV классу опасности [3]. Высокотемпературные методы сжигания ила в псевдооживленном слое песка и в многоподовых печах в настоящее время являются наиболее часто используемыми методами. Однако у них есть ряд существенных недостатков. Например, чем ниже производительность многоподовой печи, тем выше удельные капитальные затраты: 65–72 % всех затрат идет на топливо, а также, многоподовая печь имеют большие габариты и расход металла, низкую тепловую и весовую нагрузку по сжигаемому осадку, недостаточную степень его сгорания и накопление недожога [4]. На рис. 1 показана схема многоподовой печи для сжигания осадка сточных вод.

Пик использования многоподовых печей пришелся на середину прошлого века, после чего на смену им пришли печи с псевдооживленным слоем инертного материала, например, кварца (см. рис. 2). Их преимуществом был более низкий расход топлива, гибкость интеграции в производство и более высокая производительность. Основными недостатками установки для сжигания осадка в псевдооживленном слое инертного материала являются высокая температура процесса, пылевая нагрузка и унос большого количества пыли по газоотводам, вследствие чего необходимо использовать эффективные пылеуловители и проводить регулярную очистку системы. Материал

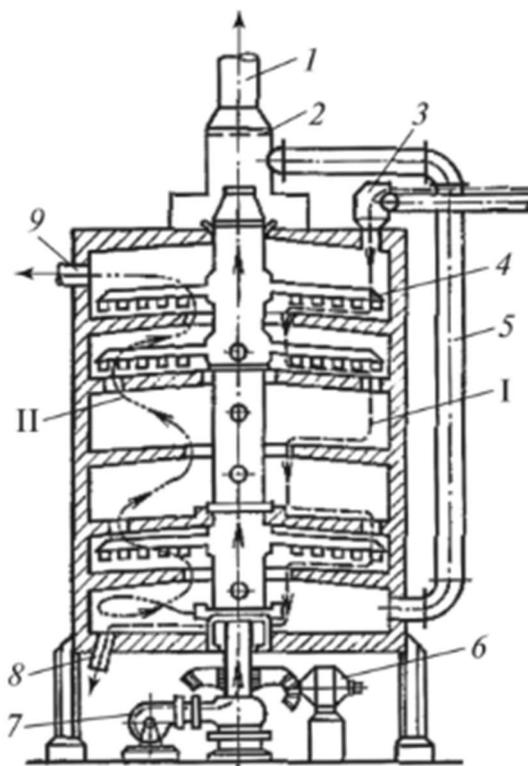


Рис. 1. Схема многоподовой печи для сжигания осадков сточных вод:
1 – вывод охлаждающего воздуха;
2 – заслонка; 3 – ввод сжигаемого осадка;
4 – скребковая мешалка;
5 – рециркуляционная труба; 6 – привод мешалки; 7 – воздуходувка подачи охлаждающего воздуха; 8 – выход золы; 9 – выход отработанных газов;
I – сжигаемый осадок; II – газы

псевдооживленного слоя (кварц) также теряется с золой, поэтому необходимо регулярное пополнение материала слоя [5].

Наиболее эффективным и современным методом сжигания осадка является каталитическое сжигание. В отличие от методов высокотемпературного сжигания описанных выше, каталитическое сжигание является низкотемпературным методом и позволяет избежать вторичного загрязнения окружающей среды продуктами высокотемпературного горения (CO , NO_x , SO_x , бензапирен). Процесс происходит в псевдооживленном слое катализатора, и при влажности осадков менее 75 % процесс может быть выполнен без дополнительных затрат на топливо и уменьшить размеры устройства более чем в 15 раз [6].

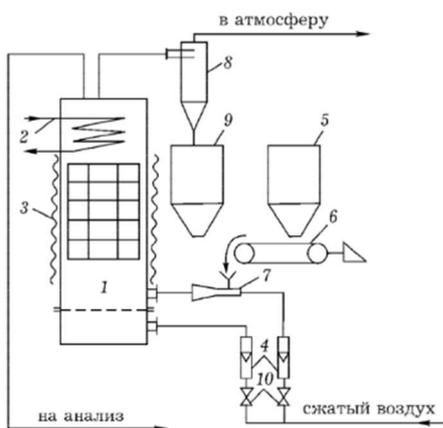


Рис. 3. Схема стендовой установки по каталитическому сжиганию твердых отходов: 1 – реактор, 2 – теплообменник, 3 – внешний электронагреватель, 4 – ротаметры, 5 – бункер для твердого топлива или отходов, 6 – транспортер, 7 – эжектор, 8 – циклон, 9 – емкость для сбора зольных остатков, 10 – регулировочные вентили

рвовался на иловых полях. По данным технического анализа сухой осадок

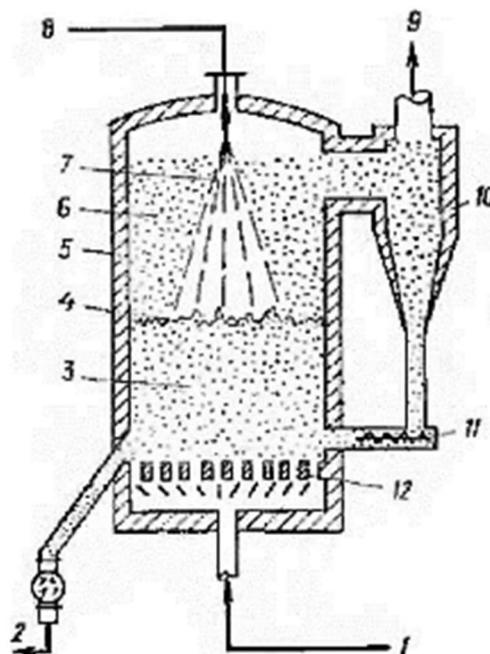


Рис. 2. Схема печи с псевдооживленным слоем: 1 – воздух для псевдооживления; 2 – твердый продукт; 3 – слой инертного носителя (песок) в твердой фазе; 4 – граница псевдооживленного слоя; 5 – корпус; 6 – унос золы; 7-8 – поток загружаемых отходов; 9 – отходящие газы; 10 – сепаратор; 11 – возврат пыли; 12 – решетка

В качестве катализаторов обычно используются соединения драгоценных металлов, нанесенные на керамическую основу, или оксиды переходных металлов (оксиды ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля или меди и др.) [7].

Исследование эффективности метода каталитического сжигания осадка сточных вод проводилось на предприятии «Горводоканала» в Новосибирске. Сжигание илового осадка производилось на установке, показанной на рис. 3. Осадок после первичного и вторичного осажде-ния обезвоживался до 70–80 % и склади-ровался на иловых полях.

содержит 62,5 % минеральных веществ (Fe, Si, Zn) и 37,5 % органической части (S, Cl, P).

На рис. 4 представлена зависимость степени выгорания органической части осадка от температуры в псевдооживленном слое катализатора: при температуре 500°C степень выгорания составила 94 %, а при температуре 700° – 98,2 %. При температуре процесса 700° хроматографический анализ показал отсутствие продуктов неполного сгорания: CO и CH₄.

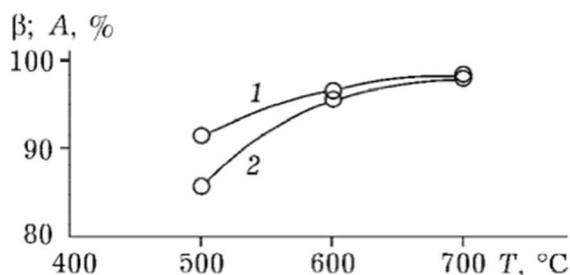


Рис. 4. Зависимость степени выгорания осадка β и его зольности A (1) от температуры процесса

При горении осадка часть органической части связывается с минеральной, а остальное в виде HCl, SO_x, P₂O₅ выделяется в газовую фазу. При температуре процесса 700° на выходе из реактора концентрация составила: HCl – 50 мг/м³, SO_x – 130,9 мг/м³, P₂O₅ – 0,22 мг/м³. Степень связывания составила: HCl – 77,2 %, SO_x – 93,3 %, P₂O₅ – 99,98 %. Для ртути степень связывания составила 45 %, а концентрация 0,45 мг/м³.

В таблице 1 представлены данные ПДВ при сжигании 1 т/ч сухого илового осадка при 700°. Реальный выброс с дымовыми газами существенно ниже ПДВ.

ТАБЛИЦА 1. ПДВ и концентрации веществ в дымовых газах при температуре процесса 700°

Параметр	Hg	HCl	SO ₃	P ₂ O ₅	CO	NO _x
ПДВ, г/с	2,33•10 ⁻³	1,49	7,46	0,37	7,46	0,63
РВ, г/с	1,08•10 ⁻³	0,14	0,36	0,5•10 ⁻³	-	0,30
С _{д/г} , мг/м ³	0,46	59	154	0,22	-	131
α _{св} , %	44,6	77,2	93,3	99,98	-	-

Теплотворная способность (Q) исследуемого осадка составляет 112 ккал/кг. Из-за низкой Q необходимо вводить дополнительное топливо для сжигания при 700°C. На рис. 5 показана зависимость количества дополнительной теплоты от влажности осадка. При этом, при сжигании в псевдооживленном слое катализатора с температурой дымовых газов равной 700°C, процесс будет проходить без введения дополнительного топлива [6].

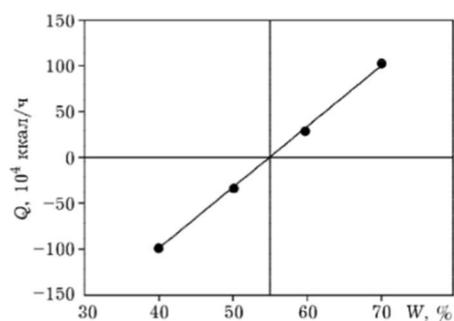


Рис. 5. Зависимость количества дополнительной теплоты (Q) от влажности осадка (W)

Таким образом, удаление осадка сточных вод сегодня может быть осуществлено в полном объеме с использованием метода каталитического сжигания в псевдоожиженном слое катализатора, который является наиболее современным и экологически чистым методом сжигания, поскольку процессы сжигания могут проходить в автотермическом режиме, без введения дополнительного топлива и без затрат на дополнительную очистку отходящих дымовых газов.

Список используемых источников

1. Ермилов О. М. [и др.] Стратегия развития нефтегазовых компаний. М.: Наука, 1997. 621 с.
2. Ветошкин А. Г., Таранцева К. Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): учебное пособие. Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. 249 с.
3. Брызгина Е. Ю., Насыров Р. Р., Латыпова З. А., Хазимова Л. Р. Способ обезвреживания и утилизации отработанного активного ила // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2014. № 3. С. 124–133.
4. Орловский А. С., Кашаев В. В. Сжигание биомассы в циркулирующем псевдоожиженном слое. Донецк: Изд-во: Донецкий национальный технический университет 2020. С. 264-267
5. Рубчак И. Ю., Сирота М. Н. Сооружения для обработки городских сточных вод. Проектирование, строительство и эксплуатация. М.: Строй-издат, 1978. С. 73.
6. Симонов А. Д., Чуб О. В., Языков Н. А. Каталитическое сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства // Химия в интересах устойчивого развития. 2010. N 18. С. 749–753.
7. Каталитическое окисление. URL: <https://condorchem.com/ru/каталитическое-окисление/> (дата обращения: 14.01.2022)

УДК 808.41:528
ГРНТИ 87.03.03

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В РЕГИОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. Д. Ермолаев, И. А. Калинин, А. В. Куликович

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

В статье рассматриваются вопросы экологической политики в регионе Балтийского моря. Показаны источники загрязнения Балтийского моря. Обсуждаются вопросы регулирования и экономических механизмов воздействия на различные структуры для сохранения экосистем в районе Балтийского моря. Сделан вывод о необходимости комплексного решения вопросов сохранения окружающей природной среды в рассматриваемом регионе.

экосистемы, Балтийское море, сохранение окружающей природной среды.

На сегодняшний день загрязнение окружающей среды является одним из важнейших вопросов человечества по всему миру. Балтийское море – одно из самых загрязнённых морей в мире. Для уменьшения загрязнения предпринимаются различные мероприятия, однако все они ограничены экономическими факторами. Без привлечения общественного внимания и разработки цельной экологической политики в регионе эти меры не принесут ожидаемых результатов [1].

Процесс разработки политики состоит из нескольких этапов: формирование повестки дня, принятие решения, исполнение политики, оценка результатов. Формированием экологической повестки и принятием соответствующего законодательства занимается парламент. При формировании повестки парламент должен опираться на научные достижения и привлекать экспертов из отрасли. В рамках экологической политики могут быть использованы различные инструменты. Они делятся на три класса – регулирование, экономические средства, информирование и моральное убеждение [1, 2].

Прямое регулирование – это воздействие на экологические показатели загрязнителей путем контроля за используемыми процессами, отказа или ограничения сброса определенных загрязнителей, ограничения деятельности в определенных условиях. Регулирование является наиболее часто используемым инструментом политики в области охраны окружающей среды.

Экономические инструменты воздействуют на источники загрязнения путём изменения стоимости определённых действий для формирования экологически приемлемого поведения. К ним относятся сборы и налоги, субсидии, создание систем утилизации отходов [1].

Информирование и моральное убеждение направлены на изменение поведения людей на добровольной основе. В информационном обществе информирование населения играет наиважнейшую роль в проведении экологической политики.

Каждый тип политического инструмента имеет свои сильные и слабые стороны. Так, прямое регулирование хорошо подходит для эффективного предотвращения непосредственной опасности и необратимых последствий. Однако оно имеет свойство ослабевать в результате торга и переговоров между представителями источников загрязнения и природоохранными органами. Также оно дорого обходится обществу с экономической точки зрения.

Экономическое регулирование минимизирует общие затраты на борьбу с загрязнением, поскольку оно представляет собой постоянный стимул для снижения загрязнения. Однако оно редко устанавливается на уровне, обеспечивающем эффективное снижение экологической нагрузки.

При этом инструменты экономического воздействия зачастую имеют распределительные последствия, например, повышенные налоги на энергию могут иметь отрицательное влияние на бедные домохозяйства и малый бизнес [1, 2].

Информирование и убеждение также имеют свои плюсы и минусы. С одной стороны, они обеспечивают минимальное давление на участников экономики. С другой стороны, контроль со стороны природоохранных органов за фактическим исполнением практически отсутствует [2].

Для достижения максимальной эффективности политические инструменты всегда следует применять в комплексе. Так, после принятия нормативных актов следует информировать население. Для проведения экономических мер следует подкреплять их административными.

Следующий этап в проведении политики – исполнение. Для реализации экологической политики государство использует свои институты. Важнейшими из них являются службы по охране окружающей среды при соответствующих министерствах. Они отвечают за оценку экологической ситуации, за выдачу разрешений на деятельность, которая может загрязнять окружающую среду. В Российской Федерации за исполнение экологической политики отвечают **Министерство природных ресурсов РФ** и Государственный комитет РФ по охране природной среды. Часть мер экологической политики реализуется органами местного самоуправления.

Национальная экологическая политика не должна быть оторвана от всей остальной государственной политики. Для достижения устойчивого улучшения экологической обстановки недостаточно одних только усилий Министерства природных ресурсов. Необходима координация действий всех органов исполнительной власти.

Крайне важным является также последний этап проведения политики – оценка результатов. Она предоставляет обратную связь для парламента и позволяет вовремя принимать поправки к существующему законодательству. Для оценки результатов экологической политики необходимо проводить постоянный контроль за её исполнением и учёт конкретных принятых мер. Осуществлять контроль и учёт должны специальные службы по охране окружающей среды. В своей деятельности эти службы должны исходить из последних научных достижений в области экологической науки и активно привлекать экспертов, опираясь при этом на органы местного самоуправления [2, 3].

Условия и предпосылки для деятельности местных и региональных органов власти сильно различаются в разных странах региона. Расположенные вокруг Балтийского моря государства Восточной Европы, в том числе и Россия, только недавно начали внедрять местное и региональное самоуправление. Большинство муниципальных образований слишком малы для выполнения всех задач по охране окружающей среды. Во многих случаях только

крупные города обладают достаточными ресурсами для осуществления экологических проектов [2, 3].

С течением времени важность проведения правильной экологической политики будет только возрастать. Предпринимаемые меры по защите окружающей среды недостаточны, инерция существующей политической системы не позволяет быстро ввести все необходимые меры. Одним из главных действующих лиц в деле охраны окружающей среды является гражданин. Для успешной реализации экологической политики необходимо, чтобы природоохранные органы активно стимулировали участие граждан. Для информирования граждан о вопросах экологической безопасности важно активно применять СМИ. Необходимо подробно освещать процесс разработки и исполнения экологической политики, разъяснять людям её важность, при этом увеличивая также ответственность за экологические правонарушения. Значительная часть природоохранных мероприятий должна проводиться на местном и региональном уровне, для чего следует повысить финансирование органов местного самоуправления; важно при этом не забывать про контроль за их действиями. Без быстрых и решительных действий в рамках экологической политики невозможно избежать экологической катастрофы [3, 4].

Список используемых источников

1. Егорова Л. В. Неэффективность экологической политики России в отсутствие глобальной экологической политики // Вестник Международной академии наук (Русская секция). 2012. № 1. С. 18–21.
2. Летягина Е. Н., Кутасин А. Н., Федорова Н. Ю. Экономические последствия воздействия экологической политики на здоровье и здоровый образ жизни населения // Экономика и предпринимательство. 2019. № 5 (106). С. 1259–1262.
3. Боголюбов С. А. Экологическое образование – важный элемент государственной политики в области экологического развития // Вестник. Государство и право. 2021. № 3 (30). С. 19–23.
4. Пчельников М. В. Эффективность экологической политики местного самоуправления в сфере благоустройства: проблема прилегающих территорий // Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвященной 5-летию РАНХиГС и 15-летию Чебоксарского филиала РАНХиГС «Потенциал вуза в кадровом и экспертном сопровождении органов государственного и муниципального управления». Чебоксары, 2015. С. 168–175.

УДК 808.41:528
ГРНТИ 87.03.03

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ

И. А. Калинин, А. В. Кулинкович, С. А. Панихидников

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

В статье рассматривается история создания современной концепции защиты окружающей среды в Центральной и Восточной Европе. Отмечается, что экологическая политика в Восточной Европе до 1989 г. основывалась на национальных стандартах качества окружающей среды, которые были зачастую более строгими, чем западные. Раскрываются причины, по которым страны Восточной Европы не смогли добиться удовлетворительных экологических результатов. Обсуждаются преобразования для выхода из создавшегося экологического кризиса. Сделан вывод о необходимости разработки «экостратегии» для собственного выживания и применения ее в масштабах всей планеты.

экологическая политика, Центральная и Восточная Европа, экологические источники энергии, экостратегия.

Как известно, 1970-е годы ознаменовались рождением современной концепции защиты окружающей среды не только в Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), но и в Восточной Европе [1]. Хотя конференция ООН по проблемам окружающей человека среды в Стокгольме в 1972 году фактически была бойкотирована социалистическим блоком (за исключением Румынии) из-за спора по поводу права голоса Восточной Германии на конференции, это событие оказало огромное влияние на развитие экологической политики в восточной части Европы. После Стокгольмской конференции социалистические страны активно продвигали идею защиты окружающей среды более систематическим образом, чем раньше, как на национальном, так и на международном уровне. Были разработаны стратегии национальной экологической политики, и в 1972 году при Совете экономической взаимопомощи (СЭВ) был создан комитет по охране окружающей среды.

Другим знаменательным событием стала Хельсинкская конференция по безопасности и сотрудничеству в 1975 году, на которой Советский Союз предложил достичь согласия по трем общеевропейским проблемам: энергетике, транспорту и окружающей среде. Западные страны договорились лишь о расширении сотрудничества по последней из этих тем. Новое сотрудничество было развито в рамках Европейской экономической комиссии

ООН и привело к принятию в 1979 г. Конвенции о международном загрязнении воздуха на большие расстояния [2, 3].

Экологическая политика в Восточной Европе до 1989 г. основывалась на национальных стандартах качества окружающей среды, которые зачастую были более строгими, чем западные. Разрешения на использование природных ресурсов и выбросы загрязняющих веществ были выданы природоохранными агентствами на региональном и местном уровнях. Начиная с 1970-х годов и позже, в нескольких странах были введены такие экономические инструменты, как сборы и штрафы. Также начали работу экологические фонды, предоставляющие гранты для различных инвестиций в охрану окружающей среды и водное хозяйство. Например, в Советском Союзе первый экологический фонд был создан в Эстонии в 1983 году. Кроме того, министерства или агентства по охране окружающей среды были созданы несколькими социалистическими государствами до того, как система изменилась. Было разрешено существование политически лояльным государствам экологическим организациям, в основном занимающимся охраной природы, таким как Бронтозавр в Чехословакии и Лига защиты природы в Польше [1, 3].

В 80-е годы прошлого века выяснилось, что принятые до сих пор меры по охране окружающей среды не дали ожидаемых результатов; промышленность по-прежнему не соблюдала природоохранные нормы, экологическая ситуация постоянно ухудшалась, и многие регионы были классифицированы как экологические катастрофы.

Несмотря на достаточно развитую экологическую политику, страны Восточной Европы не смогли добиться удовлетворительных экологических результатов по ряду причин [2, 3].

Прежде всего, плохие экологические показатели нельзя полностью понять без ссылки на идеологические основы социалистической системы. Ряд ученых подчеркивали, что социалистический механизм ценообразования в соответствии с трудовой теорией стоимости Маркса привел к занижению цен на природные ресурсы. Согласно Марксу, ценность может быть создана только трудом. Таким образом, природные ресурсы не имеют ценности, пока к ним не прикоснется человеческая рука. Это предположение стало типичной чертой социалистической системы цен, когда цена, например, на воду и энергию была неадекватно низкой. Следовательно, социалистическая экономика стала очень интенсивной по потреблению энергии и ресурсов. В целом, странам с нерыночной экономикой в Восточной Европе требовалось в 2–3 раза больше затрат на единицу Валового национального продукта (ВНП) в производственных процессах, чем в западных странах. Эта неэффективность отражалась в выбросах загрязняющих веществ, которые обычно были в 2–3 раза выше на единицу ВНП, чем в странах ОЭСР.

Социалистические государства в Восточной Европе проводили активную политику индустриализации, в ходе которой в быстром темпе создавались крупные металлургические комбинаты, электростанции, химические заводы и т. д. Во многих случаях технологии были устаревшими с самого начала. Например, металлургический завод им. Ленина в Новой Гуте под Краковом, построенный в начале 1950-х годов, был основан на советских технологиях 1930-х годов, которые, в свою очередь, основывались на американских технологиях начала века. Упор на тяжелую промышленность привел к неразвитости сектора услуг, который никогда не давал более 30 % ВВП экономик региона. Это можно сравнить с Западом, где сектор услуг обычно обеспечивает половину доли ВВП. Другой причиной быстрой индустриализации было желание увеличить военную мощь советского блока. В конце 1980-х годов на военные расходы СССР приходилось до 17% и более ВВП, в то время как средний мировой показатель в то время составлял примерно 6 % [1, 4].

Забота об окружающей среде сыграла важную роль в политике Восточной Европы в конце 1980-х – начале 1990-х годов. Экологические проблемы играли роль рычагов давления на правительства и политику стран в целом, так же неудовлетворенность населения в успехах экологической политике зачастую играла не последнюю роль. Политический аспект экологических вопросов был очевиден в ряде случаев, таких как [2–4]:

– венгерская оппозиция против строительства плотины Габчиково-Надьямарош на реке Дунай. Этот совместный венгерско-чехословацкий проект был запущен в 1977 году. Венгерские протесты против проекта были возглавлены независимой организацией Дунайский круг (Dunakör) во второй половине 1980-х годов;

– Эстония протестует против планов резкого увеличения добычи фосфоритов в 1980-х годах. Фосфорит добывался методом открытой добычи, в результате чего были разрушены обширные земельные участки и загрязнены грунтовые воды;

– литовские протесты против Игналинской АЭС. В сентябре 1988 года несколько тысяч человек выстроились в живую цепочку вокруг этой электростанции в знак протеста против ее эксплуатации. В октябре 1988 года около 600 000 человек (16 % населения Литвы) подписали петицию против Игналины;

– Чернобыльская ядерная катастрофа 1986 года.

Эти события привели заметным изменениям в управление окружающей средой в этом регионе.

Для выхода из создавшегося положения нужен комплексный подход к управлению экологическими ресурсами. От нашего общества требуются четыре различных преобразования:

- технологическая трансформация, включая дематериализацию материальных циклов, декарбонизацию энергетических потоков, замену токсичных материалов, закрытие материальных циклов и т. д.;
- институциональная трансформация, включая интернализацию внешних затрат, регулирование ответственности и т. д.;
- пространственная трансформация, включая пространственную эффективность и справедливость;
- структурная трансформация, то есть изменение моделей потребления и производства

Указанные преобразования составляют фундаментальное преобразование индустриальной цивилизации. Так же необходимы новые правила использования ресурсной базы – «экосферы», включая все живые виды и тонкий слой материи, которым является поверхность планеты.

Человек, как и любое другое живое существо на земле, нуждается в пище и укрытие, но так же человечество нуждается в развитии и прогрессе. И задача человечества на 21 век разработать экостратегию для собственного выживания и применить ее в масштабах всей планеты.

Экостратегия была определена географами как стратегии отдельных лиц или групп лиц по использованию природы. Фундаментальная классификация стратегий различает стратегии доминирования и адаптации; стратегии адаптации можно рассматривать как активные или пассивные (рис.).

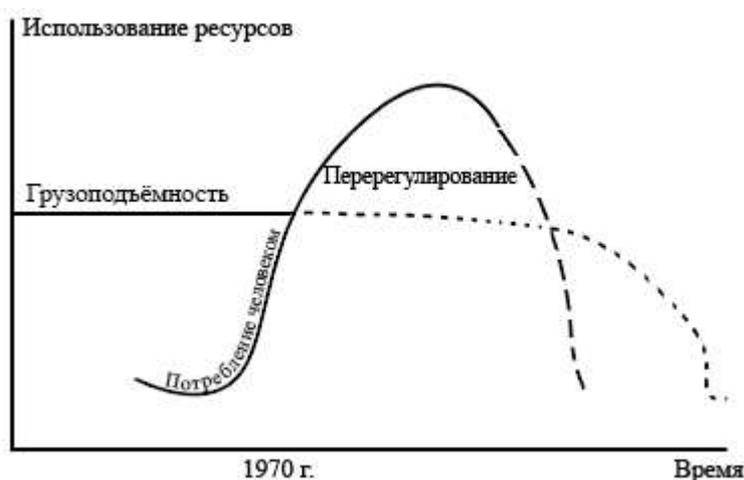


Рисунок. Стратегии доминирования и адаптации при использовании природных ресурсов

Новое видение экологической составляющей Земли включает в себя освоение новых способов использования территорий, ведь к совершенно бесплодным относится лишь небольшая часть суши. Кроме того, трудно переоценить значение мировых вод, покрывающих 70 % площади поверхности. Вода как источник жизни, присутствует абсолютно во всех формах

жизни на земле и является не заменимой частью каждой живой клетки в экосфере. Чистый воздух также является необходимой частью окружающей среды, от которой зависит жизнь.

Поверхность, которую мы используем, была названа нашим экологическим следом. След соответствует площади земли, необходимой для всех экологических услуг, которыми мы пользуемся: еда, пространство, волокна, такие как бумага и дерево, а также площадь, необходимая для поглощения всех отходов. Таким образом, след представляет собой несколько типов территорий, объединенных вместе: поля, леса, заболоченные земли и т. д. Можно подсчитать, сколько площади доступно каждому человеку на Земле. Это примерно 2,2 га или шесть футбольных полей. В регионе Балтийского моря мы используем намного больше, чем наша доля, более 4 га. Серьезность ситуации подчеркивается тем фактом, что сегодня наблюдается глобальный выброс вредных веществ из-за сжигания ископаемого топлива, вырубки лесов и т. д. увеличивая экологический след и сокращая область доступную для проживания.

Отказ от использования не экологических источников энергии, оставляет нас перед сложным выбором новых источников энергии. На данный момент в мире существует не так много возможных путей решения ведь практически все существующие зеленые источники энергии тоже не являются абсолютно безопасными для природы. Ветряные мельницы не постоянны и последним исследованием негативно сказываются на дикой природе. Солнечные батареи создают много токсичных отходов, ядерная энергия может быть выходом из ситуации, но также может быть причиной масштабных катаклизмов. И наконец энергия воды, возможно энергия приливов станет выходом из этой ситуации?

Таким образом, именно в этом контексте была создана концепция устойчивого развития. Но такие вещи не продвигаются очень далеко без прагматизма и сознательных людей, предпринимающих шаги, чтобы сделать необходимые изменения для ее реализации. Даже долгое путешествие начинается с первого шага. Теперь люди больше не могут, как в ранних обществах, полагаться на свои чувства только для того, чтобы оговорить в частных терминах, что такое устойчивость на практике. Новые знания необходимо производить в областях, к которым сегодня многие люди едва подготовлены как в технологическом, так и моральном плане. Защита окружающей среды должна быть приоритетом для каждого члена общества и закрепится как один из новых моральных принципов.

Список используемых источников

1. Родюкова Л. О. Региональная экологическая политика как инструмент устойчивого развития // Актуальные вопросы экономических наук. 2013. № 32. С. 160–163.
2. Баутин В. М., Мычка С.Ю. Исследование зарубежных подходов к формированию государственной экологической политики // Территория науки. 2017. № 4. С. 88–93.

3. Подлесная М. А. Социально-регуляторные функции СМИ в условиях формирования государственной экологической политики: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата социологических наук / Москва, 2006

4. Боголюбов С. А. Экологическое образование – важный элемент государственной политики в области экологического развития // Вестник. Государство и право. 2021. № 3 (30). С. 19–23.

УДК 371.687
ГРНТИ 49.45.01

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТА КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ H.266/VVC

Д. И. Козинцева, С. Л. Федоров

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

Новый стандарт сжатия видеoinформации VVC (Versatile Video Coding) по сравнению с предыдущими версиями стандартов позволяет еще больше сократить скорость потока. Стандарт ориентирован на обработку видеoinформации в форматах 4K, 8K и 360°.

В статье представлены ключевые особенности обработки видеoinформации в указанном стандарте, отличия его от предыдущих стандартов кодирования видеoinформации (AVC и HEVC). Отмечается, что повышение эффективности сжатия достигается за счёт значительного усложнения алгоритмов, что приводит к увеличению требований к вычислительным ресурсам при аппаратной реализации.

кодирование видеoinформации, H.265, H.266, иммерсивная реальность.

Задача для нового видеокодека H.266/VVC та же, что и у предшественника – уменьшить битрейт на 50% вследствие наиболее эффективного сжатия.

В настоящее время доля видео в глобальном трафике данных составляет уже около 80 % и продолжает расти. Доля бытовых телевизоров с разрешением 4K неуклонно растет, и этим телевизорам с более высоким разрешением требуется видеоконтент более высокого качества. Практически каждый 4K-телевизор оснащен декодером HEVC для воспроизведения 4K-видео, скорость передачи данных, необходимая для доставки этого контента, по-прежнему довольно высока, что расширяет пределы пропускной способности широкополосного доступа. Это иллюстрирует потребность в еще более эффективном сжатии, которую теперь решает VVC.

Помимо высокой производительности сжатия, VVC был разработан для облегчения эффективного кодирования широкого спектра видеоконтента и приложений [1], включая следующие:

1. HD видео (до 8K и выше), HDR и широкую цветовую гамму;
2. созданный компьютером или экранный контент;
3. видео 360° для иммерсивной и дополненной реальности.

Современные стандарты кодирования видео были разработаны для эффективной передачи и хранения цифрового видео с различными требованиями к скорости передачи данных, качеству изображения, задержке, производственному доступу, сложности и так далее. Поддержка следующих приложений имеет особое значение.

1. разговорные услуги в режиме реального времени;
2. прямая трансляция;
3. видео по запросу;
4. захват, потоковая передача и хранение с помощью цифровых камер.

Блочное разбиение в последующих поколениях стало более гибким за счет добавления большего количества блоков разных размеров и форм. AVC, HEVC и VVC используют древовидные структуры секционирования с несколькими уровнями глубины и блоками в качестве листовых узлов, а VVC дополнительно предоставляет возможность использовать непрямоугольные секционирования. Кроме этого, блоки для кодирования яркости и цветности могут различаться, чтобы выборки цветности имели размеры блока кодирования больше, чем выборки яркости [2].

В AVC используются три различных типа режимов прогнозирования: «DC», планарный и угловой, все они используют соседние выборки ранее декодированных блоков. HEVC расширил эти режимы за счет увеличения количества углов с 8 до 33, а VVC – до 65.

В VVC некоторые традиционные режимы могут заменяться широкоугольными направлениями (Wide Angle Intra Prediction) из-за того, что в стандарте блоки предсказания могут иметь неквадратную форму, что позволяет применять больше опорных точек.

Появление нового режима прогнозирования (Position-dependent prediction combination) позволило осуществлять направленную интерполяцию.

Кроме того, во множестве вариантов компоненты яркости и цветности обладают очень похожей информацией, поэтому разработали новый режим предсказания – кросс-компонентное предсказание (Cross-component Prediction), где используется методика прямого прогнозирования компонентов цветности из восстановленного блока яркости с применением линейной комбинации восстановленных точек с 2 параметрами: коэффициент и смещение, где вычисление коэффициентов осуществляется из внутренних опорных точек.

Также в VVC сейчас общедоступно предсказание согласно двум строчкам (Multi Reference Line Prediction), не находящимся вблизи с нынешним блоком.

Классическая компенсация движения работает с 2D-трансляциями. Это происходит, когда просто копируется один прямоугольный блок из одного места в другое. Но реальный мир всегда немного сложнее. Объекты часто вращаются, масштабируются и комбинируют различные типы движения. Некоторые из этих движений могут быть представлены с помощью аффинных трансформаций (рис. 1).

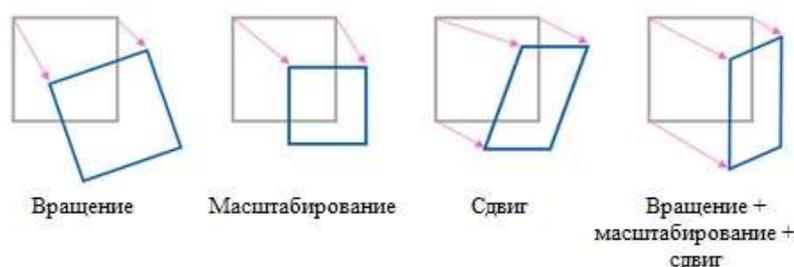


Рис. 1. Аффинные преобразования

Аффинное преобразование – это геометрическое преобразование, сохраняющее линии и параллелизм. VVC имеет две модели описания аффинной информации о движении: с использованием векторов движения двух контрольных точек (4 параметра) или трех векторов движения контрольных точек (6 параметров) [3].

Чтобы снизить сложность вычислений, VVC применяет упрощение для аффинной модели, основанной на блоках. Вместо применения векторов для каждого пикселя блок делится на подблоки яркости размером 4x4 пикселя. VVC сигнализирует угловые векторы движения для единицы кодирования. Вектор движения подблока получают из вектора движения контрольной точки блока. Затем для каждого подблока применяется компенсация поступательного движения.

Реальный видеоконтент обычно слабо предсказывается при помощи прямоугольных блоков, по этой причине для повышения эффективности в VVC появилось геометрическое разбиение (Geometric Partitioning). Эта функция дает возможность осуществлять разбиение блока на 2 части не по горизонтали. Причем для каждой части осуществляется своя компенсация движения.

Основная цель фильтрации – уменьшить визуальные артефакты и уменьшить ошибки при восстановлении. Внутриконтурный фильтр деблокировки стал основной функцией AVC. Этот фильтр был разработан, чтобы быть адаптивным к точности квантования, таким образом, он может ослабить блочные артефакты, вызванные квантованием остатков блочного предсказания, сохраняя при этом резкие края в содержимом изображения.

HEVC добавляет вторую стадию внутриконтурной фильтрации, называемую адаптивной фильтрацией смещения выборки, которая представляет собой нелинейный фильтр, применяемый после устранения блочности для ослабления артефактов звона и полосатости.

В появляющемся стандарте VVC адаптивный петлевой фильтр (ALF) был представлен в качестве третьего фильтра, где, как правило, коэффициенты фильтра определяются путем минимизации ошибки реконструкции с использованием подхода оптимизации фильтра Винера.

На рис. 2 представлен пример графиков зависимости скорости произвольного доступа от искажения для видеопоследовательности в стандартах. Как видно по графику, эффективность кодирования VVC превосходит предыдущие стандарты. Экономия битрейта VVC по сравнению с HEVC и AVC составляет 30 % и 67 % соответственно.

Еще одна цель разработки VVC – эффективное кодирование иммерсивного видео. Оно включает в себя видео 360°, которое обычно кодируется путем представления двумерного изображения, созданного с помощью проекционного отображения трехмерной сферы.

Одним из примеров такого отображения является формат равнопромежуточной проекции, в котором сфера проецируется на прямоугольное изображение с некоторыми геометрическими искажениями, особенно на полюсах. Другим отображением является проекция кубической карты, где сфера отображается на шести гранях куба, которые затем упаковываются вместе в одно изображение.

При потоковой передаче видео 360°, также известном как всенаправленное видео, в любой конкретный момент пользователю будет

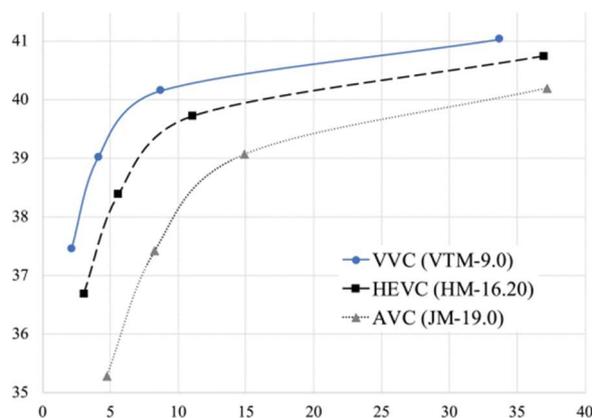


Рис. 2. График зависимости скорости произвольного доступа от искажения для VVC, HEVC и AVC

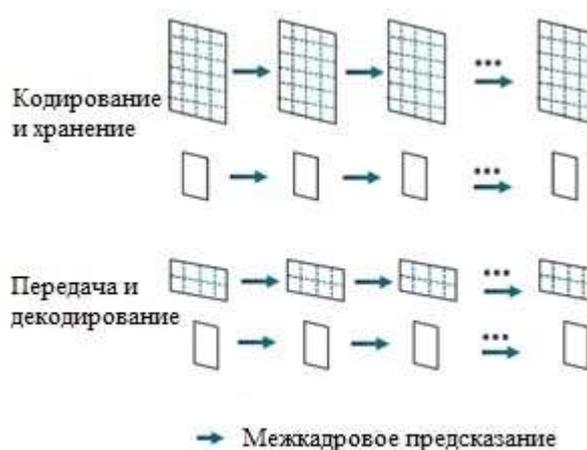


Рис. 3. Схема доставки видео 360° на основе субкартинки, зависящая от области просмотра

отображаться только подмножество (т. е. текущее окно просмотра) всей все-направленной видеосферы, при этом пользователь может повернуть голову в любой момент.

Пример схемы доставки видео 360° на основе субкадра, зависящей от окна просмотра, показан на рис. 3, где представление полной видеосцены с более высоким разрешением состоит из субкадров, в то время как представление полной видеосцены с более низким разрешением не использует субкадры и может быть закодировано с менее частыми точками произвольного доступа, чем представление с более высоким разрешением [4]. Клиент получает полное видео в более низком разрешении, а для видео с более высоким разрешением он получает и декодирует только субкартинки, которые охватывают текущее окно просмотра.

Список используемых источников

1. BENJAMIN BROSS, JIANLE CHEN, JENS-RAINER OHM, GARY J. SULLIVAN, YE-KUI WANG Developments in International Video Coding Standardization After AVC, With an Overview of Versatile Video Coding (VVC) // PROCEEDINGS OF THE IEEE. - September 2021. N 9. С. 1464.
2. Тепляков Д. Обзор стандарта VVC: интересные технологии и сравнение с HEVC. URL: https://www.elecard.com/ru/page/a_review_of_the_vvc_codec. (дата обращения: 26.03.2022).
3. Федоров Д. Affine Motion Compensated Prediction in VVC. URL: https://vicesoft.com/blog/titles/Affine_Motion. (дата обращения: 26.03.2022).
4. BENJAMIN BROSS, JIANLE CHEN, JENS-RAINER OHM, GARY J. SULLIVAN, YE-KUI WANG Developments in International Video Coding Standardization After AVC, With an Overview of Versatile Video Coding (VVC) // PROCEEDINGS OF THE IEEE. - September 2021. N 9. pp. 1486-1487.

*Статья представлена научным руководителем,
заведующим кафедрой ТВ и М СПбГУТ,
кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Федоровым.*

УДК 621.396.6
ГРНТИ 47.47.29

ЛАМПОВО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ УНЧ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛИННЫХ РАДИОВОЛН («МАГНИТНОЙ ПЕТЛИ»)

Д. А. Коптяев^{1,2}, С. В. Перельгин²

¹ОАО «Киностудия «Ленфильм»»

²Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

Статья рассказывает о применении «магнитной петли», авторском варианте усилителя для неё, а также об идее создания радиоретранслятора или аудиогuida на её основе. Рассмотрены отличия «магнитной петли» от существующих систем радиопередачи. Представлены разные варианты её применения в системах беспроводной радиотрансляции и на съёмочной площадке для управления операторским краном и подвижным реквизитом.

радиопередача, радиовещание, магнитная петля, усилитель, ретранслятор.

Что такое «магнитная петля»

Индукционной, или магнитной, петлёй (BlueLoop) называют систему, в которой используется проводной замкнутый контур, выполняющий функции передающей антенны. Он применяется для передачи как модулированных, так и немодулированных сигналов в диапазоне длинных волн. Можно также осуществить радиотрансляцию с прямой передачей сигнала без модуляции. Контур индукционной петли обычно содержит небольшое количество витков провода (один или несколько) и, по сути, является катушкой индуктивности.

От существующих систем радиопередачи она имеет принципиальное отличие: радиосигнал на приёмник передаётся не по обычному радиоканалу, а магнитным полем низкой частоты (используется диапазон длинных волн). Приём ведётся на магнитную антенну, установленную в вертикальном положении. Электромагнитные волны, излучаемые петлёй провода, распространяются перпендикулярно плоскости петли, т. е. строго вертикально (вниз и вверх), а приёмник может находиться этажом выше или ниже. Это позволяет значительно упростить приёмную часть системы и использовать для её налаживания обычные низкочастотные приборы.

Такая система радиофикации найдёт применение не только в санаториях и турбазах, но и в качестве аудиогuida в музее, для чего достаточно

опоясать магнитными петлями отдельные залы музея и передавать на каждую из них передачу про конкретный зал и его историю. И конечно, магнитная петля может применяться в дистанционном управлении операторским краном, штативом, а также подвижным реквизитом.

Авторские варианты предварительных УНЧ

В первом варианте используется микросхема К174ХА10 [1,2], у которой два недостатка: она дефицитна и слишком мощная для предварительного УНЧ. В качестве оконечного УНЧ в обоих вариантах используется ламповый усилитель с параллельным включением ламп (рис. 1).

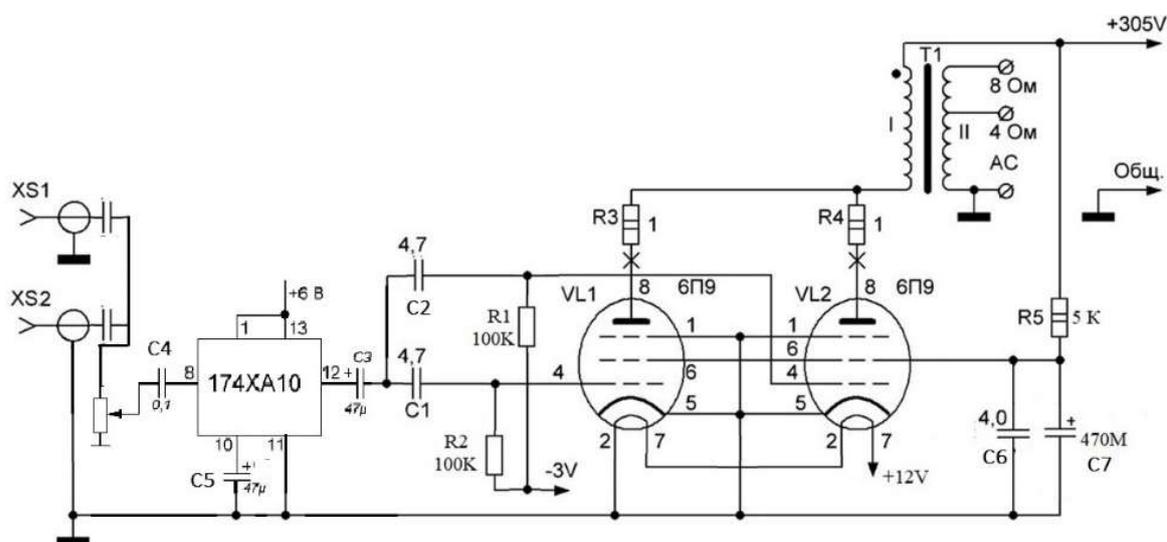


Рис. 1. Первый вариант усилителя (авторская схема)

Во втором варианте используется микросхема К174УР4 [3], которая содержит УПЧ и два УНЧ. Один из УНЧ имеет электронный регулятор громкости, другой нерегулируемый и может быть использован, как для подключения контрольного усилителя, так и для ещё одного оконечного для другой магнитной петли. Ещё лучше применить микромодуль УПЧЗ-2, который содержит не только вышеуказанную микросхему, но и контуры УПЧ [4] (рис. 2, 3).

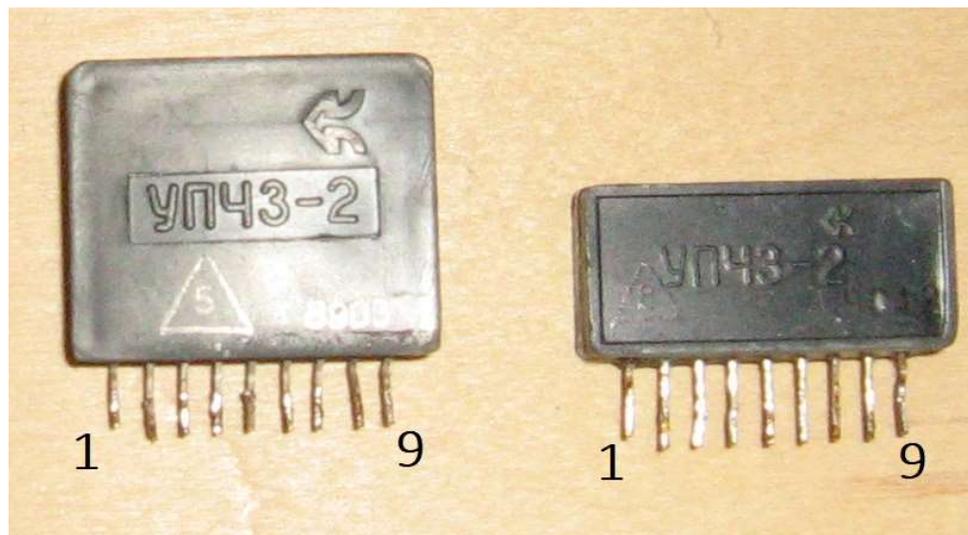


Рис. 2. Микромодуль УПЧЗ-2. 1 – Блокировка; 2 – Земля; 3 – вход ПЧ; 4 – плюс питания; 5 – Звук выход магнитофон; 6 – Земля; 7 – выход НЧ; 8 – Регулятор громкости; 9 – вход НЧ (фото Д. А. Коптяева)

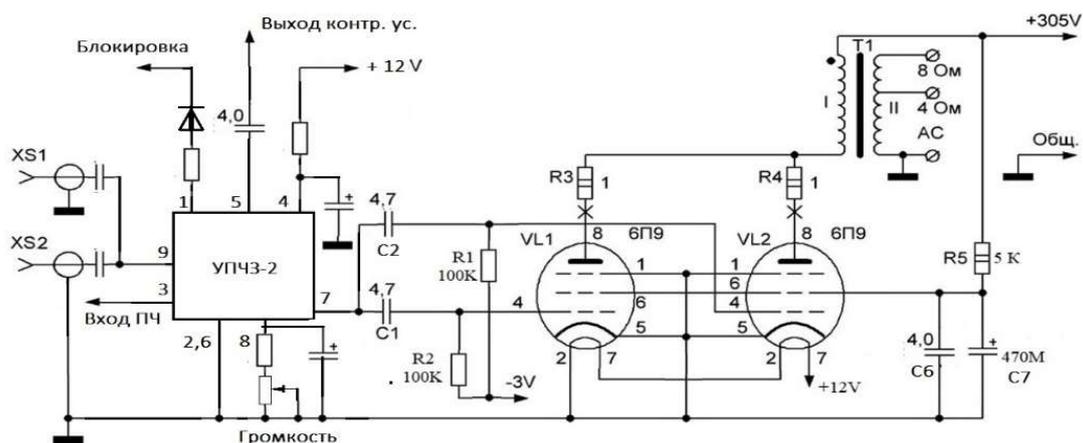


Рис. 3. Второй вариант усилителя (авторская схема)

Применение «BlueLoop» в местном радиовещании

В санаториях существует традиция: ходить на прогулку с радиоприёмником. На сегодняшний день на длинных волнах передач нет, а на диапазоне FM приём возможен только на крыше спального корпуса. Проблема радиоприёма решается применением местного радиовещания, но если делать его проводным, то требуется вести провода в каждый номер. Гораздо дешевле опоясать корпус магнитной петлёй, можно также подключить и металлическую ограду санатория в качестве антенны. Обе вышеуказанные микросхемы интересны также тем, что содержат практически готовый УПЧ для приемника FM [1–3] (рис. 4).

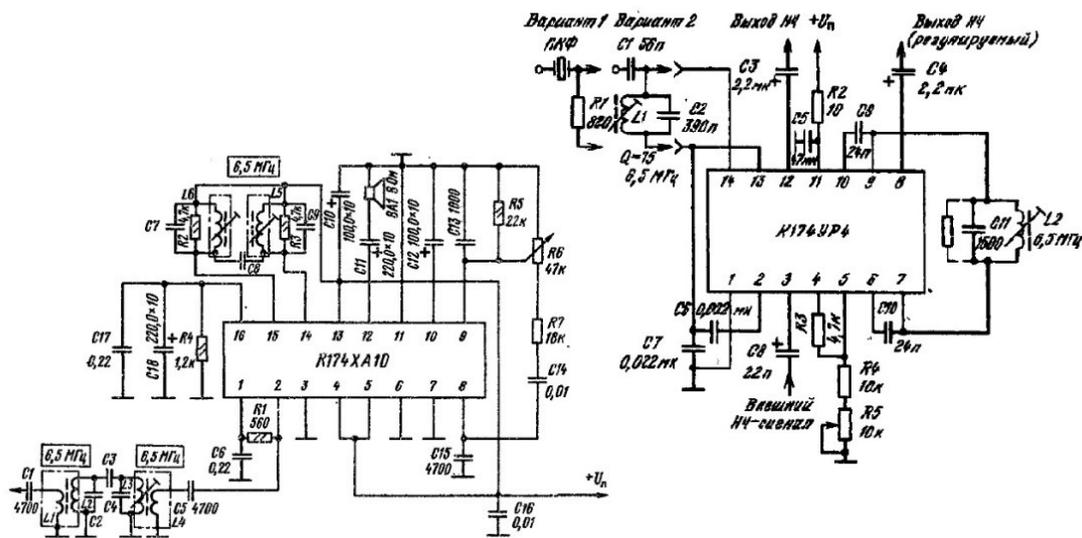


Рис. 4. Включение микросхем К174ХА10 [1,2], К174УР4[3].

Чтобы сделать на основе вышеуказанных микросхем FM-радиоприёмник, надо просто добавить готовый преобразователь частоты, роль которого может выполнить любой блок УКВ от старого отечественного приёмника, например, УКВ-2-01С или аналогичный от лампового приёмника (рис. 5), перестроенный на FM. Можно также взять и от импортного приёмника, при этом ничего перестраивать не нужно.

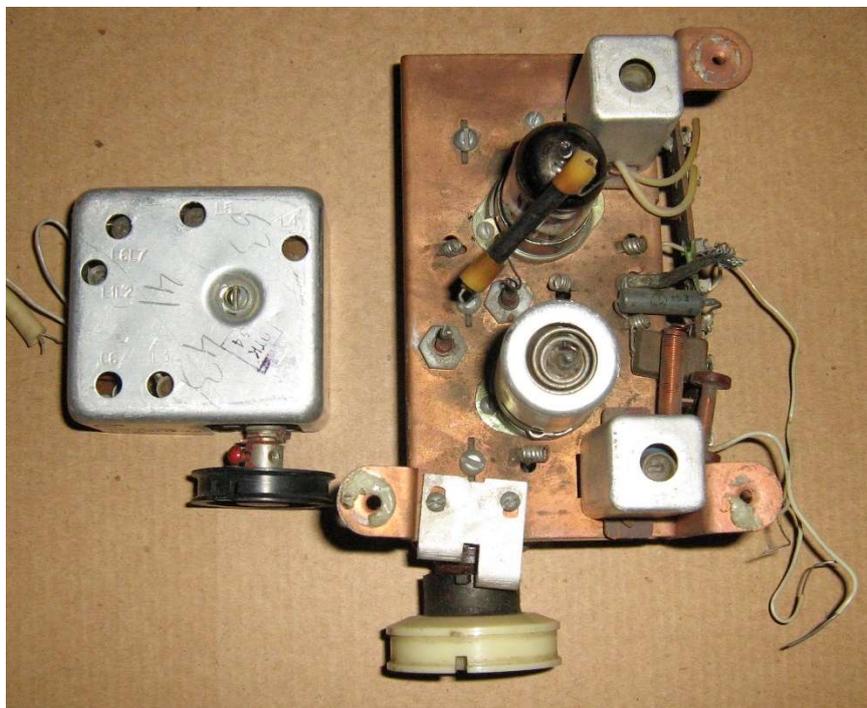


Рис. 5. Блок УКВ-2-01С и блок УКВ ламповой радиолы (фото Д. А. Коптяева)

Предварительный УНЧ был спроектирован и реализован авторами на базе микромодуля УПЧ3-2М и оформлен в виде радиолампы (рис. 6).



Рис. 6. Модуль УПЧ и предварительного УНЧ. (фото Д. А. Коптяева)

Приёмник для магнитной петли

В качестве приёмника авторами использовался обыкновенный микрофонный усилитель, только вместо микрофона – ферритовая антенна, расположенная вертикально. Звук был чистым и громким. При подключении к антенне высокоомных головных телефонов был тихий, но разборчивый звук. Ранее в журнале «Юный техник» предлагали схему такого приёмника для беспроводных наушников [5] (рис. 7). Интересно, что магнитная петля включена прямо на выход усилителя лампового телевизора. Автор статьи в журнале «Юный техник», а также многих других на тему применения «магнитной петли» – радиоинженер Эдуард Тарасов, у которого немало патентованных изобретений [6].

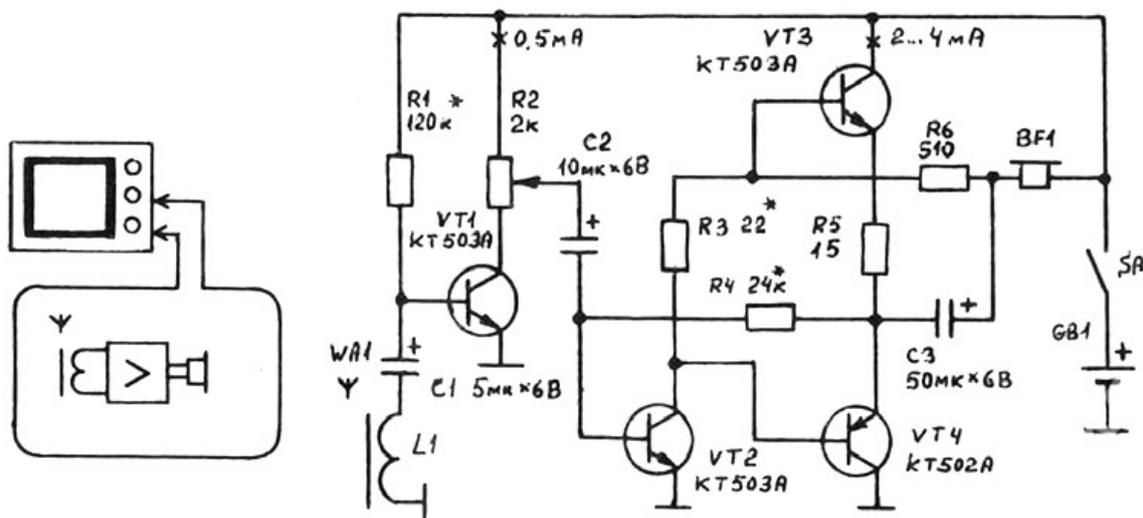


Рис. 7. Беспроводные наушники с магнитной петлёй. [5]

Где ещё может применяться магнитная петля

На сегодняшний день магнитную петлю применяют в актовом зале интерната для слабослышащих, для этого опоясали данный зал четырьмя витками провода, подключили к усилителю, а в слуховые аппараты встроили магнитные антенны [7]. Можно применить данную технологию и для телевидения, при этом нет необходимости строить дорогостоящую телебашню. Согласно определению из Википедии, индукционная петля – это простой приёмопередатчик с антенной из провода в виде кольца (катушка индуктивности) [8]. Но если это приёмопередатчик, то можно осуществить и двухстороннюю местную беспроводную телефонную связь, аналогичную сотовой, но без применения дорогостоящих вышек.

Список используемых источников

1. Простые схемы усилителей НЧ карманных приемников. URL: <https://www.radiolub.ru/page/prostye-shemy-usilitelej-nch-karmannyh-priemnikov> (дата обращения: 20.02.2022)
2. K174XA10 — многофункциональная микросхема для однокристалльного АМ — ЧМ приемника. URL: <https://rudatasheet.ru/microchips/k174ha10/?amp> (дата обращения: 20.02.2022)
3. K174УР4 — тракт обработки сигналов промежуточной частоты. URL: <https://rudatasheet.ru/microchips/k174ur4/> (дата обращения: 20.02.2022)
4. Схема радиоприёмника на телевизионных микросхемах. URL: <https://admarkelov.ru/prosteshie-radiopriyomniki-i-radiopredatchiki/skhema-radiopriyomnika-na-televizionnyh-mikroskhemah.html> (дата обращения: 20.02.2022)
5. Интересные самоделки из приложения к журналу Юный Техник. URL: <https://zen.yandex.ru/media/poleznoe/interesnye-samodelki-iz-prilozheniia-k-jurnalu-iunyi-tehnik-61d986f86865712f751e1892?&> (дата обращения: 20.02.2022)
6. Тарасов Эдуард Павлович – изобретатель и автор патентов. URL: <https://patentdb.ru/author/975861> (дата обращения: 20.02.2022)
7. Яндекс Дзен. Магнитная петля. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5e6240ac82f9de0b040577a1/magnitnaia-petlia-5fef2591bb14d54ffbd0bac2> (дата обращения: 20.02.2022)
8. Индукционная петля // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Индукционная_петля (дата обращения: 20.02.2022)

УДК 621.371.3
ГРНТИ 47.49.02

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ВНЕ ПРЕДЕЛОВ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

К. О. Коровин, А. С. Шандровский

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

Статья описывает использование метода радиолокационного наблюдения за преградами (STTW see through the wall), метода не прямой лазерной локации и радиолокационного метода для обнаружения объектов в помещениях вне зоны прямой видимости. Описаны физические принципы и методы обработки сигналов для каждой и указанных систем, приведен сравнительный анализ характеристик и области применения систем.

обработка сигналов, радиолокация, лазерная локация, тепловидение, отражение волн.

Определение расположения объектов, находящихся за непрозрачными препятствиями или рассеивающей средой необходимо сотрудникам силовых структур при проведении оперативных действий, спасателям при поиске пострадавших под завалами, и, кроме этого, может быть использовано в ряде задач медицины и других областях. В данной статье рассмотрены 3 метода определения расположения объектов, находящихся вне прямой видимости: системы радиолокационного наблюдения сквозь стену STTW, метод не прямой лазерной локации и метод не прямой радиолокации.

Каждый из методов, на данный момент, имеет разную степень реализации: радары STTW производятся отечественным и зарубежными производителями и широко применяются, методы не прямой лазерной локации и радиолокации представлены в виде концептуальной модели и могут быть реализованы и представлен в виде макета в ближайшее время.

Системы наблюдения сквозь стену

Системы наблюдения сквозь стену STTW (see through the wall) разрабатываются и совершенствуются отечественными и зарубежными производителями [1, 2]. Устройства радиолокации сквозь стену применяются для определения расположения людей за бетонными, кирпичными и т. д. стенами в помещениях. Лицевая сторона локатора имеет экран и органы управления, на тыльной стороне расположена одна или несколько разнесенных антенн. Приемник и передатчик соединены с блоком управления, который,

в свою очередь, связан с блоком обработки и индикации. Последний отвечает за получение команд оператора и преобразование информации от блока управления в графический вид с последующей выдачей на экран.

Принцип работы радара основан на сравнении отраженных импульсных сигналов и обнаружении изменений во времени отражения, связанных с движением объекта. Радар работает в импульсном радиолокационном режиме, с помощью специальной импульсной излучающей антенны (IRA) излучаются чрезвычайно короткие импульсы (приблизительно 100 пс.) с чрезвычайно большой полосой пропускания (приблизительно 3,5 ГГц) [3]. Микроволновое излучение в диапазоне частот 250–3 500 МГц наряду с очень узкой шириной импульсов обеспечивает достаточное проникновение сквозь стены и высокое разрешение изображений. Ввиду того, что зондирование осуществляется микроволновым излучением – могут быть замечены движения объекта с малой амплитудой такие как дыхание. На рис. 1 представлен результат зондирования помещения прибором производства ГК Геоскан РО-900.

Стоит отметить, что при должной калибровке и доработке подобный радар может быть использован для дистанционного определения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и использован в медицинских целях для наблюдения за состоянием пациентов.

Разрешающая способность зондирующих РЛС систем STTW на данный момент имеет угол обзора 120° , обеспечивает обнаружение за кирпичной и железобетонной стеной толщиной до 60 см на расстоянии до 21 м. Дальность обнаружения в режиме радара-обнаружителя до 21 м.

В настоящий момент данный тип устройств является коммерческим продуктом с достаточно высокими характеристиками. Например, система отечественного производства ООО «НПЦ Георадарных технологий» РО-400 имеет дальность обнаружения объектов до 21 м при толщине кирпичного или железобетонного препятствия в 60 см и угле обзора 120° . Устройство производства израильской компании Camero - Xaver 400 дальность обнаружения в 4 м, 8 м и 20 м, угол обзора 120° .

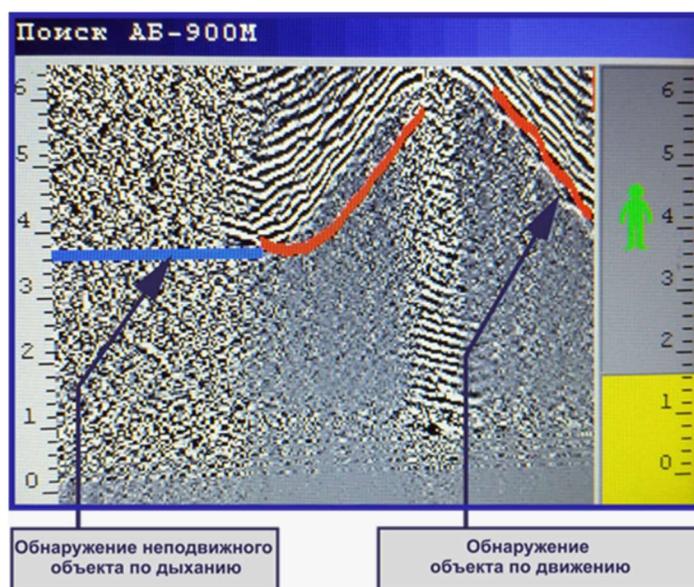


Рис. 1. Результат зондирования помещения РО-900

Метод не прямой лазерной локации

Метод основан на регистрации отраженного оптического излучения 3-го порядка с помощью фотоаппаратуры на основе однофотонных лавинных диодов. При расположении объекта вне пределов прямой видимости от детектора, оптическое излучение направляется на поверхность, у которой соблюдается условие видимости с объектом зондирования. Облученная поверхность, являясь источником вторичных световых волн, рассеивает оптическое излучение в направлении скрытого объекта. В результате рассеяния оптического излучения объектом формируются световые волны третьего порядка, распространение которых происходит в обратном направлении. Фотоны в составе рассеянного объектом оптического излучения, достигая поверхности, расположенной в зоне прямой видимости оптико-электронной камеры, регистрируются ФПУ. Для реализации данного метода необходимы импульсный лазер, сканирующая и фокусирующая оптические системы, камера для регистрации рассеянного оптического излучения, устройство синхронизации. Формирование горизонтальной и вертикальной разверток изображения достигается путем перемещения фокуса импульсного лазера и сканирующей оптической системы с помощью двухосевой системы зеркал. Принцип метода не прямой лазерной локации представлены на рис. 2.

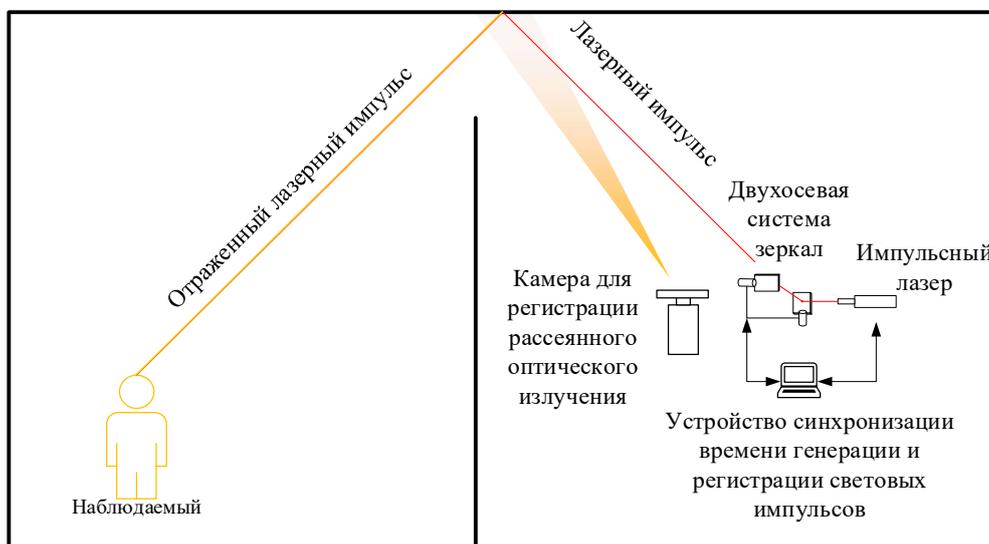


Рис. 2. Принцип и устройство метода не прямой лазерной локации

Результатом сканирования пространства является двумерная матрица $A = [a_{ij}]$, где i – столбец растрового изображения, j – строка растрового изображения.

Как было показано [4], разрешающая способность метода не прямой лазерной локации определяется мощностью источника оптического излучения и разрешением фотоаппаратуры на основе однофотонных лавинных диодов.

Сравнение системы STTW с методом не прямой лазерной локации представлено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики системы STTW и метода не прямой лазерной локации

	Угол обзора	Толщина препятствия	Расстояние до объекта	Подверженность помехам
STTW ("НПЦ Георадарных технологий" РО-400)	120°	До 60см кирпича и железобетона	До 21м	Радиоэлектронные помехи
Метод не прямой лазерной локации (концептуальная модель)	Определяется разрешением фотоаппаратуры	Не имеет значения, необходима отражающая поверхность	Определяется мощностью источника оптического излучения	Аэрозольные вещества

Метод не прямой радиолокации

На простейшем уровне радиолокационный метод можно представить как наблюдение за комнатой из другой комнаты с помощью зеркала, однако, в этом случае и объект наблюдения и наблюдатель будут взаимовидимы друг для друга что не всегда допустимо. Метод не прямой радиолокации подразумевает использование кратковременного импульсного воздействия с насколько возможно короткой длиной волны. Роль зеркала в данном случае играет любая радиоотражающая поверхность (например, стена). Длина волны зондирующего сигнала должна быть достаточной для зеркального отражения радиоволн, то есть намного больше неровностей отражаемой поверхности [5].

Формирование изображения сцены и расположения объектов происходит на основании значений амплитуд импульсов, а точнее – их отношения. Для обработки результирующего сигнала может использоваться детерминированная модель запуска лучей.

Модель запуска лучей [6] основана на геометрической оптике, и моделирует процесс распространения радиоволн согласно физическим явлениям, а именно, отражению, преломлению и дифракции. Запуск лучей проводится с конца передатчика, эти лучи разделены между собой небольшим углом, так что каждый имеет различное направление передачи. Далее эти лучи взаимодействуют с внешними объектами в среде распространения согласно теории отражения, преломления и дифракции. Расчет луча прекращается в случае, когда мощность падает ниже пороговой или после определенного, заранее заданного количества отражений, или, когда луч достигает

приемной антенны. Модель запуска лучей имеет недостаток – дальние объекты могут быть упущены лучами, даже при запуске лучей с низкой разницей запуска.

Заключение

В работе рассмотрены 3 метода получения изображений: с использованием системы STTW, метод не прямой лазерной локации и метод не прямой радиолокации. Невзирая на существование готовых промышленных изделий, использующих технологию STTW, актуальность дальнейшего развития технологий не прямой лазерной локации и не прямой радиолокации обосновывается спектром преимуществ и перспектив применения развиваемых методов.

Список используемых источников

1. Официальный сайт компании Camero, продукты серии Xaver. URL: <https://camero-tech.com/xaver-products/>
2. Официальный сайт ООО "НПЦ Георадарных технологий", Радары-обнаружители людей за стенами (стеновизоры). URL: <http://stenovizor.com/>
3. Fathy A., Yang Y. See-through-wall imaging using ultra-wideband short-pulse radar system // Antennas and Propagation Society International Symposium - University of Tennessee, 2005 doi: 10.1109/APS.2005.1552508
4. Meiling L. U. O. Indoor radio propagation modeling for system performance prediction: дис. INSA de Lyon, 2013.
5. Lim S. Y. A ray tracing method for radio wave propagation prediction on selected locations of sun-u campus // Sunway Academic Journal. 2012. Т. 9. С. 43.
6. Григорьев А.Н., Алтухов А.И., Коршунов Д.С. Подход к получению изображений объектов на основе данных не прямой лазерной локации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. том 21. № 1.
7. Зеликман М. А. Курс лекций по физике. 3-й семестр. Оптика. Атомная физика. Физика атомного ядра и элементарных частиц // СПб Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019.
8. Salaheddin Hosseinzadeh (2019). 3D Ray Tracing For Indoor Radio Propagation. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64695-3d-ray-tracing-for-indoor-radio-propagation>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved June 8, 2019.

УДК 621.396.2
ГРНТИ 49.31.31

СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДИФИКАЦИЯ УНАСЛЕДОВАННЫХ СИСТЕМ РАДИОДОСТУПА С ВРЕМЕННЫМ УПЛОТНЕНИЕМ КАНАЛОВ

В. Е. Коротин

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

Рассмотрены возможности технологической модернизации унаследованных систем радиодоступа с временным уплотнением каналов на примере DECT для расширения зон обслуживания и/или увеличения числа каналов. Также оцениваются возможности передачи трафика видеоконференцсвязи. Изложение ведется в форме «задача – решение – анализ результата», что дидактически полезно для усвоения обучающимися особенностей сетей радиодоступа с временным уплотнением каналов.

DECT, ВРК, защитный интервал, глубина сети, проектное обучение.

Дидактическое значение рассматриваемой темы представляется существенным по двум причинам. Во-первых, рассмотрение вопроса модификации требует более глубокого изучения особенностей организации сетевого взаимодействия в радио интерфейсе. А во-вторых, определение целей и способов модификации, направленных на придание унаследованным системам продвинутых (в смысле увеличения пропускной способности каналов и расширения зон обслуживания) характеристик, позволяет развивать творческий потенциал обучающихся на основе проектного обучения и подхода к решению инженерных задач с учетом комплексного характера оценки результатов предлагаемых проектных решений.

Кроме того, есть основания предполагать, что в ряде случаев (особенности обслуживаемых территорий, технико-экономические ограничения, накладываемые на возможности выбора широко известных технологий, пр.) предлагаемые решения по модификации унаследованных систем с временным разделением каналов, могли бы представлять интерес для развития систем и сетей радиодоступа конкретными операторами.

На основе сказанного выше задача предлагаемого проектного исследования формулируется следующим образом. Определение на начальном этапе предельной глубины сети радиодоступа (размеров обслуживаемой территории) в рамках номинального для конкретной системы набора предоставляемых услуг (скажем, по реализуемой полосе каналов). Затем – поиск

решения для возможного расширения зоны охвата при сохранении номенклатуры оказываемых услуг (например, сохранение услуги голосовой телефонии). В дидактическом смысле наиболее важен следующий этап – оценка проектных вариантов с различных точек зрения (либо нахождение целевой функции оценки по ряду критериев). И наконец, исследование возможности расширить номенклатуру предоставляемых услуг с учетом возможного сокращения зон обслуживания и/или абонентской базы и с последующим анализом эффективности по сформулированным на предшествующем этапе критериев и определенной целевой функцией качества проектного решения.

Оставляя в стороне практическую (возможную) значимость полученных решений, следует отметить, что в дидактическом плане описанный подход позволяет обучающимся уяснить взаимосвязь предельных величин глубины сети (или масштабов зон обслуживания), требований по характеристикам доступа (вероятность отказа, допустимая величина нагрузки в ЧНН), количества обслуживаемых пользователей и широкополосности предоставляемых услуг (типов приложений).

Для более наглядной иллюстрации указанного подхода к реализации заявленной темы исследования удобно воспользоваться конкретным примером. Рассмотрим в этой связи радиодоступ профиля RAR системы DECT [1].

Как известно, в системах с временным уплотнением каналов, к которым относится DECT, глубина сети радиодоступа (определяемая как показано на рис. 1 разницей возможных расстояний от радио базовой станции до самого дальнего и самого ближнего оборудования пользователя – зеленая двунаправленная стрелка) определяется не только и не столько энергетическими показателями.

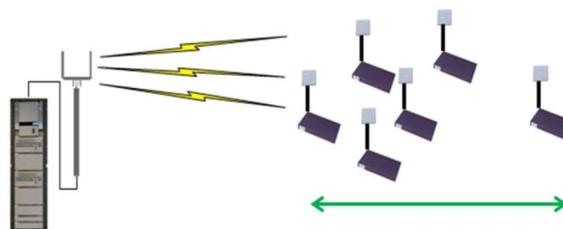


Рис. 1. Глубина сети радиодоступа

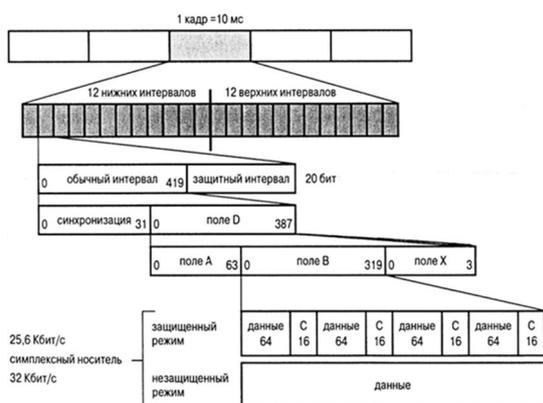


Рис. 2. Структура кадра DECT

Определяющее значение для этого имеют временные параметры, представленные в структуре кадра (рис. 2), и в первую очередь защитный межканальный интервал. Данный временной интервал необходим для противодействия межканальной интерференции соседних временных каналов, причина появления которой поясняется рисунком 3. Различие в моментах синхронизации из-за разной задержки прохождения сигналов

до пользовательских терминалов радиодоступа, находящихся на разном удалении от центрального координатора – радио базовой станции.

Отсюда становится понятным, что заложенные в систему величины межканальных защитных временных интервалов (20 бит) определяют максимальное время распространения сигнала на глубину сети, определяемую как разность расстояний до ближайшего (r) и наиболее удаленного (R) терминала. Исходя из представленных на рис. 2 параметров кадра, можно определить предельную глубину сети радио доступа по формуле:

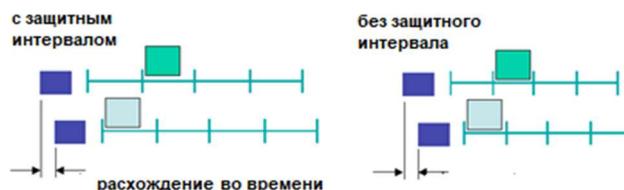


Рис. 2. Причина межканальной интерференции

$$D = R - r = \frac{T \cdot G \cdot c}{N \cdot (B + G)}, \quad (1)$$

где D – глубина сети,

T – длительность кадра (для DECT – 10 мс),

G – число бит защитного интервала (для DECT – 20),

c – скорость света,

N – число дуплексных канальных интервалов (для DECT – 24),

B – число бит, передаваемых в обычном интервале (для DECT – 420).

В результате вычислений получаем предельную глубину сети с округлением, что важно, в меньшую сторону равной 5,68 км. Заметим, что с улучшением энергетики трассы радиодоступа и возрастания R глубина сети останется неизменной, но площадь зоны обслуживания значительно увеличится, что приведет к росту числа пользователей, а значит к ухудшению параметров доступа к каналному ресурсу. Численную оценку этого дадим при анализе предлагаемых проектных решений.

Одной из задач модификации может быть увеличение глубины сети за счет использования вокодера, например, RPE-LTP со скоростью телефонии 13 кбит/с [2]. В результате можно увеличить защитный интервал до 210 бит и глубину сети – до 59,65 км, что было бы запредельным для используемого DECT диапазона 1,9 ГГц.

Желательно найти решение для одновременного роста как зоны обслуживания, так и числа каналов при сохранении общего числа бит в кадре (обеспечить принцип обратной совместимости с оригинальным DECT). Поиск решений выполняется на основе численных экспериментов и позволяет определить несколько вариантов, сведенных в таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1. Варианты модернизации для услуги голосовой связи

Кадр, мс	Канальный интервал, бит	Защитный интервал, бит	Глубина сети, км	Кол-во каналов	Скорость в канале, кбит/с
10	230	122	34.7	15	13
10	230	100	28.4	16	13
10	230	34	9.6	20	13
10	230	10	2.8	22	13

Качество решений оценивается по степени приближения пропорции зоны обслуживания и числа каналов к пропорции оригинального DECT. Задача анализа формулируется обучающимся таким образом. Во-первых, в первом приближении следует считать, что глубина сети совпадает с радиусом зоны радио покрытия (то есть ближайший пользователь может оказаться в непосредственной близости от радио базовой станции). Во-вторых, прирост площади зоны покрытия следует считать приростом числа обслуживаемых сетью радиодоступа пользователей. В-третьих, изменение условий обслуживания пользователей, происходящее по причине как роста их числа, так и роста числа каналов следует оценивать изменением вероятности блокировки, опираясь на Модель Эрланга В [3–5].

При модернизации унаследованных систем востребовано расширение спектра услуг, разумеется. В данном случае уместно желание придать системе свойства не только голосовой, но видеоконференцсвязи – на основе современных методов сжатия информации. Однако изменение характера передаваемой информации влечет и ужесточение (в данном случае) требований к помехозащищенности. В оригинальном DECT эта функция имеет весьма ограниченные возможности (4 бита на канальный интервал – для передачи CRC), чего явно недостаточно при использовании сжатия MPEG-2, MPEG-4 [6, 7]. Поскольку услуги видеоконференцсвязи могут предоставляться при пропускной способности канала радиодоступа 384 кбит/с и 128 кбит/с, соответственно, модифицировать канальный ресурс предлагается по следующему алгоритму. В рамках общеканального ресурса из 12 временных интервалов формируется некоторое число каналов видеоконференцсвязи для реализуемой по требованию SNR глубины сети. Незадействованные ресурсы кадра используются для расширения защитного поля X в интересах помехоустойчивого канального кодирования.

По результатам численных экспериментов модификации и анализа результата обучающиеся должны заполнить таблицу 2. В строке АДИКМ указываются данные для оригинального DECT и рассчитанная максимальная глубина сети. Кроме того, таблица результатов должна содержать несколько вариантов для передачи вокодерной телефонии (раздел Вокодер) и видеоконференцсвязи (раздел MPEG).

ТАБЛИЦА 2. Анализ результатов модификации.

	Кадр, мсек	Канальный интервал, бит	Защитный интервал, бит	Скорость в канале, кбит/с	Глубина сети, м	Кол-во каналов	Примечание
АДИКМ	10	420	20	32			
Вокодер	10						
	10						
МPEG	10			128			
	10			384			

Отличительные особенности этих вариантов указываются в графе Примечание:

- для строк АДИКИ и Вокодер – количество абонентов, вероятность блокировки, нагрузки в ЧНН, плотности нагрузки;
- для строк MPEG – параметры помехоустойчивого кодирования.

В заключение следует отметить, что рассмотренный на примере системы DECT подход к модификации применим к широкому кругу унаследованных решений радио доступа с временным разделением каналов.

Список используемых источников

1. European Telecommunications Standards Institute ETSI, Radio Equipment Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 2: Physical layer, ETS 300 175-2, September 1996.
2. 3GPP TS 06.10. V8.2.0 Full rate speech; Transcoding. URL: https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T104v4_10/5_Appendix/Rel13/36/36211-d20.pdf
3. Moshe Zukerman. Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models. Copyright M. Zukerman (c) 2000-2014. P. 238.
4. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания. М.: Связь, 1966.
5. Clos, Charles. A study of non-blocking switching networks (англ.) // Bell Labs Technical Journal (англ.)рус. : journal. 1953. March (vol. 32, no. 2). pp. 406–424.
6. Sixth MPEG-4 AVC/H.264 Video Codecs Comparison. URL: http://compression.ru/compression.ru/video/codec_comparison/h264_2010/
7. Eckard S. ISO/IEC MPEG-2 Software Video Codec. Algorithms and Technologies, Ed., Proc. SPIE 2419, 1995, 265 p.

УДК 621.396.49
ГРНТИ 49.43.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В КАНАЛЕ СВЯЗИ LI-FI

В. Е. Коротин, А. А. Мошнина

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

Каждый из нас использует умные гаджеты с различными технологиями в современном мире. Количество устройств с каждым годом растет по экспоненциальной зависимости, что может привести к ограничению радиочастотного спектра. Одной из технологий, которая сможет решить данную проблему, является беспроводная передача данных посредством света, которая может использоваться в закрытых помещениях. Например, в больничных палатах, в самолетах, на складах. В данной статье анализируются параметры производительности связи Li-Fi в больничной палате при передаче данных.

BER, видимый свет, SNR, канал связи, Li-Fi.

Телекоммуникация играет важную роль в современных технологиях. Достижения в области беспроводной связи значительно изменили структуру связи в мире. Большинство сетей в настоящее время основаны на электрических сигналах и управляются по медным кабелям. Внедрение оптоволоконной оптики привело к использованию Li-Fi, благодаря чему медные кабели заменяются оптоволоконными. Доказано, что оптическая связь дешевле, потребляет меньше энергии, чем медные кабели, а также снижает электромагнитные помехи. Актуально использование данной технологии в местах, где радиочастотные устройства могут создавать помехи другим сетям, например, в больницах, в самолетах, на автозаправочных станциях. Благодаря достижениям в области светоизлучающих диодов, в частности белых светодиодов, темпы роста связи в видимом свете резко возросли, поскольку белые светодиоды обладают более высокой эффективностью, более длительным сроком службы и меньшим энергопотреблением в сравнении с люминесцентными лампами и лампами накаливания. В данной статье рассмотрены методы, с помощью которых можно повысить отношение сигнал/шум для достижения более высоких скоростей передачи данных технологии Li-Fi. Алгоритм позиционирования оборудования связи существенно влияет на распределение мощности, следовательно, оптимальная компоновка оборудования будет обеспечивать равномерное покрытие сети при незначительных изменениях расстояния между передатчиком и приемником.

Li-Fi предлагает новый мониторинг пациента в помещении больницы с использованием связи видимого света, где датчики общего назначения, такие как электрокардиография (ЭКГ) и датчик местоположения, собирают информацию о состоянии здоровья пациента и передают эти данные по каналу VLC на сервер. Этот метод фокусируется на восходящей системе передачи данных (рис. 1) с использованием белых светодиодов для передачи биомедицинских данных пациента на сервер. Пациент (отправитель) считается статичным из-за ограниченного движения при мониторинге здоровья. Предлагаемая система передает три предварительно загруженные биомедицинские данные для здравоохранения, включая ЭКГ, температуру тела и фотоплетизмограмму с использованием беспроводного VLC с модуляцией On Off Keying (ООК). Хотя это метод представляет собой альтернативу RF (частотного ресурса) в больницах, Li-Fi система только передает данные пациентов на сервер. А вот сторона получателя по-прежнему должна использовать Wi-Fi для доступа к профилю пациентов.

Световые сигналы модулируются с помощью метода ООК, который является простейшей формой сдвига амплитуды. Частота передатчика должна быть выбрана так, чтобы избежать мерцания, например, несущая частота 100 кГц. Кроме того, в отличие от других методов связи, Li-Fi работает на основе видимого света, что повышает безопасность здоровья пациентов и устраняет радиочастотные помехи для больничных инструментов.

В данной статье рассматривается беспроводная оптическая связь, в которой используются быстро переключающиеся белые светодиоды, передатчик данных и система освещения помещения. В исследовании задействованы данные, а именно передаваемая мощность 20 мВт, угол наклона светильников 60 градусов, помещение в больнице (палата) размером 5 м × 5 м × 3 м для освещения и компоновки сети. Расстояние между передатчиком и приемником (от кровати до потолка) должно составлять 215 см (высота кровати 0,85 м). Для мониторинга состояния здоровья и стабильности пациентов передаются две биомедицинские данные: ЭКГ и температурные данные. Сигналы будут мультиплексированы с информацией о пациенте, такой как имя, история болезни и номер пациента для идентификации каждого пациента. Поток данных системы можно разделить на восходящий и нисходящий канал.

В беспроводной связи расстояние между передатчиком и приемником влияет на качество сигнала связи. Согласно уравнению (1) [1], расстояние обратно пропорционально полученной мощности.

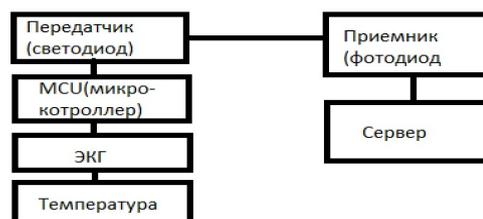


Рис. 1. Структурная схема системы Uplink

$$H(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi D^2} \cos\alpha \cos^m(\beta), & 0 \leq \beta \leq \beta_c, \\ 0, & \beta \geq \beta_c, \end{cases} \quad (1)$$

где расстояние между приемной стороной и светодиодом равно D , площадь приема равна A , угол линии связи к оси светового луча светодиода равен β , коэффициент излучения Ламберта равен m .

Следовательно, увеличение расстояния приведет к уменьшению принимаемой мощности, что приведет к снижению SNR и увеличению BER.

Чтобы визуализировать влияние расстояния, будем коэффициент расстояния варьировать от 1 до 3 м в помещении. Результаты этого моделирования указывают на уменьшение принимаемой мощности по мере увеличения расстояния. Аналогичным образом, SNR значительно снижается, что приводит к увеличению BER, как показано на рис. 2, 3 и 4.

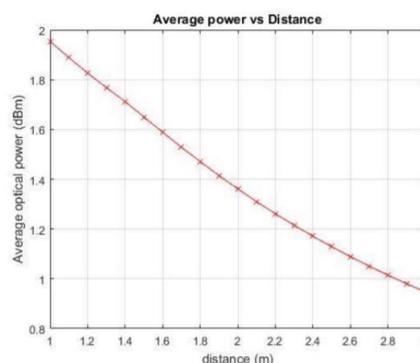


Рис. 2. Зависимость ДБм от m

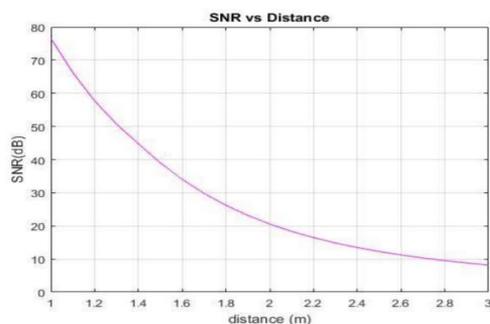


Рис. 3. Зависимость SNR от m

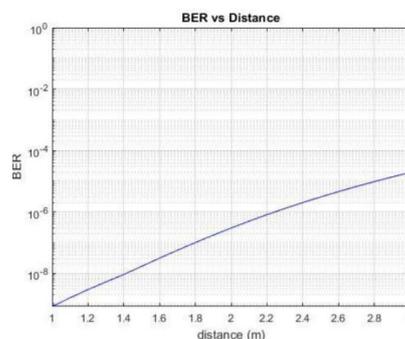


Рис. 4. Зависимость BER от m

При следующем моделировании будем учитывать только мощность прямой видимости (LOS), а отраженный свет игнорировать. Из результатов видно, что с помощью набора светодиодов диапазон надежности связи может быть увеличен до 2,4 метра, что обеспечивает минимально допустимый уровень SNR 15 дБ. Однако эти параметры могут быть дополнительно изменены путем увеличения количества светодиодов или использования светодиодов более высокой мощности.

Далее рассмотрим, как BER зависит от различных видов модуляции. В настоящее время наиболее популярной схемой для систем OWC является

прямое обнаружение и модуляция интенсивности [2]. ООК попадает под эту категорию. В отличие от радиочастотных систем, где модуляция может быть применена к фазе, амплитуде и частоте несущего сигнала. Оптические системы, работающие ниже 2,5 Гбит/с, как правило, модулируют интенсивность несущего сигнала [3]. Проанализируем в MATLAB параметры BER и SNR для канала связи пяти различных схем модуляции. На рис. 5 представлена зависимость BER от типа модуляции.

Как видно из рис. 5, OFDM-BPSK приводит к наименьшему коэффициенту ошибок, за которым следует ООК. Хотя OFDM 16-QAM и 64-QAM могут достигать более высоких скоростей передачи данных по сравнению с ООК и OFDM BPSK.

Далее рассмотрим, как зависит скорость передачи данных от SNR. Из формулы (2) [4] видим, что скорость передачи данных обратно пропорциональна SNR сигнала:

$$SNR = \frac{R^2 P_r^2}{\sigma_{shot}^2 + \sigma_{therm}^2}, \quad (2)$$

где R – фотореактивность фотоприемника в приемнике, σ_{shot}^2 – дисперсия шума рассеяния, а $\sigma_{thermal}^2$ – тепловая дисперсия теплового шума, P_r – принимаемая мощность.

Используя оптическую мощность, полученную выше, смоделируем скорость передачи данных, которая показывает максимально достижимую скорость передачи с приемлемым значением SNR 15–20 дБ. Как показано на рис. 6, скорость передачи данных обратно пропорциональна SNR сигнала. Так же из графика видно, что ОСШ остается стабильно до 1 Мбит/с и значительно падает после критической точки.

Таким образом, максимальная скорость передачи данных может быть достигнута приемлемого качества (SNR = 20 дБ) на скорости 1 Гбит/с. Однако методы шумоподавления, использование более высокой оптической мощности и модуляции могут значительно увеличить скорость передачи данных.

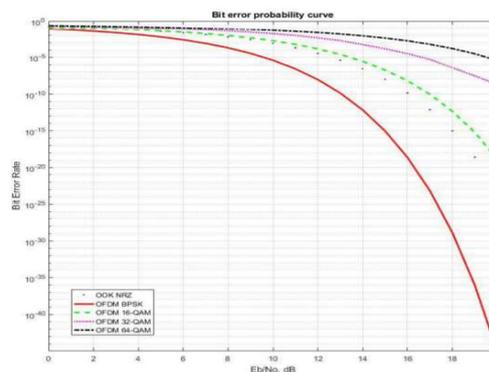


Рис. 5. Модуляции сигнала

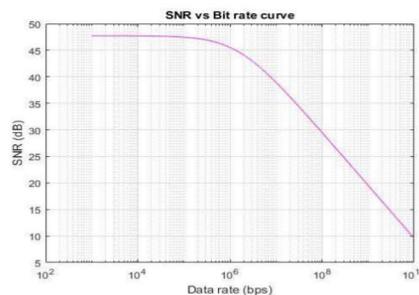


Рис. 6. Моделирование скорости передачи данных

В заключение можно выделить, что технология связи видимого света демонстрирует большой потенциал, в частности, в зонах ограниченного доступа. Системы Li-Fi могут быть использованы в отделениях интенсивной терапии или в отделениях больничных палат, где необходим мониторинг состояния здоровья пациентов. Полученные предварительные результаты показывают важность компоновки оборудования, и как расстояние между передатчиком и приемником влияет на производительность системы. Экспериментальные данные подтверждают, что оптическая мощность падает нелинейно по мере увеличения расстояния между передатчиком и приемником, что приводит к снижению SNR и увеличению BER. Так же из графиков различных видов модуляции видно, что OFDM BPSK имеет наименьшего число битовых ошибок (BER), чем ООК. Но модуляция ОКК является наиболее популярной схемой модуляции из-за ее простоты, поэтому именно данный тип модуляции рассматривается в данной статье. Ожидается, что система Li-Fi будет передавать биомедицинские данные, собранные датчиками здоровья, и передавать их на сервер с помощью белых светодиодов. Точно так же технология Li-Fi в будущем должна предоставлять пациентам доступ в Интернет.

Список используемых источников

1. Y. He, Design and Implementation of Real-Time Radio and Video Visible Light Communication System Based on USB Interface, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu, China, 2014.
2. Высокоскоростные системы связи видимого света. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6685758> (дата обращения: 11.01.2022)
3. Visilink, «Visible Light Communication Technology for Near-Ubiquitous Networking» White Paper, January 2012.
4. Комплексная среда моделирования с открытым исходным кодом для связи Li-Fi. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/7/2485/pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ РАДИОКАНАЛА С ВАРИАТИВНОЙ ПРЕАМБУЛОЙ

Р. Е. Кротов, А. И. Рыбаков

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

Целью исследовательской работы является рассмотрение основных преимуществ коротковолновой радиосвязи заключаются в использовании отражения радиоволн от ионосферы и наличия самой ионосферы над территорией нашей планеты. Для реализации преимуществ предлагается описание перспективного и нового метода адаптации цифрового канала связи. Предлагается рассмотреть новый метод адаптации – по длине преамбулы (вариативная преамбула). Полученная характеристика канала применяется для коррекции всех символов обрабатываемого кадра, после чего происходит ее пересчет по следующей преамбуле. Стоит заметить, что эквалайзер, настроенный по преамбуле, позволяет эффективно устранять фазовый набег в частотных каналах связи, при наличии ошибок тактовой синхронизации.

эквалайзер, вариативная преамбула, тактовая синхронизация, методы обнаружения, модель радиоканала, декодер.

Введение

Использование радиочастотного спектра в диапазоне частот 1,5–30 МГц, иначе называемого коротковолновым диапазоном, позволяет осуществлять дальнюю радиосвязь с наименьшими материальными и техническими затратами, по сравнению с проводной, оптоволоконной или спутниковыми видами связи.

Для реализации преимуществ предлагается описание перспективного и нового метода адаптации цифрового канала связи. Предлагается рассмотреть новый метод адаптации – по длине преамбулы (вариативная преамбула).

В пакетном сообщении радиопередача начинается с преамбулы, идущей перед кадрами данных. Этот поток бит произвольной длины представляет собой повторяющуюся последовательность нулей и единиц, которая гарантирует, что приемник будет синхронизирован с центральной частотой. Оценка частотной характеристики канала производится по пилотным отсчетам с последующей линейной интерполяцией [2].

Полученная характеристика канала применяется для коррекции всех символов обрабатываемого кадра, после чего происходит ее пересчет по

следующей преамбуле. Стоит заметить, что эквалайзер, настроенный по преамбуле, позволяет эффективно устранять фазовый набег в частотных каналах связи, при наличии ошибок тактовой синхронизации.

На основе обзора стандартов связи MIL-STD-188-110, MIL-STD-188-141, ARINC 635 и STANAG 4538 собрана функциональная схема, в основе которой лежат применение кодов Рида-Соломона и свёрточного кода, двух перемежителей длительностью 0,1 с и 4 с, самой преамбулы и модуляции фазовой манипуляцией [4].

Модель ионосферы

Общая функциональная схема модели представляет собой передающую, приемную части и модель ионосферного канала радиосвязи.

В работе используется стандартная модель ионосферного канала радиосвязи, представленная в библиотеке Simulink функцией «stdchan», то представленной функции необходимо задать рабочие параметры, такие как:

- синхронизационная преамбула:
[7;4;3;0;5;1;5;0;2;2;1;1;5;7;4;3;5;0;2;6;2;1;6;2;0;0;5;0;5;2;6;6];
- параметр СКК: «randi([0,1],15,1)»;
- идентификатор канала: «randi([0,1],15,1)»;
- тип пакета: randi([0,1], 9, 1);
- номер пакета: «randi([0,1],15,1)»;
- номер кадра: «randi([0,1],15,1)»;
- длина пакета: «randi([0,1], 33, 1)».

Параметры кода Рида-Соломона в нашем случае будут иметь вид:

$$\begin{aligned}RS_N &= 31; \\RS_K &= 25; \\RS_S &= 12; \\RS_row &= 6; \\RS_col &= 6; \\conv_row &= 100; \\conv_col &= 108;\end{aligned}\tag{1}$$

В описываемой модели декодер состоит из блока, задающего исходную битовую последовательность (sync_pream), по которой подстраивается эквалайзер (Decision Feedback Equalizer) и декодера ФМ сигнала (M-PSK) [1]. Поскольку исходный сигнал преамбулы генерируется в целочисленном виде, его необходимо преобразовать в битовую последовательность, при помощи блока «Integer to Bit Converter».

На выход эквалайзера мы подадим битовую последовательность от блока sync_pream и сигнал, полученный после прохождения его через ионосферу и отфильтрованный фильтром сигнал, типа «приподнятый косинус».

Эквалайзер производит процедуру подстройки и исправления полученного сигнала, на основе данных с блока `sync_pream`. После чего сигнал демодулируется и полученная битовая последовательность подается на декодеры помехоустойчивых кодов Рида-Соломона и сверточного кода. После исправления битовых ошибок итоговая последовательность битов результатом работы всей модели радиоканала и является целевым результатом, служащим для оценки битовых ошибок [4].

В модели источником полезного сигнала выступает блок «Random Integer» - генератор целочисленных значений, являющийся так же источником для итоговой оценки битовых ошибок. Оценка будет получена путем подсчета битовых ошибок между переданным сигналом и тем, который будет декодирован после прохождения через имитационную модель ионосферы.

Имитация ионосферного канала радиосвязи выполнена при помощи двух функциональных блоков [2].

Первый блок – «Rayleigh SISO». Это Рэлеевский канал с замираниями для случая без прямой видимости. Такой вид вносимых искажений в сигнал даст непредсказуемое отклонение фазы фазоманипулированного сигнала, что является важнейшим фактором, влияющим на качество связи.

Второй блок – «AWGN». Это источник Гауссовского шума. Применение такого вида искажений вносит в спектр сигнала шум, с равномерной спектральной плотностью, суммирующийся с полезным сигналом и статистически независим от сигнала.

В паре взаимодействия эти функциональные блоки позволят математически моделировать ионосферный канал радиосвязи с основными факторами, влияющими на качество радиосвязи и итоговое количество битовых ошибок в цифровой системе радиосвязи.

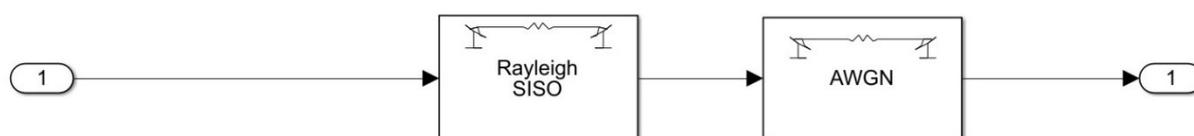


Рис. 1. Схема имитации радиоканала

Имитация ионосферного канала радиосвязи выполнена при помощи двух функциональных блоков.

Первый блок – «Rayleigh SISO». Это Рэлеевский канал с замираниями для случая без прямой видимости. Такой вид вносимых искажений в сигнал даст непредсказуемое отклонение фазы фазоманипулированного сигнала, что является важнейшим фактором, влияющим на качество связи.

Второй блок – «AWGN». Это источник Гауссовского шума. Применение такого вида искажений вносит в спектр сигнала шум, с равномерной спектральной плотностью, суммирующийся с полезным сигналом и статистически независим от сигнала.

В паре взаимодействия эти функциональные блоки позволят математически моделировать ионосферный канал радиосвязи с основными факторами, влияющими на качество радиосвязи и итоговое количество битовых ошибок в цифровой системе радиосвязи.

Результат моделирования радиоканала

Произведен расчет для двух скоростей передачи с изменяющейся длиной преамбулы (см. рис. 2):

1) передача 10 информационных пакетов в секунду с длиной пакета 120 бит, что дает техническую скорость 1,2 кбит/с;

2) передача 20 информационных пакетов с длиной пакета 480 бит, что дает техническую скорость 9,6 кбит/с.

И расчет для 2-4-8-позиционной фазовой манипуляции (см. рис. 3).

Это показывает, что изменение длины преамбулы может являться дополнительным инструментом адаптации цифрового канала радиосвязи, наряду с «классическими» инструментами в виде изменения мощности РПДУ, ширины полосы сигнала и вида модуляции.

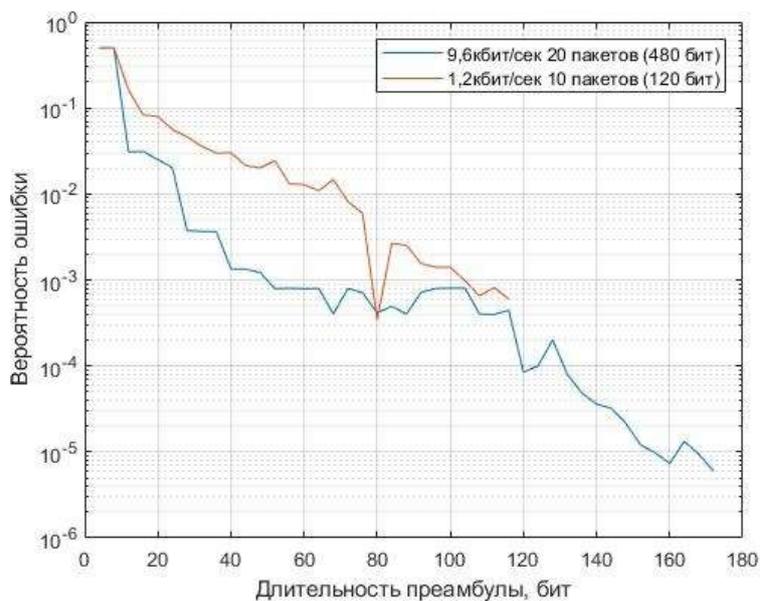


Рис. 2. Зависимости вероятности битовой ошибки от длины преамбулы

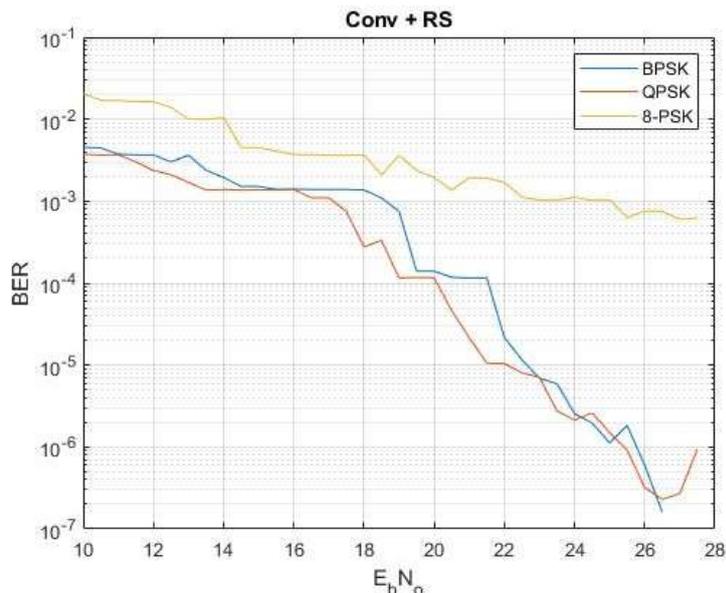


Рис. 3. Зависимость вероятности битовых ошибок от отношения с/ш при кодировании исходного сигнала кодами Рида-Соломона и сверточным кодом.

На рис. 3 видно, что при скорости 9,6 кбит/с длина преамбулы имеет влияние на вероятность битовых ошибок с 10^{-1} до 10^{-5} . Опираясь на данные расчета, полученные на рисунке 3, для наименее подверженной зависимости символьных ошибок от фазовых искажений, модуляции BPSK, равносильно повышению ОСШ с 10 до 23 дБ. Т. е., выигрыш от изменения длины преамбулы составляет 13 дБ.

Список используемых источников

1. Уильямс Р., A Painless Guide to CRC Error Detection Algorithms. URL: https://www.zlib.net/crc_v3.txt (дата обращения: 12.01.2021).
2. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа WiMAX. Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 179 с.
3. Симон М., Дивсалар Д. Maximum-Likelihood Block Detection of Noncoherent Continuous Phase Modulation // IEEE Transactions on Communications. 1993. Вып. 41, N1. С. 90–98.
4. Линь Ш., Костелло Д., мл. Error Control Coding: Fundamentals and Applications. 2 издание. Pearson Prentice Hall. 2004.
5. Ву Ин., Хаджикостис Х. Soft-Decision Decoding of Linear Block Codes Using Pre-processing and Diversification // IEEE Transactions on Information Theory. 2007. Вып. 53. N 1. С. 378–393.

*Статья представлена заведующим кафедрой,
кандидатом технических наук, профессором О. В. Воробьевым.*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

СМИ НОВОГО ТИПА В ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ МЕДИАВЕЩАНИЯ В РОССИИ: АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РЕАЛИЗАЦИИ

В. А. Крюков, А. П. Молчанов

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

Концепция развития телерадиовещания в РФ на 2020–2025 году призвана реализовать ряд мероприятий, которые, так или иначе, связаны с возникающими проблемами в области СМИ, вещаемых в федеральных мультиплексах на всей территории страны.

СМИ, телерадиовещание, модель медиавещание, анализ.

Часть возможных путей преодоления проблем в области развития СМИ на территории России были представлены на конференции АПИНО-2021 в СПбГУТ [1]. А также на V Международном научно-техническом форуме Телекоммуникации: Теории и Технологии в ПГУТИ (г. Самара) [2]. В настоящем докладе мы продолжаем линейку «Перспективная модель медиавещания в Российской Федерации», раскрывая ранее обозначенные темы.

Сегодняшние средства массовой информации, работающие не только в федеральных эфирных цифровых мультиплексах, но и в других средах, изо всех сил пытаются удержать зрителя. Одним из путей значительного увеличения популярности СМИ – заполнение эфира не только федеральным контентом, но и региональным, а также создание таких технических возможностей вещания, которые приведут к получению совершенно иных, новых, ранее неизвестных телезрителю качеств и возможностей получать информацию [1].

Рассматривая ранее разработанные материалы линейки «Перспективная модель медиавещания» именно с точки зрения разработки новых качеств СМИ, мы видим, что техническая подсистема [1] и преодоление ранее сложившихся стереотипов [2] в вещании позволяет внедрить следующие новые качества:

1. Мультирегиональность – возможность разместить контент принципиально на любых наборах территорий (зон охвата вещанием) с дискретностью, определяемой территориями работы одночастотных сетей наземного эфирного цифрового вещания. При этом контент может быть размещен по ряду конкретных условий, – например, в городах с населением больше 50 тыс. чел. в нескольких выбранных регионах одновременно.

2. Мультипрограммность – это параллельный выпуск в эфир программ на нескольких федеральных каналах, нескольких приложений. При этом возможно даже создание виртуальных СМИ на базе нескольких ТВ или радиопрограмм в мультиплексах. Соответственно, контент может выходить даже в разное время для разных территорий, а также его выходы могут повторяться.

3. Универсальность и оригинальность СМИ в разных средах распространения. Общедоступность – развитие новых СМИ и цифровых виртуальных медиа на базе существующих. В настоящее время оригинальность СМИ в разных средах распространения отсутствует, что также является проблемой.

4. Актуализация контента для каждого конкретного региона или на отдельных территориях дает мощный толчок к популяризации федеральных СМИ в мультиплексах. Это даёт новый путь к развитию федеральных СМИ путём расширения трансляций и к большему информированию населения отдалённых территорий.

5. Региональные студии как поставщики контента для СМИ нового типа. Возможность создания общей базы архивного и вновь создаваемого контента региональных студий. Региональные студии могут быть объединены в холдинги, для которых осуществляется по сбору и хранение контента. При этом, осуществляется взаимовыгодное сотрудничество и с федеральными ТВ и радиоканалами для подачи актуального информационно-познавательного контента для того или иного региона. Основная идея – развитие новых СМИ и цифровых виртуальных медиа на базе существующих. Собственно, база контента регионов может быть использована и для создания общероссийских передач.

Используя проанализированные нами новые качества, мы получили базу для «конструирования» СМИ нового типа, где новые качества могут быть применены в различных соотношениях и в комплексе. Данная база существенно улучшит показатели охвата аудитории, даст возможность развитию СМИ в первую очередь, входящих в федеральные мультиплексы, а также при медиавещании во взаимодействующих средах. Даст серьёзный старт к развитию и реализации новых перспективных проектов в цифровом телерадиовещании на территории РФ. Из существенных преимуществ данной системы может служить тот факт, что региональные средства массовой информации будут не только востребованы, как существующий ресурс, но и создадут значительную популярность федеральным СМИ, в их превращении в СМИ нового типа.

В создании СМИ нового типа будут работать все существующие методы региональной модификации. При преодолении стереотипов, сложив-

шихся в телерадиовещании СССР и РФ можно решить максимальное количество проблем, освещенных «Концепцией развития телерадиовещания в Российской Федерации на 2020–2025 годы».

Список используемых источников

1. Бучатский А. Н., Крюков В. А. Перспективная модель медиавещания для Российской Федерации – Метод централизованной доставки информации к сплайсерам объектов цифрового телевизионного и радиовещания для решения задачи региональной модификации мультиплексов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2021. Т. 2. С. 124–139.

2. Бучатский А. Н., Крюков В. А. Перспективная модель медиавещания Российской Федерации – Выход за рамки стереотипов // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций 2021 : материалы XXIII межд. науч. конф., Самара, 23–26 нояб. 2021 г. М. : V научный форум телекоммуникации: теория и технология, 2021. С. 12–15

*Статья представлена директор института магистратуры СПбГУТ,
канд. техн. наук, доцентом А. Н. Бучатским.*

УДК 621.397.44
ГРНТИ 49.45.31

О НЕОБХОДИМОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНДУСТРИИ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ В РФ

С. П. Куликов, Е. И. Туманова, С. Л. Федоров

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

При формировании и распространении медиаконтента задействовано оборудование, в основном, зарубежного производства. В связи с этим, возникают вопросы о необходимости обеспечения информационной безопасности технических комплексов производства, распространения и приема медиаконтента.

Рассматриваются элементы телевизионного тракта. Приводятся возможные векторы атак извне по отношению к аппаратно-студийному комплексу, оборудованию распространения программ телерадиовещания.

цифровое телерадиовещание, информационная безопасность, аппаратно-студийные комплексы, оборудование сети распространения, киберугрозы.

В настоящее время интернет является неотъемлемой частью жизни практически любого человека. Он используется как в обыденной жизни, так

и в профессиональной сфере. Из-за сложившейся сейчас обстановки и появления «недружественных» к России государств сеть интернет используется как орудие влияния не только на умы граждан, но и как инструмент «порчи» оборудования, которое, если говорить о телевизионной индустрии, к сожалению, практически полностью зарубежное. А ведь телевизионное вещание является одним из важнейших компонентов телекоммуникационной инфраструктуры, формирующих информационное пространство страны. Несмотря на интенсивное развитие инфокоммуникационных сетей, в том числе сети Интернет, более половины населения страны использует телевизионное вещание как основной источник получения новостной, политической, спортивной и культурной информации. Важным требованием к оборудованию телевизионного вещания является отказоустойчивость и обеспечение бесперебойной работы.

Тракт телерадиовещания представляет совокупность следующих функциональных узлов:

- телецентр (формирование медиаконтента);
- федеральный центр формирования мультиплексов;
- транспортная сеть (космический и наземный сегменты);
- региональные центры формирования мультиплексов (центры кодирования и мультиплексирования);
- приемно-распределительная наземная сеть эфирного телевидения;
- абонентская сеть (линейное телевидение, гибридное телевидение).

И каждый из этих узлов имеет соединение с сетью интернет, которая используется как для управления оборудованием, так и для потоковой трансляции сигнала.

Сети телевизионного вещания охватывают 100 % населения страны за счет совместного использования различных сред и технологий доставки телесигнала (кабельное, наземное, спутниковое вещание, IP телевещание, гибридное вещание).

Каналы телевизионного вещания используются для оповещения населения в условиях чрезвычайных ситуаций. Многократно отмечалось, что в условиях перегрузки при массовых событиях, наступлении чрезвычайных ситуаций, при информационных атаках качество обслуживания в телекоммуникационных сетях снижается вплоть до полного отказа. В таких условиях линейное телевизионное и радиовещание остаются единственными доступными средствами оперативного информирования и оповещения населения. Это подчеркивает важность обеспечения устойчивой работы телевизионного вещания и защиты от всех видов информационных атак.

Техническая база цифрового телевизионного студийного и внестудийного вещания (рис. 1) представляет совокупность сложных систем, состоя-

щих из аппаратно-программных средств, подключенных к каналам передачи данных, локальным сетям, сети интернет. В таблице 1 представлено оборудование и производители, задействованные на телецентрах.

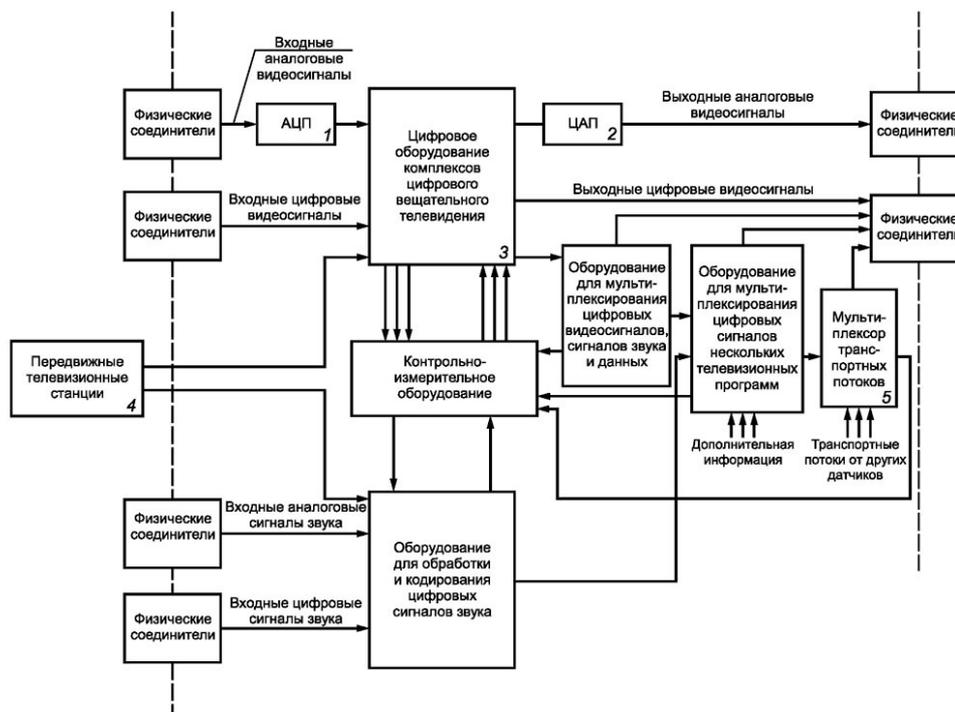


Рис. 1. Оборудование технической базы цифрового телевизионного студийного и внестудийного вещания [1]

ТАБЛИЦА 1. Иностранные производители телерадиовещательного оборудования (телецентр)

Оборудование	Производители
Видеосерверы	Harmonic, Cisco (США), Grass Valley (Канада), EVS (Бельгия)
Системы хранения данных	Harmonic, Oracle, IBM, Cisco (США)
Видеокамеры	Sony, Panasonic, Canon (Япония), Grass Valley (Канада), Blackmagic Design (США)
Служебная связь	Riedel, RTS (Германия), Clear-Com (США), Datavideo (Тайвань)
Видеомикшеры, эфирные свитчеры	Sony, Panasonic (Япония), Grass Valley, Ross video (Канада), Blackmagic Design (США)
Матричные видеокоммутаторы	Cisco, Blackmagic Design (США), Evertz, Grass Valley (Канада), Axon (Нидерланды)
Автоматизация телевидения	SkyLark, Grass Valley (Канада), EVS (Бельгия), Avenco (Чехия)
Графические системы оформления эфира	Datavideo (Тайвань), Avid (США), Vizrt (Норвегия), Ross video (Канада)
Видео- и аудиомонтаж	Avid, Apple, Blackmagic Design (США), Roland (Япония), Qsan (Тайвань)
Измерительное оборудование	Tektronix, Wohler, Leader (США), Datavideo (Тайвань)
Периферия	Tektronix, Harris (США), Evertz, Ross video (Канада)

Риски использования иностранного телерадиовещательного оборудования и ПО можно разделить на:

- санкционные (прекращение поставок, прекращение технической поддержки, отказ в продлении лицензий);
- информационные (телерадиокомпания предоставляет прямой доступ к оборудованию и ПО с момента установки, все оборудование открыто по прямому доступу (перехват, управление, закладки)).

Уязвимость оборудования производственно-технических комплексов телевизионного вещания к информационным атакам извне может возникать по ряду причин. В числе наиболее вероятных можно отметить следующие:

- вывод из строя аппаратных или программных модулей/подсистем аппаратно-студийного комплекса (АСК);
- нештатный режим работы оборудования АСК (например, повышенный температурный режим или другие негативные тенденции функционирования);
- загрузка аппаратно-программных комплексов с нештатного ПО;
- воздействие через линейные порты телекоммуникационного оборудования на систему управления АСК;
- подбор аутентифицирующей информации пользователей со стороны потенциальных нарушителей;
- получение несанкционированного доступа (НСД) к системе управления телекоммуникационного оборудования АСК, путем получения аутентификационной информации;
- получение НСД к системе управления АСК путем обхода механизма авторизации;
- несанкционированное изменение конфигурации АСК;
- модификация файлов ПО АСК;
- модификация или уничтожение ведущихся в электронном виде регистрационных протоколов (журналов регистрации);
- целенаправленное искажение команд управления, передаваемых по каналам связи, не защищенным от НСД к информации организационно-техническими мерами;
- навязывание ложных (специально сформированных нарушителем) команд управления через каналы связи, не защищенные от НСД к информации организационно-техническими мерами;
- нарушение связи между рабочими местами за счет преднамеренной загрузки трафика ложными сообщениями, приводящей к исчерпанию пропускной способности каналов связи, не защищенных от НСД к информации организационно-техническими мерами;
- атаки, направленные на рассинхронизацию устройства;

▪ преднамеренное внесение в прикладное программное обеспечение вредоносных кодов (программные закладки) при сопровождении прикладного программного обеспечения.

Конечно, отечественные производители аппаратно-программных комплексов телевизионного вещания представлены на телецентрах страны, но предлагаемая ими линейка решений пока еще не достаточна для полной замены имеющегося зарубежного оборудования. В качестве отечественных производителей можно отметить фирму «ПРОФИТТ» (профессиональное ТВ оборудование), компанию «BRAM Technologies» (разработка цифровых телевизионных систем).

Анализ оборудования (табл. 2) центров кодирования и мультиплексирования показал, что в данных частях ТВ тракта концентрация отечественного оборудования выше, чем в АСК телецентров, но все же не обеспечивает полное импортозамещение зарубежного оборудования, что, несомненно, может рассматриваться как слабое звено с точки зрения киберугроз.

ТАБЛИЦА 2. Производители телерадиовещательного оборудования (центры кодирования и мультиплексирования)

Оборудование	Производители
Видеосерверы	Harmonic, Cisco (США), Grass Valley (Канада), EVS (Бельгия), StreamLabs (Россия)
Спутниковые приемники	Harmonic, Cisco (США), LCT (Китай), Ericsson (Швеция), RTM (Россия)
Кодеры	Harmonic, Cisco (США), Synamedia (Великобритания), WISI (Германия), LCT (Китай), Elecard (Россия)
Мультиплексоры	Harmonic, Cisco (США), Synamedia (Великобритания), StreamLabs (Россия), Elecard (Россия)
DVB-T2 шлюзы	Harmonic (США), Enensys (Франция), Nevion (Норвегия)
Реплейсеры, Сплайсеры	Enensys (Франция), Nevion (Норвегия), Qualitteq (Россия)
Спутниковые модуляторы	Newtec (США)
Резерваторы	Enensys (Франция), Nevion (Норвегия), StreamLabs, Profitt, ЛЭС-ТВ (Россия)
Усилители-распределители	StreamLabs, Profitt, ЛЭС-ТВ (Россия)
Серверы точного времени	Metrotek, Триада-ТВ, Profitt (Россия), Oscilloquartz (Швейцария)
Матричные видеокоммутаторы	Halo, Cisco, Blackmagic Design (США), Grass Valley (Канада), Axon (Нидерланды), Profitt (Россия)
Передатчики	Elti (Словения), Harris/GatesAir (США), МАРТ, Триада-ТВ (Россия)
Измерительное оборудование	Rohde&Schwarz, Tektronix (США), Anritsu (Япония), StreamLabs, Planar (Россия)
Сетевое оборудование	Cisco, HP (США), D-Link (Тайвань), MikroTik (Латвия), Eltex (Россия)

Требования к вещательному оборудованию могут быть сформулированы следующим образом:

- оборудование должно иметь разграничение прав доступа;
- оборудование должно отвечать требованиям безопасности и конфиденциальности передаваемой информации;
- используемое программное обеспечение должно быть внесено в Реестр Российского программного обеспечения;
- приемное оборудование должно обеспечивать совместимость с системой ГОСТ-крипт;
- базы данных оборудования должны храниться на территории Российской Федерации;
- все каналы связи от оборудования до глобальной сети Интернет должны быть организованы через межсетевые экраны, имеющие сертификаты ФСТЭК.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 52722-2007. Каналы передачи цифровых телевизионных сигналов аппаратно-студийного комплекса и передвижной телевизионной станции цифрового вещательного телевидения. Основные параметры и методы измерений. М. : Стандартинформ, 2007, 22 с.

УДК 621.391
ГРНТИ 49.43.31

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КООПЕРАТИВНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

А. Н. Ликонцев, Д. А. Нев

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

Технологии спутниковой связи – следующий шаг развития связи. Постоянно появляются все больше систем и алгоритмов для улучшения качества связи, в том числе и в кооперативных спутниковых сетях. Следует выделить систему «High Throughput Satellite» (HTS), особенность которой заключается в использовании точечных лучей, позволяющих сконцентрировать мощности в нужных зонах обслуживания. Благодаря этому, данная система может обеспечить более высокую пропускную способность по сравнению с обычными. В настоящем докладе рассмотрены основные пути повышения качества кооперативных спутниковых систем.

АСМ, HTS, кооперативные спутниковые системы, адаптивная модуляция.

Введение

По мере увеличения спроса на связь требуется, чтобы связь обеспечивала пользователям надежное и высокоскоростное обслуживание, независимо от того, где и когда пользователи в этом нуждаются. Хотя наземные сети сотовой мобильной связи могут предоставлять услуги связи мобильным пользователям, они ограничены охватом сотовой связи, стоимостью и так далее.

Актуальность

Спутниковая связь обладает следующими достоинствами: большая площадь покрытия и дальность связи, быстрое развертывание и слабая зависимость от наземных средств. Она уже сыграла незаменимую роль в области связи на большие расстояния, определения местоположения и навигации, а также оказания помощи в случае стихийных бедствий. Однако прямые линии связи со спутника на земные терминалы могут быть не всегда доступны из-за затухания. Для решения вышеупомянутых проблем была внедрена и интегрирована в спутниковые сети кооперативная передача в качестве эффективной стратегии расширения зоны охвата спутниковой связи, а также повышения энергоэффективности. Например, как правило, земные станции рассматриваются в качестве ретрансляторов для обеспечения связи между спутниковыми и наземными терминалами (в случае их гибридного использования), что может не только повысить уровень охвата спутниковых сигналов, но и обеспечить усиление разнесения для улучшения качества приема на наземных терминалах.

Мобильная спутниковая связь вызвала большой интерес и рассматривается как способ предоставления услуг связи. Помимо широкого охвата, высокой пропускной способности связи, поддержки связи на большие расстояния и так далее, спутниковая связь обладает преимуществом поддержки мобильных пользователей. Более того, на эту коммуникационную стратегию не влияет рельеф местности, и ее стоимость не увеличивается с расстоянием до конечных пользователей.

На данный момент существует множество технологий по улучшению качества связи в кооперативных спутниковых системах (КСС). В данной статье я их рассмотрю и приведу возможные варианты их совместного использования [1, 2].

Особенности технологий, применяемых в КСС

Телекоммуникационные технологии в спутниковых системах совершенствуются с каждым витком технологической эволюции. Новые поколе-

ния становятся производительней и рано или поздно заменяют своих предшественников. Например, сейчас во всё большем количестве спутников используется система *HTS*.

Системы *HTS* (High Throughput Satellite) – спутник, пропускная способность которого превышает во много раз пропускную способность обычных спутниковых систем при том же диапазоне и объеме частот, выделенных спутнику. Это достигается благодаря технологии точечных лучей – *spot beam*. Преимуществом точечных лучей является то, что в отличие от широких лучей, они покрывают малые зоны, что повышает пропускную способность и позволяет переиспользовать частоты. Уменьшение ширины луча приводит к увеличению мощности, что позволяет использовать более компактные пользовательские терминалы и более высокоуровневую модуляцию, благодаря чему можно добиться высокой спектральной эффективности.

Системы *HTS* имеют высокую направленность антенн это позволяет нескольким лучам повторно использовать одни и те же частоты. Увлечение количества зон позволяет «отдалить» переиспользованные частоты и уменьшить частотную интерференцию. Однако непрерывное покрытие заданной области требует перекрытия лучей, под которым подразумевается использование разных частот и поляризаций в смежных лучах во избежание интерференции.

Повысить пропускную способность можно разными способами, но основной это повышение уровня модуляции и кодирования. Чтобы одновременно повысить спектральную эффективность и помехоустойчивость применяется адаптивное кодирование и модуляция [3–5].

Адаптивное кодирование и модуляция (ACM) представляет собой способ передачи данных, в которой приемник обеспечивает обратную связь по качеству принимаемых данных и адаптируется к данным кодирования и данные модуляции канала передачи данных. ACM адаптирует используемый порядок модуляции, а также использует код прямой коррекции ошибок. Всё это влияет на спектральную эффективность, выражаемую в битах в секунду на Герц. Корректировки происходят в зависимости от зашумленности или других нарушений на линии. *ACM* применяется в *DVB - S2X*.

DVB – S2X является расширением стандарта цифрового спутникового вещания *DVB-S2*. Модуляция в *DVB – S2X* может меняться от *QPSK* до *32-APSK*. Чрезмерное увеличение уровня модуляции приводит к увеличению

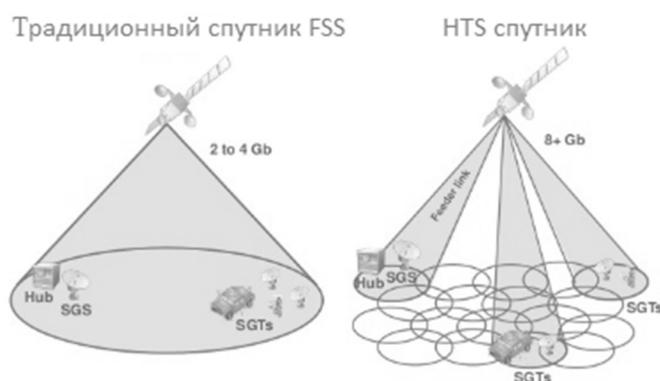


Рис. 1. FSS и HTS спутники

цены оборудования как со стороны передатчика, так и со стороны приемника, поэтому одним лишь увеличением уровня модуляции не улучшить качество в кооперативных спутниковых сетях.

Существует закон Шеннона-Хартли, который описывает теоретический верхний предел скорости передачи битов в канале, в котором безошибочной передачи данных можно добиться с определенной вероятностью. То есть пропускная способность канала C с аддитивным белым гауссовым шумом является функцией средней мощности принятого сигнала S , средней мощности шума N и ширины полосы пропускания W . Выражение для пропускной способности можно записать следующим образом.

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right).$$

Все новые технологии в той или иной мере приводят к повышению СЭ, что влечет за собой повышение пропускной способности, а соответственно и качества в кооперативных спутниковых системах [6].

Повышение спектральной эффективности адаптивной модуляции, применяемой в DVB – S2X

Для начала считаю нужным рассмотреть предел Шеннона. Ниже представлен его график. Для полосы пропускания 1 Гц.

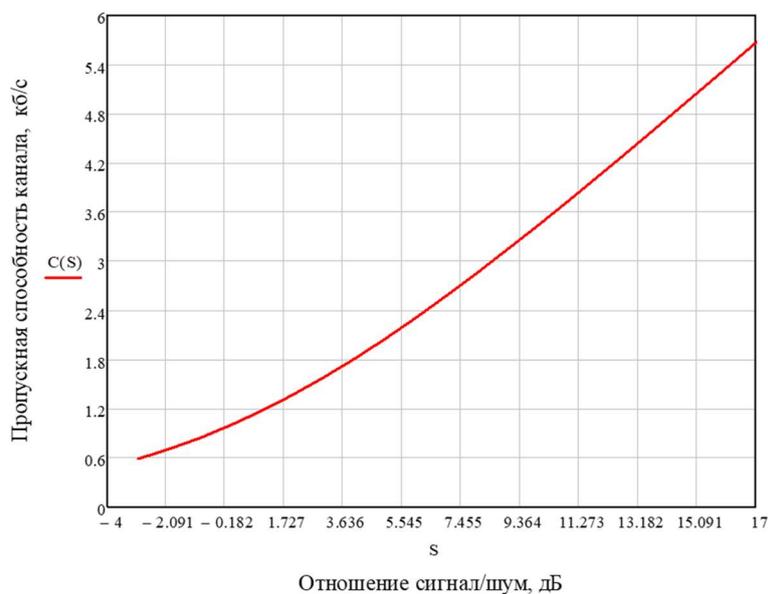


Рис. 2. Предел Шеннона

Для дальнейшего исследования требуется найти спектральную эффективность адаптивной модуляции применяемой в DVB – S2X

$$\gamma = \frac{R}{W}$$

где R – это скорость передачи данных в нашем случае она равна произведению кодовой скорости и количества бит, приходящихся на один символ. На рис. 3 представлен график с пределом Шеннона и СЭ адаптивной модуляции применяемой в DVB – S2X.

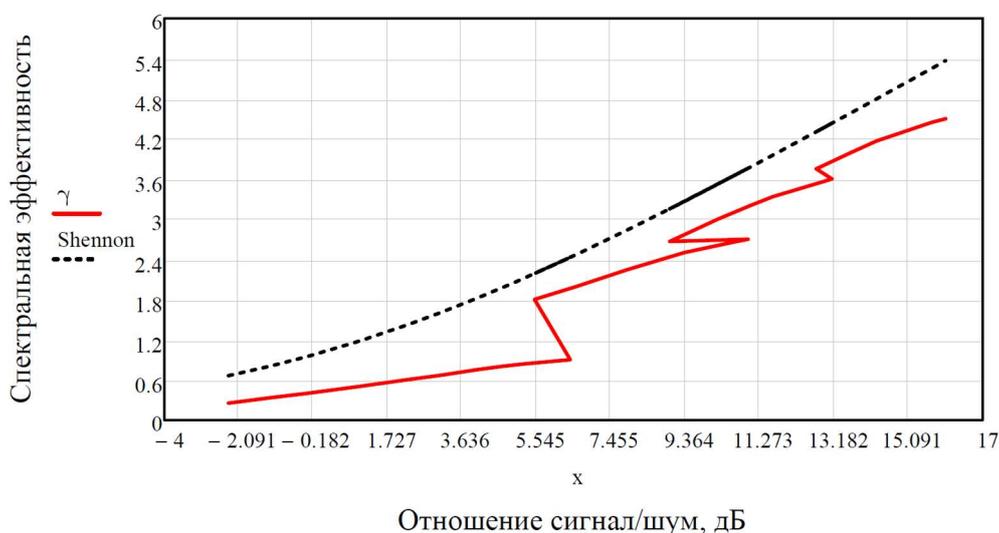


Рис. 3. Пределе Шеннона и график СЭ адаптивной модуляции применяемой в DVB - S2X

На графике СЭ видно, что модуляция у DVB - S2X выглядит как ломаная линия. Если уменьшить количество ступеней модуляции, то это делает график более сглаженным. Также добавим еще одну ступень модуляции более высокого уровня: 64-APSK.

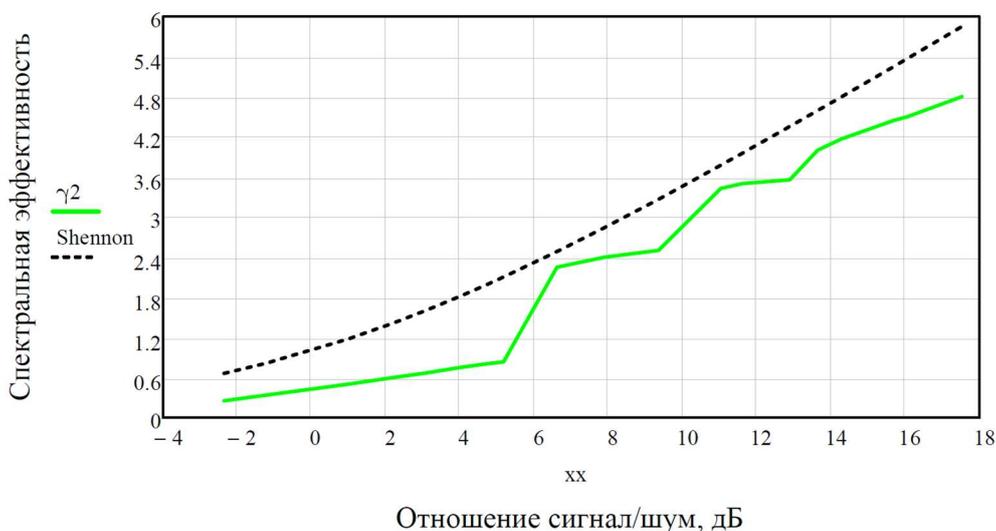


Рис. 4. Пределе Шеннона и график СЭ предлагаемой адаптивной модуляции

На графике СЭ предлагаемой модуляции для КСС видно, что график стал менее ломанным. График модуляции DVB - S2X был ломанным т. к. модуляции, применяемые в нем, требовали определенное отношение сигнал/шум и за частую эти значения пересекались, что могло усложнять автоматический выбор модуляции. В приведенной мной модуляции это было учтено и из модуляций значения сигнал/шум для которой пересекалось была выбрана более спектрально-эффективная. Это позволит упростить автоматический выбор модуляции т. к. при изменении отношения сигнал/шум не будет возникать ситуаций, когда при одном и том же значении могло быть несколько модуляций [7].

Вывод

В КСС для повышения качества можно увеличивать уровни модуляции, но это приведет к удорожанию и увеличению размеров как приемных, так и передающих устройств. Другим вариантом повышения качества является адаптивная модуляция. Для повышения качества в КСС на данный момент надо улучшать адаптивную модуляцию тем самым повышая СЭ, а соответственно и пропускную способность.

Вариант адаптивной модуляции, представленный мной, имеет скорее линейный вид, а не ступенчатый как у DVB – S2X на котором основан мой вариант. Благодаря этому удастся добиться более линейного переключения модуляций, а соответственно сделать этот выбор для аппаратуры проще.

Список используемых источников

1. Gaofeng Pan, Jia Ye «Performance Analysis and Optimization of Cooperative Satellite-Aerial-Terrestrial Systems», 2020.
2. Gengrun Wang, Bangning Zhang, Kegang Pan, Aijun Liu, Daoxing Guo « A Cooperative Mobile Satellite Communication System with the Dynamic Space-Time Coding» Hindawi Publishing Corporation, 2015.
3. Гриценко А., Спутниковые системы класса HTS // Connect.wit. 2017. № 4.
4. Колюбякин В., HTS – панацея или плацебо? // Телеспутник. апрель 2017. № 4 (258).
5. Текстовая версия видеолекции Intelsat «Лекция по технологиям HTS», 2013
6. Федоров, В. К. Стандарты цифрового телевидения первого поколения. Москва: ДМК Пресс, 2015
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Москва, Санкт-Петербург, Киев: Издательский дом «Вильямс», 2003.

УДК 621.396.13
ГРНТИ 49.33.01

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ОТКАЗА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНОСТРАННЫХ СПУТНИКОВ СВЯЗИ

А. Н. Ликонцев, В. А. Осипова

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

В 2022 г. прекращает действие соглашение, согласно которому России были выделены частоты для подключения пользователей к интернету по технологии VSAT через иностранные спутники. В докладе дается краткий обзор текущей ситуации, а также рассматривается возможность отказа от использования ресурсов иностранных спутников связи, вероятные трудности и последствия для операторов и абонентов. Разработка проектов по импортозамещению в отрасли ведётся уже несколько лет, и за это время Россия сумела расширить парк отечественных спутников связи, поэтому трудностей и перебоев с доступом в интернет в ближайшее время ожидать не стоит.

спутниковые системы связи, отказ от иностранных спутников, импортозамещению в области связи.

Отказ от использования иностранных спутников связан с прекращением срока действия соглашения, подписанного на пять лет Госкомиссией по радиочастотам (ГКРЧ) летом 2017 года. Согласно тексту соглашения России разрешается использовать ряд диапазонов частот для обеспечения абонентов интернетом с использованием технологии VSAT через 32 иностранных спутника связи, которые принадлежат телекоммуникационным операторам Intelsat (США), Eutelsat (Франция), Asia Broadcast Satellite (Бермуды) и JCSa (Япония) [1].

Технология VSAT в России используется для связи в отдаленных районах компаниями, банками и операторами связи [2]. Таким образом, сложности могут возникнуть у провайдера спутникового интернета, который на Дальнем Востоке предоставляет услуги, используя спутники JCSat-4B и Horizons 3E (Intelsat). Альтернативой этим спутникам могут стать отечественные спутниковые группировки. В середине декабря 2021 г. на орбиту были выведены два аппарата Экспресс-АМУ3 и Экспресс-АМУ7. Ожидается, что эти спутники будут обеспечивать связь, цифровое телевидение и высокоскоростной интернет [3].

Так же остается функционирующей группировка «Ямал», созданная и развиваемая АО «Газпром космические системы» и предназначенная для

обеспечения фиксированной связью и доступом к высокоскоростному интернету жителей на территории России, а также стран СНГ, Европы, Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии. В настоящее время созвездие насчитывает пять спутников связи, находящихся на геостационарной орбите [4].

На рис. 1 и 2 показаны зоны покрытия спутников JCSat-4B и Horizons 3E и отечественных спутников Экспресс-АМУ3 и Экспресс-АМУ7 [5] соответственно.

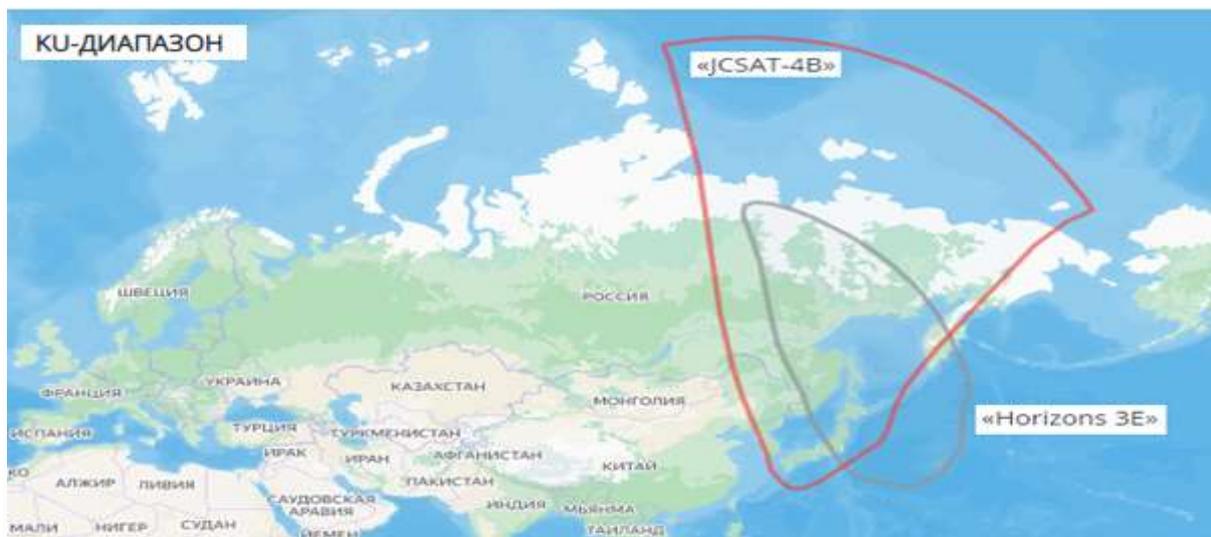


Рис. 1. Зоны покрытия JCSat-4B и Horizons 3E

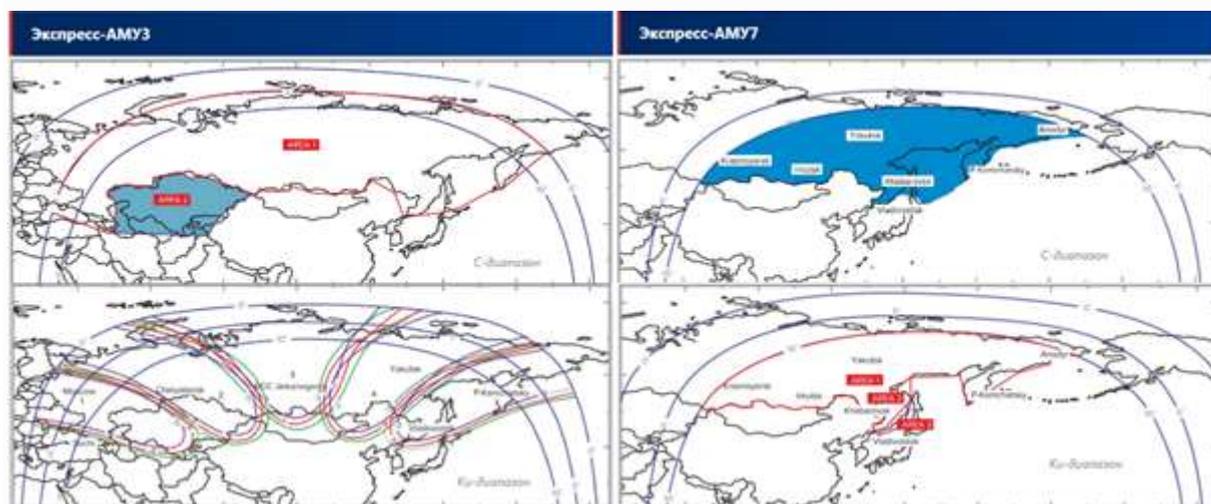


Рис. 2. Зоны покрытия спутников Экспресс-АМУ3 и Экспресс-АМУ7

Можно увидеть, что наши спутники имеют зону покрытия, полностью перекрывающую отдаленные районы.

Таким образом, для перехода на отечественные спутники операторам связи потребует изменять положение антенн на своих базовых станциях.

Пример расчета положения антенны, находящейся в Южно-Сахалинске ($46^{\circ}57'$ с. ш. $142^{\circ}44'$ в. д), для приема сигналов со спутника Horizons 3E (169° в.д.) и Экспресс-АМУЗ (103° в.д.). Для расчёта азимута φ и угла места β воспользуемся формулами (1) и (2).

$$\varphi = 180^{\circ} + \tan^{-1}[\tan(\text{Дзс} - \text{Дс}) / \sin \text{Шзс}] \quad (1)$$

$$\beta = \tan^{-1}[(\cos \rho - 0,15105) / \sin \rho], \quad (2)$$

где $\rho = \cos^{-1}[\cos(\text{Дзс} - \text{Дс}) \times \cos \text{Шзс}]$, Д и Ш соответственно долгота и широта земной станции и подспутниковой точки.

Таким образом, для работы со спутником Horizons 3E антенна должна быть настроена:

по азимуту $\varphi = 180^{\circ} + \tan^{-1}[\tan(142^{\circ}44' - 169^{\circ}) / \sin 46^{\circ}57'] = 146^{\circ}$,
по углу места при $\rho = \cos^{-1}[\cos(142^{\circ}44' - 169^{\circ}) \times \cos 46^{\circ}57'] = 52,2$,
 $\beta = \tan^{-1}[(\cos 52,2 - 0,15105) / \sin 52,2] = 30^{\circ}$.

Необходимое положение антенны для приема сигнала со спутника Экспресс-АМУЗ следующее:

по азимуту $\varphi = 180^{\circ} + \tan^{-1}[\tan(142^{\circ}44' - 103^{\circ}) / \sin 46^{\circ}57'] = 229^{\circ}$,
по углу места при $\rho = \cos^{-1}[\cos(142^{\circ}44' - 103^{\circ}) \times \cos 46^{\circ}57'] = 58,5$,
 $\beta = \tan^{-1}[(\cos 58,5 - 0,15105) / \sin 58,5] = 24^{\circ}$.

Полученные значения угла места антенны для разных спутников отличаются не значительно, что говорит об одинаково хорошей видимости обоих спутников в расчетной точке.

Однако в труднодоступных местах и местах, находящихся на границе зоны покрытия, в тайге или в горах возможно снижения качества связи, из-за чего трудности могут возникнуть, например, у туристов, которые находятся там. Воспользоваться иностранными спутниками, такими как StarLink или OneWeb, станет сложнее после введения штрафа за пользование зарубежным спутниковым интернетом [6] и ужесточения антироссийских санкций.

В связи с общемировой напряженной экономической и политической обстановкой и прекращением сотрудничества с отдельными странами появилась вероятность ограничения работы GPS в России.

Отечественная система ГЛОНАСС технически не уступает аналогичным зарубежным комплексам, а все современные приборы успешно работают с российскими спутниками. Отключение России от GPS, по мнению специалиста, может привести к небольшим сложностям, но не к остановке

работы оборудования. Трудности могут возникнуть исключительно у пользователей, имеющих устаревшие устройства, которые не имеет возможности сменить систему или выбрать источник данных. Такие приборы будут неверно определять собственное положение с погрешностью до нескольких километров, и использование подобных устройств естественно теряет смысл [7].

В целом вопрос отказа от использования иностранных спутников связи неразрывно связан интересами национальной безопасности. Дело в том, что отечественные спецслужбы выступают против использования космических аппаратов, относящихся к юрисдикции других стран [3], полагая, что иностранные спутники могут применяться для сбора разведанных. В этой ситуации единственный способ противостоять угрозам иностранных спутниковых сетей, особенно в Арктическом регионе и на Крайнем Севере, - это ограничить их использование в России. В связи с этим приостановлен совместный проект с OneWeb, предполагавший запуск 35 британских спутников связи с космодрома Байконур в Казахстане в марте 2022 г. [8].

Но, тем не менее, не исключается возможность создания аналогичной сети в партнерстве с дружественными странами, такими как Индия и Китай [9].

Принуждение операторов к формированию и использованию отечественных спутниковых систем было начато еще в 2019 г. Первым этапом стало постановление Правительства, возлагающее на российских операторов связи, использующих зарубежную спутниковую систему, обязанность по формированию отечественного ее аналога [10]. И вот 06.03.2022 г. был подписан соответствующий законопроект, предусматривающий наказание в виде штрафа в размере от 500 тысяч до 1 миллиона рублей для юридических лиц [11]. Очевидно, что такие меры повлекут за собой удорожание услуг для абонентов.

По мнению участников рынка и экспертов, отказ от использования зарубежных спутников не должен сильно сказаться на российских пользователях, т.к. в последние годы наблюдается устойчивое развитие спутниковых группировок российских ФГУП «Космическая связь» и «Газпром космические системы», одновременно с этим в отдаленные регионы приходят оптические линии связи. А из 32 спутников, перечисленных в постановлении 2017 года, некоторых уже нет на орбите [2]. Так же к 2024 году должна заработать отечественная многофункциональная спутниковая система «Сфера», которая позволит раздавать высокоскоростной интернет из космоса на Землю. Программа рассчитана на период до 2030 г. и будет включает в себя пять спутниковых группировок, необходимых для телекоммуникации, и еще пять для дистанционного зондирования Земли [3].

Полный переход на отечественные спутники связи может привести к монополизации отрасли, так как в России нет частных коммерческих организаций, занимающихся созданием спутниковых группировок, что в свою очередь тоже может повлиять на качество и стоимость услуг связи для абонентов.

Рассматривая возможные последствия отказа от использования иностранных спутников связи, можно сделать вывод о том, что в ближайшее время возможно незначительное снижения качества связи в отдаленных регионах, так же вероятно повышение стоимости услуг. Однако трудностей и перебоев с доступом в интернет ожидать не следует, поскольку вопрос импортозамещения в отрасли прорабатывался уже давно, и за это время Россия сумела нарастить отечественные спутниковые группировки и обеспечить удаленные районы оптическими линиями связи. В долгосрочной же перспективе использование исключительно отечественного оборудования будет способствовать развитию собственных технологий, организации современных производственных площадок и созданию новых рабочих мест, что в свою очередь должно привести к снижению стоимости оборудования, и как следствие снижению тарифов. А самое главное в сложившейся ситуации то, что отказ от использования иностранных ресурсов позволит полностью исключить зависимость от решений других участников рынка.

Список используемых источников:

1. Достоевский Г. Эксперт: отказ РФ от иностранных спутников неуютен лишь военным и туристам-экстремалам // Инфо24. URL: <https://info24.ru/news/ekspert-otkaz-rf-ot-inostrannyh-sputnikov-neugoden-lish-voennym-i-turistam-ekstremalam.html> (дата обращения: 18.01.2022).
2. Батыров Т. СМИ узнали о проработке в России отказа от иностранных спутников // Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/452363-smi-uznali-o-prorabotke-v-rossii-otkaza-ot-inostrannyh-sputnikov> (дата обращения: 18.01.2022).
3. Борисова М. Россия может отказаться от иностранных спутников. Мы останемся без связи? // Ямал-медиа. URL: <https://yamal-media.ru/narrative/rossija-mozhet-otkazatsja-ot-inostrannyh-sputnikov> (дата обращения: 26.01.2022).
4. Ямал (спутниковая группировка). URL: [https://www.hmong.press/wiki/Yamal_\(satellite_constellation\)](https://www.hmong.press/wiki/Yamal_(satellite_constellation)) (дата обращения: 25.03.2022).
5. Запуск космических аппаратов «Экспресс-АМУ3» и «Экспресс-АМУ7». URL: <https://www.roscosmos.ru/33444/> (дата обращения: 25.03.2022).
6. Ганиев Р. За использование спутникового интернета Starlink в России планируется штрафовать до 1 миллиона рублей. URL: <https://hi-news.ru/technology/zaispolzovanie-sputnikovogo-interneta-starlink-v-rossii-planiruetsya-shtrafovati-do-1-milliona-rublej.html> (дата обращения: 26.03.2022).
7. Соловьева Я. Эксперты рассказали о последствиях возможного отключения России от GPS. URL: <https://mskgazeta.ru/obshchestvo/eksperty-rasskazali-o-posledstviyah-vozmozhnogo-otklyucheniya-rossii-ot-gps-9864.html> (дата обращения: 26.03.2022).
8. Россия запустит британские спутники связи OneWeb с Байконура 5 марта // ТАСС. URL: <https://tass.com/science/1383599> (дата обращения: 26.01.2022).

9. Moscow To Deny OneWeb Satellite Broadband Access To Russia To Preserve Internet Sovereignty // Spacewatch.global. URL: <https://spacewatch.global/2018/10/moscow-to-deny-oneweb-satellite-broadband-access-to-russia-to-preserve-internet-sovereignty/> (дата обращения: 27.01.2022).

10. Касми Э. Операторов завалят штрафами за нежелание отказаться от иностранных спутников в пользу российских // CNews. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-10_operatorov_zavalyat_shtrafami (дата обращения: 27.01.2022).

11. Егоршева Н. В России вводится миллионный штраф для операторов, использующих иностранные спутники связи. URL: <https://rg.ru/2022/03/06/v-rossii-vvoditsia-millionnyj-shtraf-dlia-operatorov-ispolzuiushchih-inostrannye-sputniki-sviasi.html> (дата обращения: 20.03.2022).

УДК 621.396.962
ГРНТИ 47.49.43

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ОПТИЧЕСКОГО ЛОКАТОРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

А. Н. Ликонцев, Е. И. Червинко

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

В настоящее время любой радиолокатор – это достаточно сложная, дорогая и габаритная система, чаще всего это военная разработка, использовать которую в научно-образовательных целях вузам практически невозможно. В связи с этим студенты, изучая такие курсы, как “Основы радиолокации и радионавигации” и другие не имеют возможности получить практический опыт из-за отсутствия действующего оборудования, которое может симулировать работу радио локационной станции (РЛС). Для улучшения усвояемости курса целесообразно проводить исследования с использованием действующего макета РЛС. В связи с этим возникла потребность разработки малогабаритного макета с возможностью симулирования основных функций РЛС, при этом макет должен определять объекты, эффективная площадь рассеяния которых не будет превышать нескольких квадратных сантиметров. В настоящей статье рассмотрен процесс разработки такого макета с использованием оптическогоToF-датчика расстояния VL53L1X, а также приведен рабочий прототип устройства.

радиолокационные системы, оптические локационные системы, Arduino, разработка лабораторного стенда.

В качестве излучателя и приемника отраженных сигналов был использован модуль оптического TOF-датчика расстояния VL53L1X [1], основанный на технологии FlightSense [2], разработанный компанией STMicroelectronics. В отличие от традиционных инфракрасных датчиков, которые измеряют количество отраженного света и зависят от отражающей

способности поверхности объекта, датчики FlightSense напрямую измеряют расстояние до объекта по времени отражения испускаемых фотонов, что позволяет точно определять расстояние, независимо от характеристик поверхности объекта.

Принцип работыToF-датчиков представлен на рис. 1. Лазерный диод излучает фотоны, а фотодетектор регистрирует отраженный луч. По времени, за которое фотоны отражаются от объекта и попадают на фотодетектор, датчик определяет расстояние по следующей формуле:

$$R = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (1)$$

где c – скорость света, t – время между отправкой и приемом светового импульса.

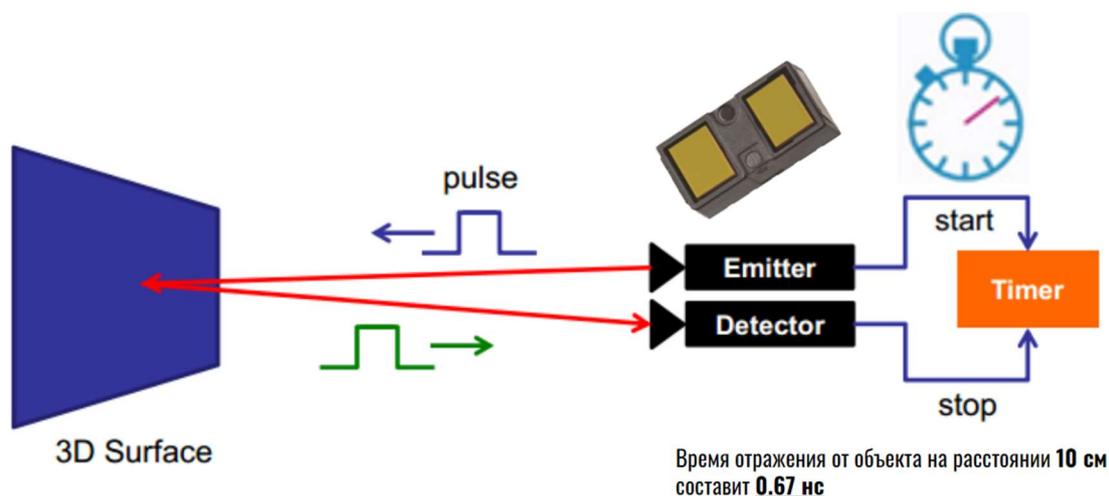


Рис. 1. Принцип работыToF-датчика

В основу конструкции и принципа работы макета включено следующее:

- ToF-модуль устанавливается на ось привода, углом поворота которого управляет контроллер;
- одновременно с постепенным поворотом оси привода датчик измеряет расстояние и отправляет информацию на контроллер;
- после этого с помощью программного обеспечения (ПО) рассчитывается вектор $R(\varphi)$, где φ – текущий угол поворота оси привода;
- на основании полученных данных на компьютере формируется график функции $R(\varphi)$ в полярной системе координат.

Таким образом будет осуществляться сканирование горизонта локатора и вывод его на экран компьютера (рис. 2).

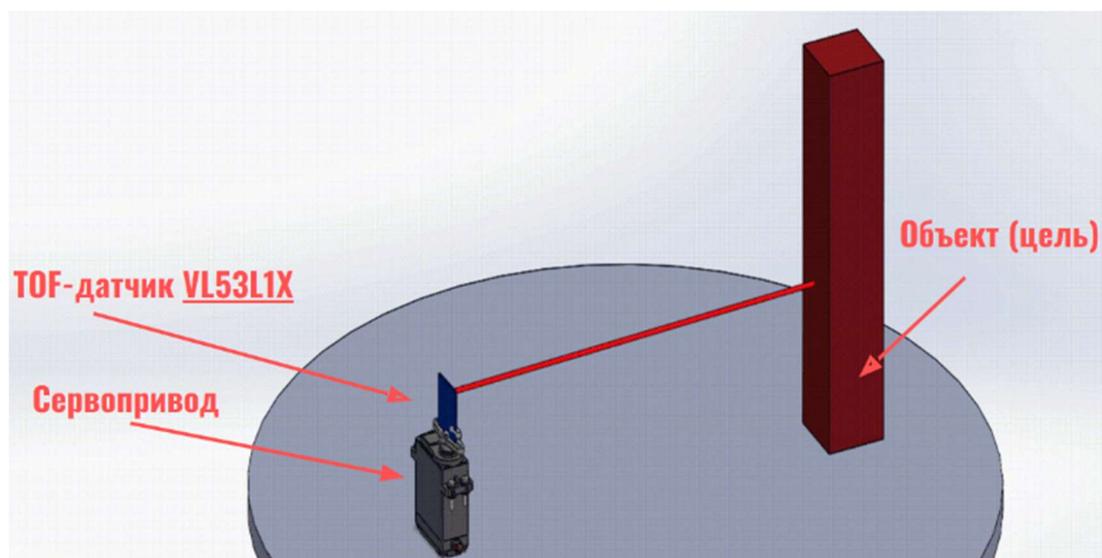


Рис. 2. Модель работы датчика на приводе и определение объекта перед ним

Макет должен работать в следующих трех режимах:

- 1) Режим одиночных измерений.
- 2) Режим радара (построение функции $R(\varphi)$ в полярных координатах).
- 3) Режим измерения поступательной скорости движения объекта.

Для плавного поворота ToF-модуля был выбран сервопривод MG995, угол поворота оси которого управляется с помощью ШИМ-сигнала. Выбранный под макет контроллер Arduino Uno [3] как раз обладает возможностью генерирования ШИМ-сигналов. Максимальный угол поворота данного сервопривода – 180° – именно в таком диапазоне предполагается проводить сканирование объектов. Структурная и принципиальная схемы представлены на рис. 3.

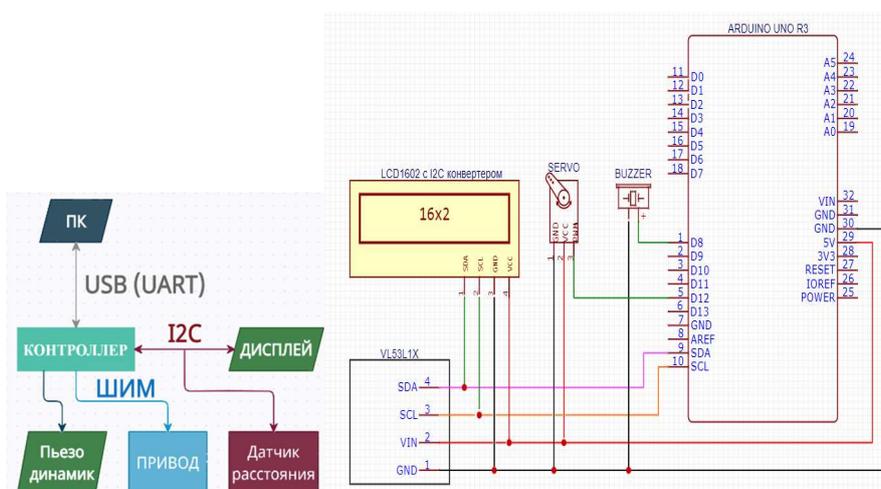


Рис. 3. Структурная и принципиальная схема устройства

Для объединения всех модулей в конечное устройство, был спроектирован корпус в САПР SolidWorks, и далее был вырезан из оргстекла на лазерном ЧПУ станке в НОЦ «ТИОС» (рис. 4).

Для организации связи контроллера с компьютером был использован протокол дуплексной периферийной связи UART [4] и разработана программа для Arduino IDE, а для интерактивно понятной работы с макетом на компьютере было написано приложение на языке программирования Python. Разработанное ПО позволило получить наглядные результаты измерений в разных режимах (рис. 5). Также на основе большой выборки с измерениями известного расстояния, было выявлено, случайный процесс измерений имеет гауссов закон распределения (рис. 6–7).



Рис. 4. Внешний вид собранного устройства

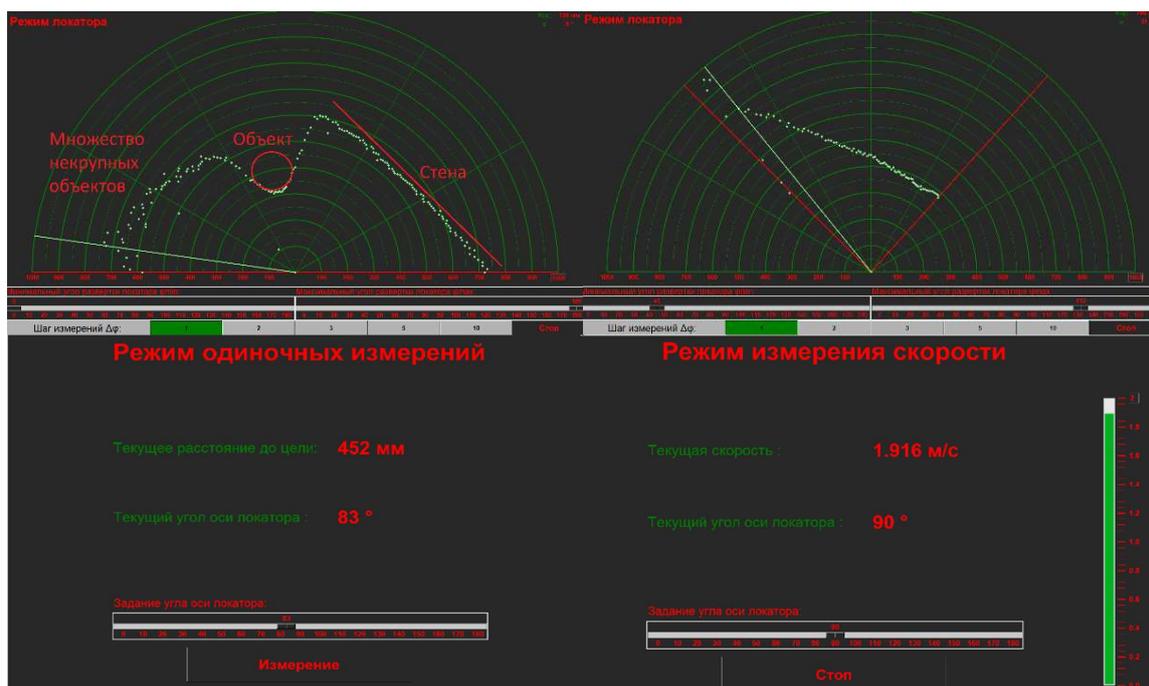


Рис. 5. Программное обеспечение разработанное для устройства

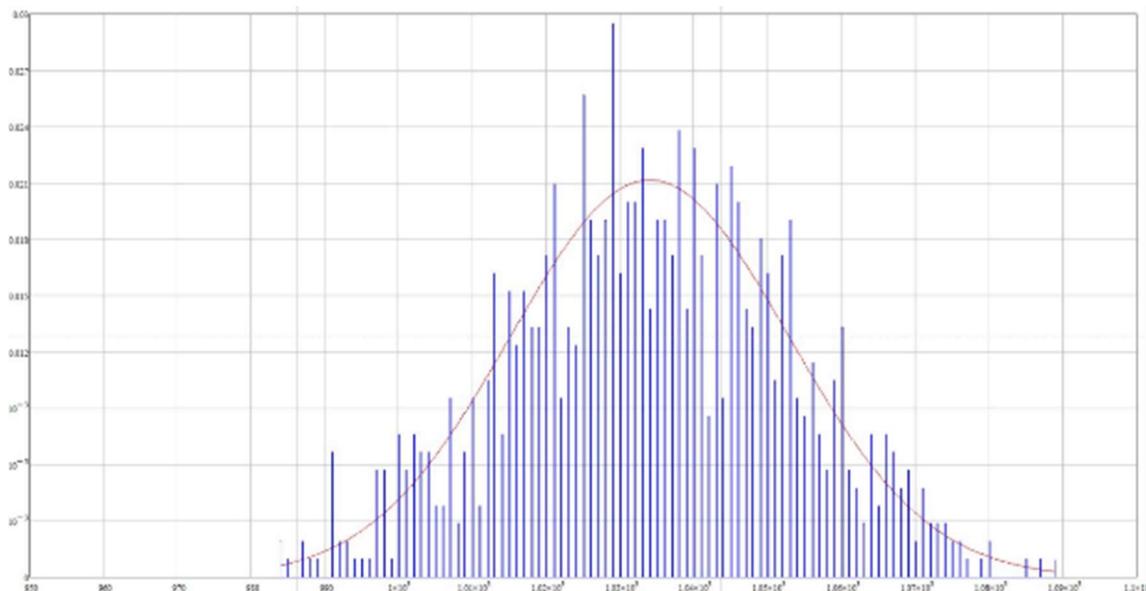


Рис. 6. Функция плотности распределения R при известном расстоянии 1 м

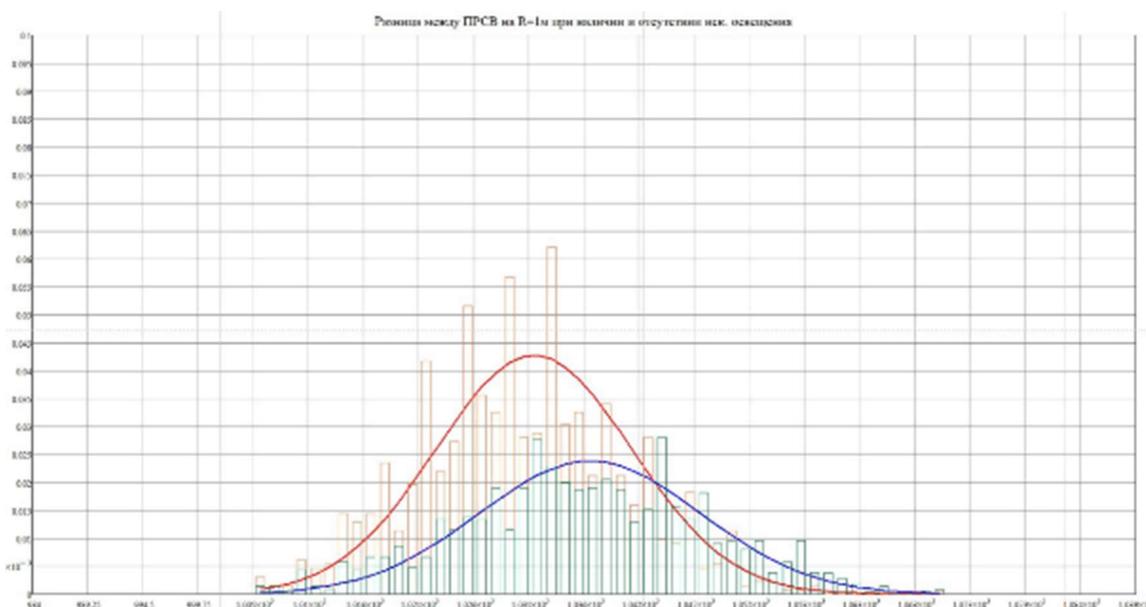


Рис. 7. Функции плотности распределения R при наличии и отсутствии искусственного света (красным отмечена ФПР от значений, которые были получены в то время, когда свет в помещении был выключен)

В настоящее время проводится постановка лабораторной работы с использованием данного устройства, в которой предусмотрено ознакомления с основными принципами радиолокации и проведения исследований статистических характеристик устройства в зависимости от освещенности помещения и условий поглощения объектами светового потока и др. Лабораторную работу планируется проводить в рамках дисциплины «Основы радиолокации и радионавигации» на кафедре радиосистем и обработки сигналов.

Список используемых источников

1. Лазерные датчики ST: измерение расстояния до объекта стало более надежным и быстрым. URL: <https://www.compel.ru/lib/142189/> (дата обращения: 29.03.2022).
2. Для 3D-систем: датчик света и приближения VL6180. URL: <https://www.compel.ru/lib/73675/> (дата обращения: 29.03.2022).
3. Arduino Uno. URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (дата обращения: 29.03.2022).
4. Основные сведения о протоколе UART. URL: https://www.rohde-schwarz.com/ru/products/test-and-measurement/oscilloscopes/educational-content/understanding-uart_254524.html (дата обращения: 29.03.2022).

*Статья представлена доцентом кафедры РОС СПбГУТ,
кандидатом технических наук А. Н. Ликонцевым.*

УДК 628.112
ГРНТИ 39.01.05

АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

А. Н. Логиновская¹, Д. А. Шейко²

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

²ООО ТехноТерра

В данной работе проведен анализ радиационной обстановки на территории Кировского района Санкт-Петербурга. Проведены замеры полевой эквивалентной дозы фона гамма-излучения по 53 точкам района с дальнейшим нанесением результатов на карты с использованием ГИС технологий.

радиация, ГИС технологии.

При исследовании радиационной обстановки и решении поставленных задач, ГИС лучше всего помогают значительно сократить время и траты при прогнозировании процессов на территории исследуемого района и приложить в удобной, легко читаемой, для дальнейшего принятия решения форме.

Она из экологических проблем для Петербурга – радиационная безопасность. Система АСКРО проводит постоянный мониторинг радиацион-

ной обстановки во всех районах Санкт-Петербурга, что легло в основу анализа радиационной обстановки, однако в связи с наличием у данной системы только одного поста наблюдений на весь район, было проведено подробное исследование Кировского района Санкт-Петербурга для получения наиболее точных и подробных значений мощности эквивалентной дозы фона гамма-излучения измеряемого в микрозивертах в час [1, 2].

Для проведения замеров был использован дозиметр-радиометр РКС-107. Обработка полученных результатов проводилась в геоинформационной системе ArcGIS, а также сопутствующим ей программным обеспечением ArcMap в котором, на карту исследуемого района наносились точки, проведения замеров с координатной привязкой. Всего было взято 53 точки по Кировскому району Санкт-Петербурга, в каждой из которых были проведены замеры полевой эквивалентной дозы (рис. 1).

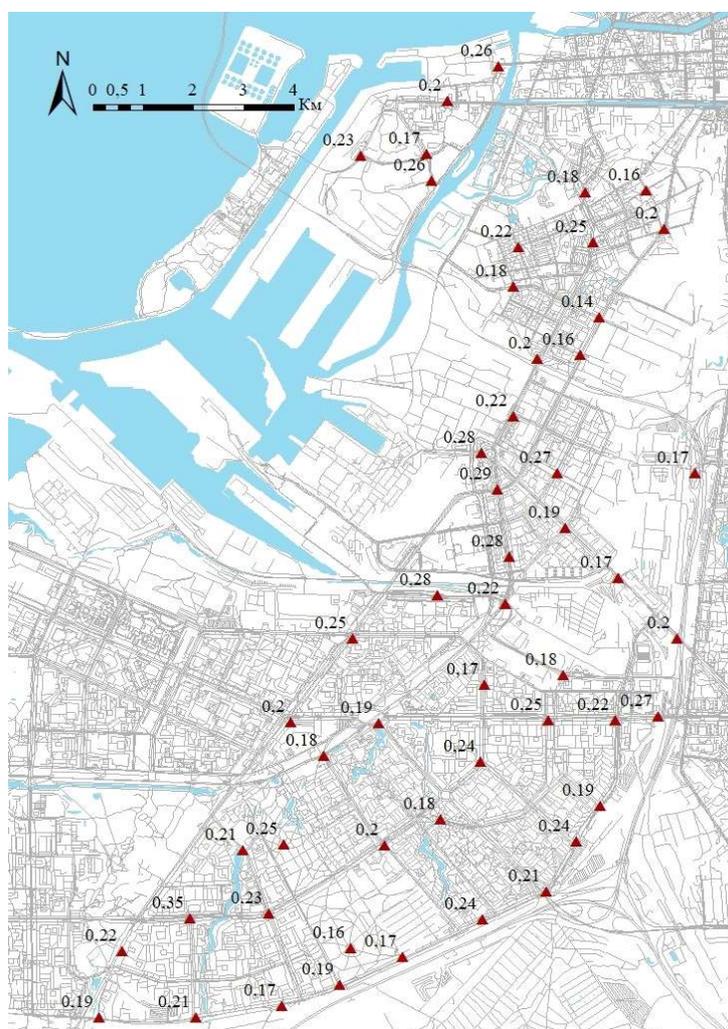


Рис. 1. Карта расположения точек замеров со значениями мощности эквивалентной дозы гамма-излучения мкЗв/ч в Кировском районе Санкт-Петербурга

Условные обозначения:

0.25 ▲ Точка проведения замера со значением эквивалентной дозы, мкЗв/ч

Далее для наиболее удобной визуализации создана карта с интерполяцией растра, где показаны зоны мощностей экспозиционной дозы гамма-излучения по необходимой нам местности (рис. 2).

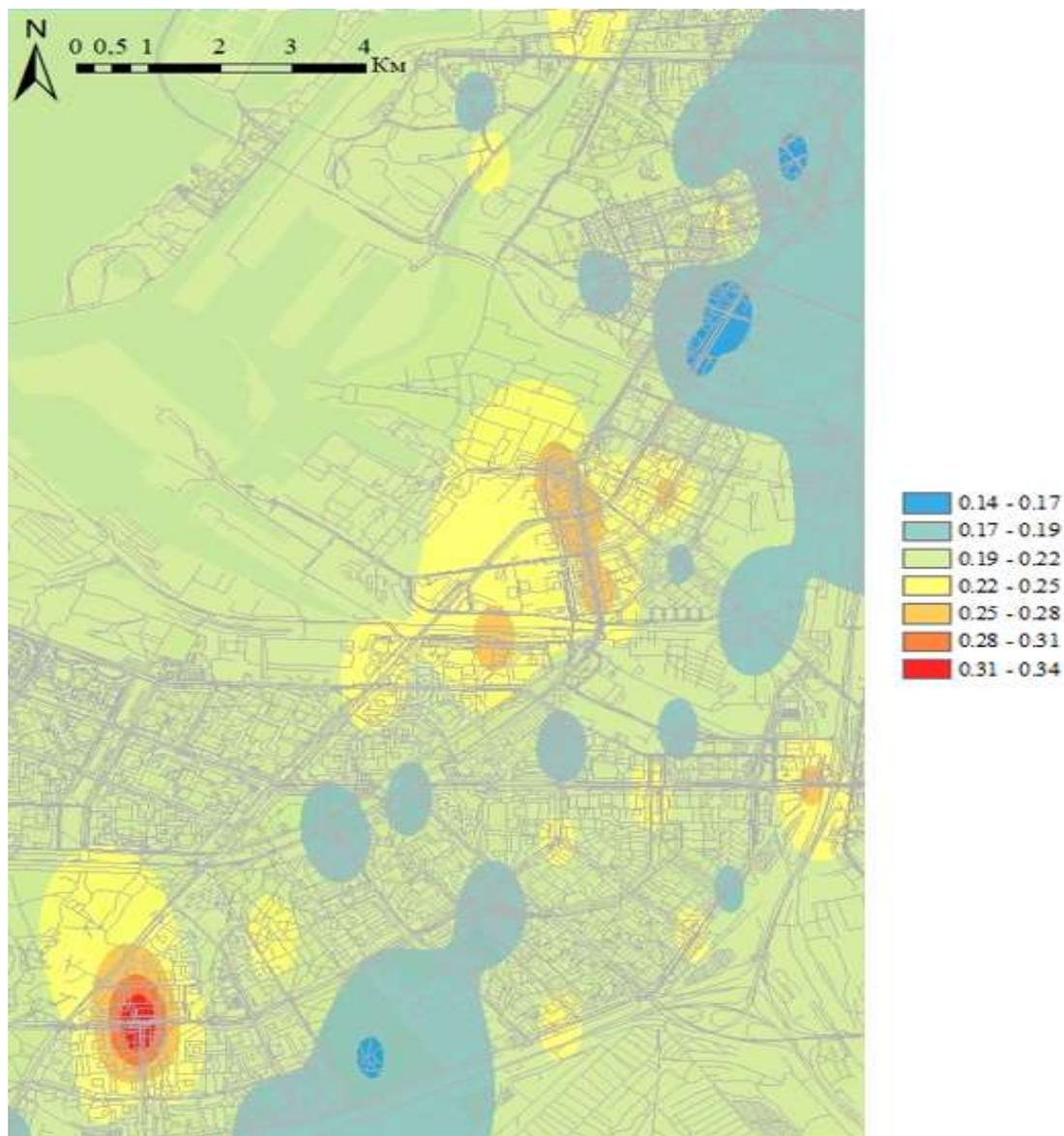


Рис. 2. Карта с наложением интерполяции растра методом ОВР с шагом $0,03 \text{ мкЗв/ч}$ в Кировском районе Санкт-Петербурга

Далее на базе созданной карты интерполяции, используя слой интерполяций, создана карта с изолиниями, представленная на рис 3. В конечном итоге получаем векторный слой изолиний с зонами мощности эквивалентной дозы гамма-излучения.



Рис. 3. Карта с наложением изолиний
со значением мощности фона эквивалентной дозы в мкЗв/ч

Условные обозначения:

— 0.27 Изолинии значений мощности фона эквивалентной дозы, мкЗв/ч

Из сделанных замеров и составленных карт можно сделать вывод, что наибольший показатель мощности эквивалентной дозы находится на Юго-Западе района, а точнее на парковке торгового центра «Ульянка» и равно 0.35 мкЗв/ч. Наименьший показатель равен 0.14 мкЗв/ч находится на Северо-востоке района, на пересечении улицы Маршала Говорова и улицы Трефолева. Средний показатель дозы по району составил 0.21 мкЗв/ч.

Исходя из данных, указанных в основных санитарных нормах по обеспечению радиационной безопасности СП 2.6.1.2612-10 [3], можно сделать

вывод, что все результаты замеров во всех точках, а также средний уровень по району является приемлемым и не несет опасности здоровью населения [4].

Список используемых источников

1. Минерал State company «MINERAL». URL: http://www.sc-mineral.ru/ru/p/radio-nucl_rus/
2. Петрова А. М., Яковлев В. В. Анализ радиационной обстановки Санкт-Петербурга и Ленинградской области. URL: <https://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2020/09/28-32-Petrova-A.M.-Yakovlev-V.V.-ANALIZ-RADIACIONNOJ-OBSTANOVKI-SANKTPETERBURGA-I-LENINGRADSKOJ-OBLASTI.pdf>
3. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). Введ. 26.04.2010. Москва: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-radiatsionnoy-obstanovki-sankt-peterburga-i-leningradskoy-oblasti/viewer>.
4. НРБ-99/2009 Нормы радиационной безопасности. Введ. 01.09.2009. Москва: Зарегистрирован в Минюсте: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2009. 220 с.

УДК 004.852

ГРНТИ 28.23.27

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СУБТИТРОВ С ВИДЕОПОТОКОМ

А. П. Лосев, Г. Г. Рогозинский

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

Технологии обработки аудиоинформации на данный промежуток времени представляют из себя комплексную область работы с цифровыми сигналами. За время развития цифрового аудио создавались новые методы работы с дискретными отчётами, ориентированные на эффективную компрессию, предоставление многоканального звука, создание систем сонификации и многие другие задачи. Поскольку во время развития аудиозаписи в первую очередь рассматривался вопрос вещания, то разработчиков всегда интересовали возможности обработки звуковых сигналов «на ходу», в реальном времени без задержки. Существенный прогресс в данной области произошёл во время возникновения вычислительных машин, способных выполнять вычисления с точностью в 32 бита с плавающей точкой, однако с момента возникновения данных ЭВМ технологические возможности возросли значительно. Одной из наиболее значимой технологией, активно развивающихся в последние десятилетия, является создание, обучение и применение искусственных нейронных сетей. Нейронные сети позволяют автоматически выбирать параметры реверберации для звукового сигнала, отделять человеческий голос

от фонового шума, а также создавать музыкальные композиции с использованием генетического алгоритма. Данная работа сфокусирована на создании модели нейросети, сфокусированной на распознавании речи для имплементации в систему автоматической генерации субтитров.

генеративно-состязательная нейросеть, спектральный анализ, автоматическая генерация субтитров.

Главная задача, которая стоит перед телевизионным вещанием, а также прямыми трансляциями – качественная передача аудио и видеосигнала, а также оформление вещаемого контента с учётом максимальной информативности. Для того, чтобы передавать контент без потерь, были разработаны разнообразные кодеки цифровой информации, однако исходный аудиоматериал представляет из себя несжатые дискретные отсчёты, образованные PCM-модуляцией. Данную особенность можно использовать для создания алгоритмов обработки звука, что и применяется в потоковой обработке с помощью VST-плагинов. Ещё одно достоинство подхода в обработке WAV-файлов – отсутствие затрат ресурсов процессора на энкодирование/декодирование аудио, что, безусловно, сказывается на стабильности разработки.

Однако работа с несжатым аудио подразумевает не только обработку самого аудио. Информация, извлечённая из аудио, может быть использована для создания видеоряда, а также автоматизации различных параметров видео. Подготовка субтитров для потоковой передачи – задача, занимающая огромное количество времени в том случае, если человек вручную задаёт субтитры для программы трансляции. К тому же, данная работа становится невозможной в том случае, если речь диктора перестанет соответствовать заранее заготовленным субтитрам. Именно поэтому целью данной работы стало создание системы генерации субтитров в реальном времени с использованием нейросетевых технологий: а именно языка программирования *Python* и библиотеки *Tensorflow*.

Исследования в данной области, ориентированные на разработку систем распознавания звуков, нередко ставили целью разработки мультимедиа, ориентированного на суммирование распознаваемой через аудио и видео информации, с последующим извлечением характерных признаков [1]. Однако современные системы вещания подразумевают работу с контентом в формате *Full HD*, что накладывает на ресурсы

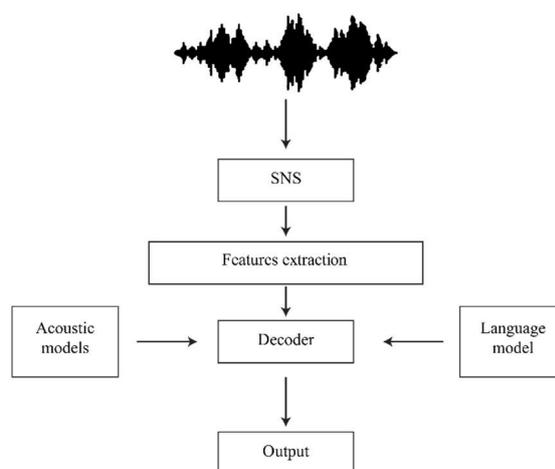


Рис. 1. Принципиальная блок-схема извлечения характерных признаков из аудио

ЭВМ значительную нагрузку. Поэтому при работе с системой распознавания речи будут использоваться только характерные признаки, извлечённые из аудио, общая схема системы распознавания речи через аудио представлена на рис. 1 (см. выше).

Для обучения нейронной сети был использован датасет *Speech Commands* от компании Google, распространяемый по лицензии CC BY. Принцип работы обучения нейронной сети в том, чтобы сеть, путём балансировки значений весов и смещений между нейронами, могла выделять отличительные признаки в человеческой речи. Поэтому была выбрана датасет, состоящий из 105 000 аудиофайлов, содержащих распространённые голосовые команды, такие как “No”, “Go”, “Stop” и другие.

Первоочередная задача – загрузка аудиофайлов в память компьютера, и их визуализация для сравнения по осциллограмме. Проведём визуальное сравнение с помощью библиотеки *Matplotlib* и выведем осциллограммы на график, продемонстрированный на рис. 2:

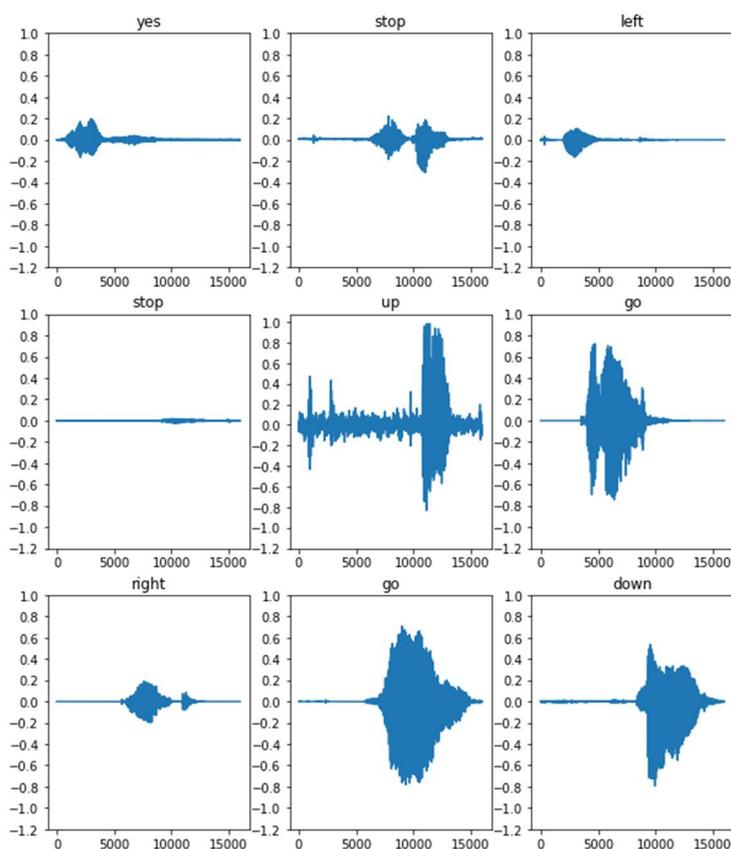


Рис. 2. Осциллограммы случайно выбранных тестовых сигналов, включённых в датасет

Как показывают осциллограммы, тестовые сигналы имеют между собой сильные отличия, данные отличия необходимо извлечь. Для того, чтобы продолжить подготовку нейросети к обучению, необходимо перевести сигналы из временной области в частотно-временную область. Применим с

этой целью оконное преобразование Фурье. Оконное преобразование Фурье является подвидом преобразования Фурье, при котором для перехода из одной области в другую используется вариативная оконная функция.

Пример выражения оконного преобразования Фурье представлен ниже:

$$F(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f[n]w[n - m]e^{-j\omega n} , \quad (1)$$

где $F(m, \omega)$ – полученная функция, $f[n]$ – исходная функция, а $w[n - m]$ – оконная функция.

Для того, чтобы получить спектрограмму сигнала, необходимо величину полученной функции возвести в квадрат:

$$spectrogram\{f(t)\}(m, \omega) = |F(m, \omega)|^2. \quad (2)$$

Данный процесс является подготовкой спектрограммы при помощи STFT [2] для обучения нейросети по изображению и созданию базового тензора, который впоследствии будет подаваться на входной слой нейросети. Полученная спектрограмма выглядит следующим образом в сопоставлении с осциллограммой (рис. 3):

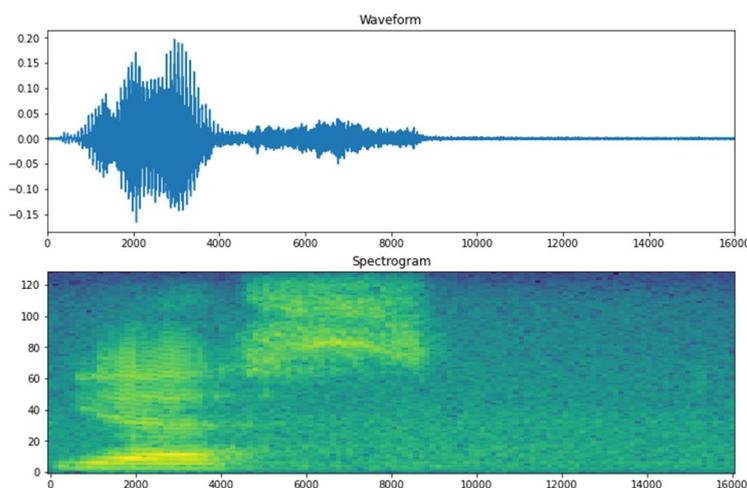


Рис. 3. Осциллограмма и спектрограмма отдельно взятого сигнала

Ключевой подход использования спектрограммы как основного источника информации для обучения нейросети – поиск ключевых особенностей, сфокусированных в тональной высоте и интенсивности голоса [3], поэтому за основу берётся спектрограмма как наиболее информационно полный источник аудиоинформации.

На основе загруженных данных создаётся нейросеть со следующей архитектурой, представленной в таблице 1:

ТАБЛИЦА 1. Архитектура нейронной сети, используемой при распознавании речи

Input shape: (124, 129, 1)		
Model: "sequential"		
Layer (type)	Output Shape	Param #
resizing (Resizing)	(None, 32, 32, 1)	0
normalization (Normalization)	(None, 32, 32, 1)	3
conv2d (Conv2D)	(None, 30, 30, 32)	320
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 28, 28, 64)	18496
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 14, 14, 64)	0
dropout (Dropout)	(None, 14, 14, 64)	0
flatten (Flatten)	(None, 12544)	0
dense (Dense)	(None, 128)	1605760
dropout_1 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_1 (Dense)	(None, 8)	1032
Total params: 1,625,611		
Trainable params: 1,625,608		
Non-trainable params: 3		

Данная нейронная сеть обучалась на 10 эпохах за 243 секунды, по итогу была получена средняя точность распознавания 85 %. Матрица путаницы для предсказаний данной нейросети представлена на рис. 4.

Среди полученных результатов есть некоторые отклонения, например, при анализе матрицы путаницы можно сделать вывод, что данная нейросеть может неточно квалифицировать схожие фразы и команды, например, “Go” и “No”.

Данный фактор является более трудным в обработке, поскольку дифференциация схожих звуков сложна и для человека в том числе [4]. Однако в данном виде нейронная сеть может быть имплементирована в разнообразные

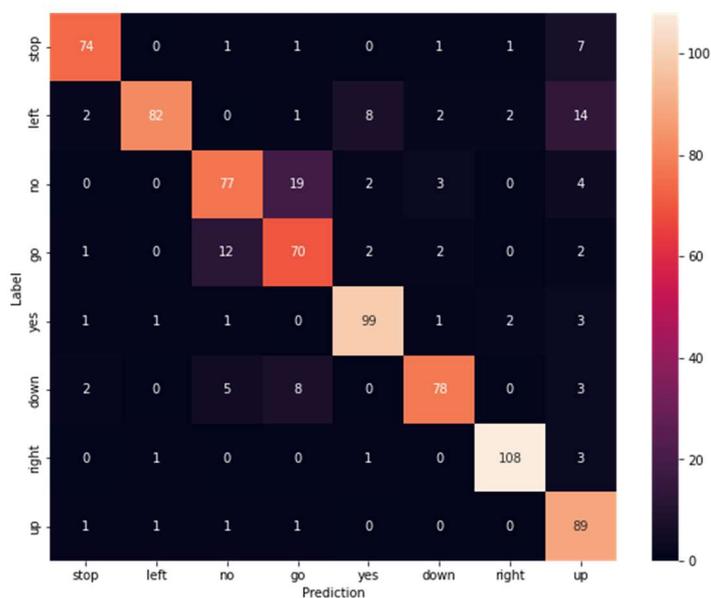


Рис. 4. Матрица путаницы для предсказаний, полученных с помощью нейронной сети

системы для потокового вещания с целью автоматической генерации субтитров. Кроме того, данная система может применяться для автоматического заполнения форм вида «вопрос-ответ» [5].

Список используемых источников

1. Mihelic F., Zibert J., Speech recognition. Technologies and applications. In-Teh, Vienna, Austria, 2008. 574 p.
2. Shinji Watanabe, Marc Delcroix, et al., New Era for Robust Speech Recognition. Exploiting Deep Learning. Springer International Publishing, 2017. 436 p.
3. Krothapalli S. R., Koolagudi S. G., Emotion Recognition using Speech Features. Springer Science+Business Media New York, 2013. 121 p.
4. Mohammed Dib, Automatic Speech Recognition of Arabic Phonemes with Neural Networks. A Contrastive Study of Arabic and English. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Switzerland, 2019. 153 p.
5. Uday Kamath, John Liu, et al., Deep Learning for NLP and Speech Recognition. Springer Nature Switzerland, 2019. 637 p.

УДК 621.397.231
ГРНТИ 49.45.29

СТАНДАРТ DVB-I - ИНТЕРНЕТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ СЛУЖБ ЛИНЕЙНОГО ТВ

В. А. Лужковская, С. Л. Федоров

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

В эпоху интернета, где телевидение быстро теряет свою притягательность для аудитории, особую популярность набирает многоплатформенность, где создаваемый контент распространяется во всех форматах просмотра.

Одним из возможных вариантов развития эфирного телевидения является формирование гибридных сетей. Оно соединяет в себе объекты наземного цифрового телевизионного вещания и базовые станции 5G для передачи в онлайн режиме мультимедийной информации на мобильные и стационарные устройства. Единая научно-техническая платформа на базе протокола IP содействует данному. Таким образом, развитие системы цифрового телевидения предполагает разработку и предстоящий переход на IP-платформу и интеграцию с веб-сервисами (DVB-I).

DVB-I, стандарт, цифровое телевидение, видеоконтент, интернет.

Сегодняшнее время – это эпоха интернета, где телевидение стремительно теряет свою привлекательность для аудитории. Россияне уже мас-

сово освоили просмотр видео в Интернете, что приводит к развитию системы цифрового телевидения, где предусматривается переход на IP-платформу и интеграцию с интернет-сервисами (DVB-I).

Одним из вариантов развития широкополосного доступа является концепция гибридных сетей, объединяющих возможности эфирного вещания и сетей 5G в рамках технологии 5G Broadcast. Указанные сети включают в себя доставку данных к каждому пользователю с широковещательной многоадресной доставкой, что позволяет понизить запрос к качеству канала передачи данных при сохранении качества услуг.

Консорциум DVB Project в конце 2019 года принял две спецификации, которые регламентируют составляющие новой технологии DVB-I, разработанной для стандартизации передачи видеослуж с применением IP-протокола. Технология обеспечивает передачу любых типов контента, от прямого и линейного телевидения до программ по запросу [1].

В спецификации Service Discovery and Program Metadata, опубликованной ETSI указано, что стандарт DVB-I обеспечивает ориентированный на Интернет механизм для сигнализации и обнаружения телевизионных услуг, независимо от того, доставляются ли они по IP-сетям или вещательным сетям [2].

На сегодняшний день существует множество приложений смарт ТВ и их модификации. Стандарт DVB-I позволяет оптимизировать предоставляемые услуги под требования вещателей и регламентировать требования, предъявляемые к приемнику.

На текущий момент существует ряд вопросов, которые необходимо решить для реализации стандарта DVB-I, один из них – способность формирования списка услуг для передачи по IP-сетям, где используется URL адрес. Для приемника должен быть заранее составлен список услуг, которые должны быть легальны, безопасны, иметь соответствующую пометку о возрастном ограничении, а также соответствовать законодательству региона, в котором находится приемник.

Разработчиками стандарта DVB-I был предложен алгоритм, где приемник запрашивает реестр услуг, сформированных с учетом предъявляемых требований, указанных выше. Вопрос о том, как именно предоставляемые услуги будут проверяться по предъявляемым к ним критериям, и кто их будет составлять пока остается не решенным.

Для составления списков услуг, электронного гида и обработки метаданных с некоторыми дополнениями используются механизмы, разработанные для вещательных и IPTV-сетей.

Стандарт DVB-I также включает в себя независимые от самого стандарта две транспортные технологии: DVB-DASH и Multicast ABR [3].

DVB-DASH определяет доставку телевизионного контента в прямом эфире и по запросу через открытый Интернет с помощью динамической

адаптивной потоковой передачи через протокол HTTP. Ключевым средством в специфике работы DVB-DASH для реализации DVB-I является малая задержка и адаптивная потоковая передача мультимедиа по IP-многоадресной передаче, которая осуществляется через HTTP следующим образом: хранящиеся на HTTP-сервере версии контента (видео и аудио хранятся отдельно) разделяются на «сегменты» различной длительности; в свою очередь сервер формирует файл описания фрагментов аудио/видео потока и направляет клиентам DASH, информируя их о доступных версиях и сегментах. Клиент, в зависимости от возможностей и доступной полосы пропускания между ним и HTTP-сервером, выбирает наиболее подходящий сегмент и запрашивает его у сервера по протоколу HTTP. Выбор следующего сегмента происходит с помощью повторной оценки доступности полосы пропускания во время производства предыдущего сегмента, который может быть одним из версий контента с более высокой или более низкой скоростью передачи данных.

Для обеспечения последовательной доставки прямого и линейного телевидения через DVB-DASH было разработано расширение с малой задержкой без потери дополнительных функций, предусматривающее разбивку передаваемых в потоке сегментов данных на меньшие фрагменты, которые затем должны передаваться через сеть сразу же после того, как они станут доступны в кодере.

Вторая технология – Multicast ABR (многоадресная адаптивная скорость передачи данных) заключается в динамической адаптации скорости передачи данных, что позволяет плавно снижать скорость сеанса потоковой передачи по мере ухудшения сетевых условий и восстанавливаться по мере их улучшения. Таким образом, это технология, позволяющая распространять одну физическую копию видеоконтента среди всех пользователей в формате ABR посредством многоадресной рассылки, а не отдельных HTTP-соединений. Технически технология состоит из сервера многоадресной рассылки, который получает контент через стандартную потоковую передачу ABR с исходного сервера, компанует его в многоадресную рассылку и отправляет по сети. С другой стороны, маршрутизатор или телевизионная приставка – разворачивает уровень многоадресной рассылки и передает контент в формате ABR на стандартные потоковые устройства.

Из основных не решенных моментов стандарта DVB-I является его реализация в беспроводных сетях передачи данных, а также добавление персонализированной рекламы и механизмов передачи multicast-трафика через открытый интернет.

Ожидается, что внедрение стандарта улучшит услуги DVB в различных сетях доступа, включая доступ к услугам DVB с несколькими методами подключения и позволит вещателям уйти от системы приложений, которые им

сейчас приходится использовать в интернет-среде для доставки услуг потребителям.

Список используемых источников

1. Digital Video Broadcasting (DVB); Service Discovery and Programme Metadata for DVB-I Services. DVB Document A177 Rev.3. 2022. 194 p.
2. Digital Video Broadcasting (DVB); Adaptive media streaming over IP multicast. DVB Document A176r2. 2022. 121 p.
3. Digital Video Broadcasting (DVB MPEG-DASH Profile for Transport of ISO BMFF Based DVB Services over IP Based Networks. DVB Document A168 Rev.4. 2021. 135 p.

УДК 621.396.13
ГРНТИ 49.43.29

РАЗРАБОТКА НАБОРА ПРОГРАММ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ MIMO С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ

А. Ж. Лялина

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

В настоящее время наиболее перспективным и широко используемым способом повышения спектральной эффективности в области беспроводной связи является применение MIMO-систем. В настоящем докладе будет представлен результат разработки набора программ для исследования таких систем. С их помощью могут быть изучены различные методы обнаружения MIMO-систем, определена степень влияния замираний разного рода на передачу, а также оценена эффективность совместного использования известных методов пространственно-временного кодирования и сигнально-кодовых конструкций. Результат разработки может быть полезен как с исследовательской точки зрения, так и при проектировании наиболее оптимальных телекоммуникационных систем.

MIMO, линейное детектирование, ZF, MMSE, ML, ПВК, замирания.

Алгоритмы детектирования MIMO

Рассмотрим систему MIMO с N_T передающих и N_R приемных антенн [2]. Полученный сигнал $y = [y_1, y_2, \dots, y_{N_R}]^T$ также может быть записан

$$y = Hs + n, \quad (1)$$

где вектор передаваемого сигнала и вектор шума, представленные в виде вектора аддитивного белого гауссовского шума (AWGN), обозначаются как $s = [s_1, s_2, \dots, s_{N_T}]^T$ и $n = [n_1, n_2, \dots, n_{N_R}]^T$, соответственно. Матрица канала определяется выражением

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_T} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R1} & h_{N_R2} & \dots & h_{N_RN_T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Обнаружение MIMO предназначено для оценки неизвестного вектора переданного сигнала, s , для заданного вектора принятого сигнала, y , и матрицы канала, H . Среди доступных методов обнаружения, метод по критерию максимального правдоподобия (Maximum Likelihood (ML)) является самым оптимальным но его сложность возрастает экспоненциально в зависимости от количества антенн [3]. Тем не менее, данный метод будет также рассмотрен в исследовании для того, чтобы среди менее сложных найти более оптимальный. К неоптимальным, но более простым методам относятся метод Zero Forcing (ZF) и метод по критерию минимума среднеквадратической ошибки (Minimum Mean Square Error, (MMSE)).

Оценка по методу ZF может быть представлена в виде [4]:

$$\hat{s}_{ZF} = \arg \min_{s \in \mathbb{C}^{N_T}} \|y - Hs\|^2 \quad (3)$$

Это выражение можно преобразовать, взяв частную производную $\|y - Hs\|^2$ по s^H и приравняв к 0 следующим образом

$$\frac{\partial}{\partial s^H} (y - Hs)^H (y - Hs) = \frac{\partial}{\partial s^H} (y^H y - y^H Hs - s^H H^H y + s^H H^H Hs) = -H^H r + H^H Hs \quad (4)$$

Тогда получим:

$$H^H Hs = H^H y \quad (5)$$

Выражение на выходе будет иметь вид:

$$\hat{s}_{ZF} = W_{ZF}^H y = s + W_{ZF}^H n \quad (6)$$

где $W_{ZF}^H = H^+(H^H H)^{-1} H^H$ представляет собой псевдоинверсию H Мура Пенроуза.

Детектирование по методу MMSE — еще один обнаружения, оценку которого можно представить в виде

$$\hat{s}_{MMSE} = \arg \min_{s \in \mathbb{C}^{N_T \times N_R}} E \|W^H y - s\|^2 \quad (7)$$

Это выражение также можно преобразовать, взяв частную производную $E\|W^H y - s\|^2$ по W^H и приравнять к 0 следующим образом

$$\frac{\partial}{\partial W} (E[\text{tr}\{(W^H y - s)(W^H y - s)^H\}]) \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial W} (E[\text{tr}\{(W^H y y^H W - W^H y s^H - s y^H W + y y^H)\}]) \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial W} (W^H R_{yy} W - W^H R_{ys} - R_{sy} W + R_{ss}) \quad (10)$$

$$W^H R_{yy} - R_{sy} \quad (11)$$

Тогда

$$W_{MMSE}^H = R_{sy} R_{yy}^{-1} \quad (12)$$

Предполагая, что вектор шума и вектор сигнала независимы.

$$R_{yy} = H R_{ss} H^H + R_{yy} = \sigma_s^2 H H^H + \sigma_n^2 I_{N_T} \quad (13)$$

$$R_{ss} = \sigma_n^2 I_{N_T} \quad (14)$$

$$R_{nn} = \sigma_n^2 I_{N_R} \quad (15)$$

$$R_{sy} = R_{ss} H^H = \sigma_s^2 H^H \quad (16)$$

В результате получаем

$$W_{MMSE}^H = \sigma_s^2 H^H (\sigma_s^2 H H^H + \sigma_n^2 I_{N_T})^{-1}. \quad (17)$$

Выражение на выходе будет иметь вид

$$\hat{s}_{MMSE} = W_{MMSE}^H y = \left(H^H H + \frac{N_0}{E_s} I \right)^{-1} H^H r. \quad (18)$$

Моделирование техник детектирования MIMO

В ходе данной работы был написан набор программ для моделирования канала связи MIMO. На вход основной программы поступают необходимые для конкретного исследования параметры: MODCOD или тип модуляции, тип пространственно-временного кодирования, количество передающих и приемных антенн, тип замирания в канале и его параметры, метод обнаружения на выходе.

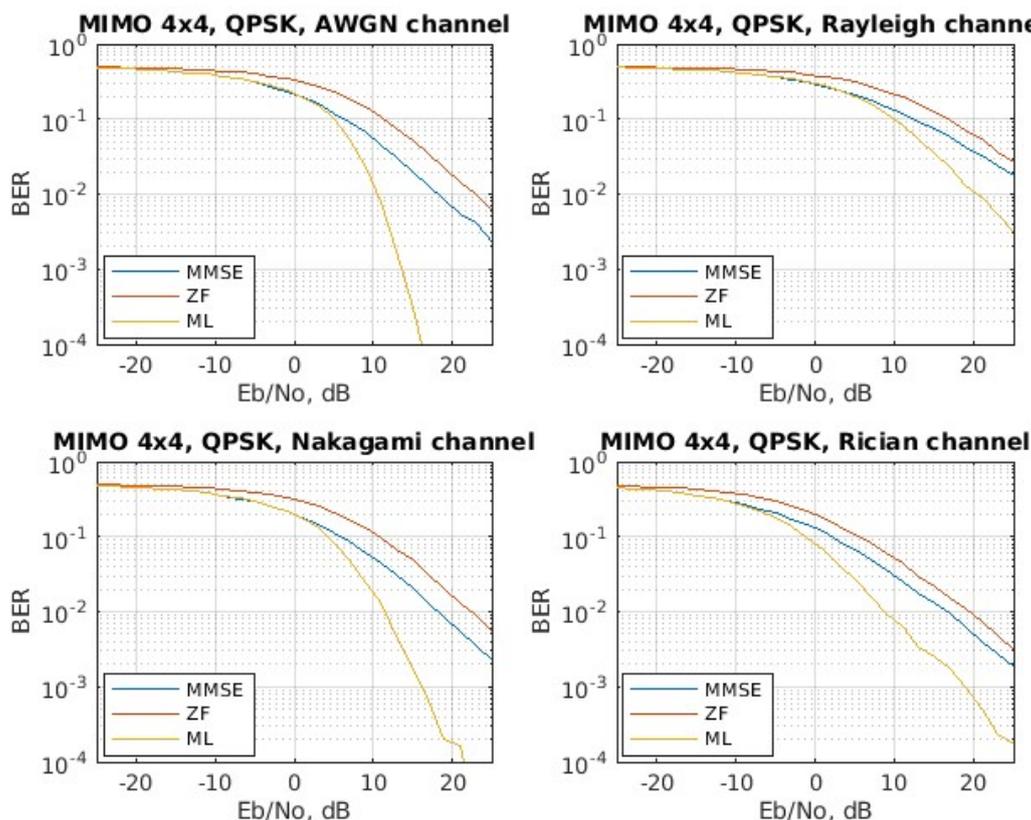


Рис. 1. Результаты моделирования различных методов обнаружения в каналах с различными замираниями в каналах MIMO без пространственно-временного кодирования

Для проведения различных исследований были написаны сопутствующие программы, позволяющие настроить основную программу и получить на выходе результат в удобном виде. Таким образом, можно изучить влияние замираний на передачу и найти наиболее оптимальную конфигурацию параметров в заданных условиях.

На рис. 1 представлены результаты моделирования различных методов обнаружения в каналах с различными замираниями в каналах MIMO без пространственно-временного кодирования. Как и ожидалось, ML является наиболее оптимальным.

В исследованиях пространственно-временного блочного кодирования использовалось когерентное детектирование (рис. 2, см. ниже) [5, 6].

Результаты показывают, что использование пространственно-временного кодирования может повысить производительность системы. Кроме того, использование пространственно-временного блочного кодирования может обеспечить полное разнесение при чрезвычайно низкой сложности кодера и декодера.

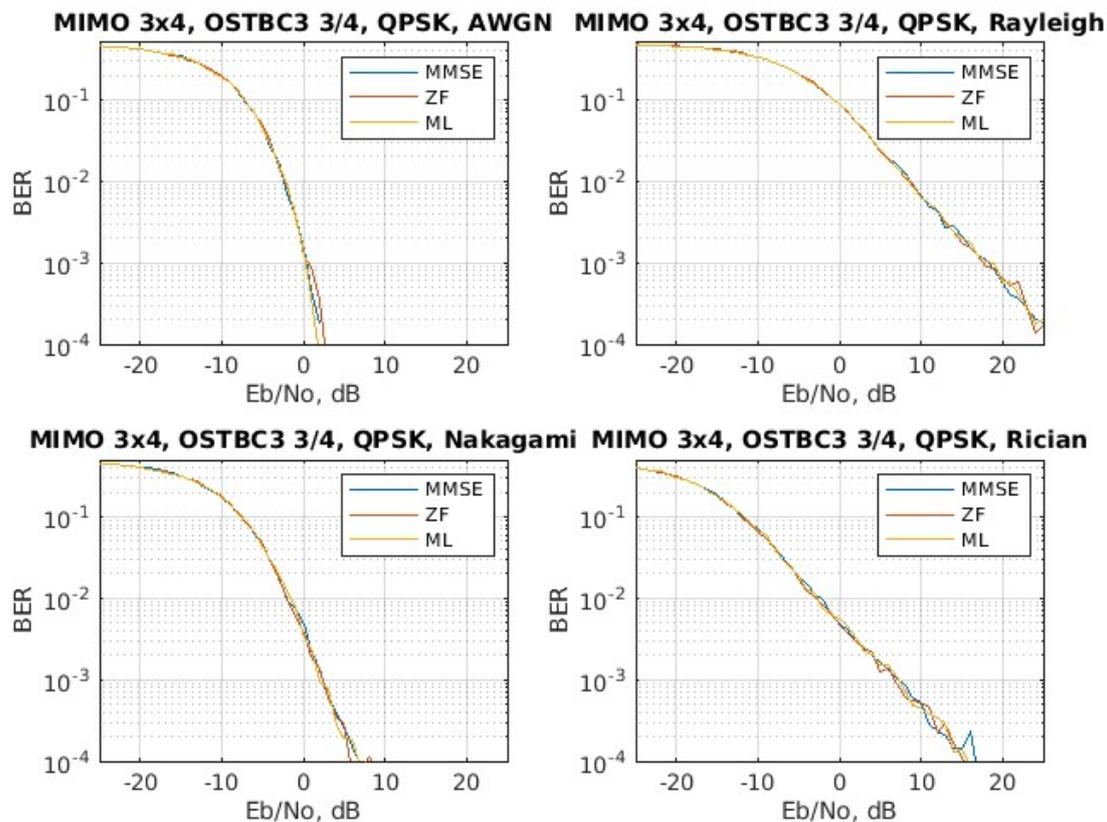


Рис. 2. Результаты моделирования различных методов обнаружения в каналах с различными замираниями в каналах ММО с пространственно-временным блочным кодированием

Преимущества разработанного набора программ

Разработанный набор программ позволяет:

- Сравнить различные методы обнаружения
- Оценивать влияние различных замираний на передачу
- Сравнить различные типы блочного пространственно-временного кодирования.
- Оценивать эффективность различных комбинаций сигнально-кодовых конструкций и пространственно-временного кодирования.
- Получать наглядное представление в виде графиков.

Программа может быть полезна при разработке оптимальной системы ММО, а также при проверке работоспособности разрабатываемой системы в различных условиях.

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. Kshetrimayum, Rakesh Singh. Fundamentals of MIMO wireless communications // Cambridge University Press, 2017.

3. Chen J.-C. A low complexity data detection algorithm for uplink multiuser massive MIMO systems // IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 35, no. 8, pp. 1701–1714, 2017.
4. Albreem, Mahmoud A., Markku Juntti, and Shahriar Shahabuddin. Massive MIMO detection techniques: A survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials 21.4, 2019: 3109–3132.
5. Larsson, Erik G., Petre Stoica, and Girish Ganesan. Space-time block coding for wireless communications // Cambridge university press, 2003.
6. Выховский, Марк. Hyperphase modulation - the optimal method of message transmission in the Gaussian communication channels. М.: Technosphera publishers, 2018.

*Статья представлена научным руководителем,
доктором технических наук, профессором Е. И. Глушанковым.*

УДК 519.6
ГРНТИ 28.19.27

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ НЕЙРОТРАСМИТТЕРОВ

Л. М. Макаров, С. В. Протасеня

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

Развитие информационных технологий исследования свойств проявления жизнедеятельности множества организмов формируется на большом теоретическом базисе, концептуально представленном в классической физике, биофизике, биохимии, математике. Синтез обобщенного понимания сложности запуска и постоянного мониторинга жизненно важных процессов организма представляется целесообразным рассматривать в терминах теории сигналов, сложность которых оценивается в битах.

информационная энтропия, нейротрансмиттеры, гомеостазис организма.

Многоаспектность проявления различных процессов Природы наиболее полно проявляется в жизнедеятельности живых организмов. Отчетливо и достаточно полно изучены процессы гомеостазиса, реализуемые в живых организмах на поле понятий биохимии, представляющей основы синтеза биоэлектрических сигналов. С позиции физиологической кибернетики выделение химических биофакторов, играющих важную роль в поддержке нормальной жизнедеятельности организма, выделяют группу нейромедиаторов [1].

Нейромедиаторы, определяемые как транмиттеры в живой природе отождествляются в качестве посредников и являются биологически активными веществами. Посредством нейротрансмиттеров осуществляется передача электрохимического импульса от нервной клетки через синаптическое пространство между нейронами.

Эндокринная система организма представлена двумя уровнями. На первом уровне выделяют гранулярную систему, в которой все клетки управления образуют единый кластер и условно формируют общий нейротрансмиттерный фон развития процессов жизнедеятельности. На втором уровне рассматривается диффузная система, клетки управления которой рассредоточены по всему организму, продуцирующими гормоны. Эндокринная система управляет деятельностью практически всех органов и систем организма человека.

Нейротрансмиттерное управление функциональным состоянием организма человека поддерживается несколькими важными нейромедиаторами. В числе значимых транмиттеров по своему влиянию на функциональное состояние организма относят: адреналин, норадреналин, дофамин и слабо проявляющий гормональное действие таурин.

В теоретической биохимии традиционно оперируют понятием сложности строения атомарной конструкции вещества. Оценка сложности строения вещества формируется на типичном понятии топологической энтропии, которое определим в виде:

$$H(L)_p = \sup_{w_i} (H(L, (W_i)))^1$$

где W_i разбиение ограниченной области W , инициализирующее получение расчетного значения L_p размера выделенной области. Полагая W в виде окружности, допускающей трансформацию в эллиптическую фигуру с радиусами a и b , вычисление информационной энтропии проведем по выражению (1).

$$L_p = a(2.28 \left(1 - \frac{(b-1)}{a}\right)^{1.308} + 4). \quad (1)$$

В частном случае при $a = b$, имеем окружность с периметром в $L_0 = 2\pi$ (радиан), что соответствует значению информационной энтропии объекта, находящегося при физической температуре $-273,15 \text{ C}^0$. Естественное изменение значений указанных параметров воспроизводит разные оценки информационной энтропии (L_p), которые сопоставимы с количеством информации, отождествляемой с топологией материального биохимического вещества. В таком случае информационная оценка энтропии (биты) нейротрансмиттеров проводится по выражению (2).

$$H(L)_p = \frac{L_p}{L_0}. \quad (2)$$

Адреналин ($C_9H_{13}NO_3$), хорошо изученный биохимический фактор, стимулирующий запуск и развитие множества внутренних процессов в организме человека. Наиболее известен как возбуждающий нейромедиатор. Семантическое описание действия нейромедиатора многогранно, хотя изучено в настоящее время неполно. Именно этот факт порождает различные дискуссии о принципах запуска синаптической передачи нейронных импульсов.

Адреналин синтезируется структурой головного мозга, где исходным биохимическим материалом является аминокислота тирозин, которая поступает в организм как питательная субстанция. Самостоятельно гормон синтезируется вегетативной нервной системой в синапсах нервных скоплений.

Вычисление показателя информационной энтропии для адреналина проведем по выражению (2). Результаты расчетов приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Информационные показатели адреналина

	АДРЕНАЛИН					
	$C_9H_{13}N O_3$					
	С	Н	О	N		
	9	13	3	1		
<i>Протоны</i>	6	1	8	7		
<i>Нейтроны</i>	6	0	8	7		
	54	13	24	7	<i>a</i>	98
	54	0	24	7	<i>b</i>	85
<i>Масса</i>	108	13	48	14		183
<i>L_p</i>	409.53					
<i>H(L)_p</i>	9.33					

Норадреналин ($C_8H_{11}NO_3$) нейромедиатор, реализующий биохимический механизм передачи нервного импульса в многочисленных норадренергических синапсах центральной и периферической нервных системах. По аналогии проведем расчет оценок L_p и $H(L)_p$ для норадреналина. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Информационные показатели норадреналина

	С	Н	N	О	
	8	11	1	3	
<i>Протоны</i>	6	1	7	8	
<i>Нейтроны</i>	6	0	7	8	
<i>a</i>	48	11	7	24	90
<i>b</i>	48	0	7	24	79
<i>Масса</i>	96	11	14	48	169
L_p	374.71				
$H(L)_p$	9.20				

Норадреналин обладает способностью запускать – прецессировать сложные процедуры активации избранных структур организма. Действие норадреналина слабее чем адреналина. В основном здесь выделяют хорошо выраженную способность создавать высокие стимулы расширения сосудов, что инициализирует понижение скорости кровотока. Однако этот эффект не приводит к дополнительной нагрузке на сердечные мышцы, хотя одновременно с этим отчетливо проявляется возрастающее стимулирующее действие на мышечные ткани бронхов и кишечника. Практически в любое время суток норадреналин оказывает влияние на периодичность регуляторных функций артериального давления и периферического сосудистого сопротивления.

Наряду с явными управляющими стимулами изменения функционального состояния организма отметим нейротрансмиттер – дофамин ($C_8H_{11}NO_2$), который входит в группу биохимических стимуляторов «адаптации организма», причем исключительно на нейронных структурах головного мозга. Это гормон «мягкого опосредованного управления». По аналогии проведем расчет оценок L_p и $H(L)_p$ для дофамина. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Информационные показатели дофамина

ДОФАМИН $C_8H_{11}NO_2$					
	С	Н	N	О	
	8	11	1	2	
<i>Протоны</i>	6	1	7	8	
<i>Нейтроны</i>	6	0	7	8	
<i>a</i>	48	11	7	16	82
<i>b</i>	48	0	7	16	71
<i>Масса</i>	96	11	14	32	153
L_p	343.14				
$H(L)_p$	9.07				

Открытые системы, типичными представителями которых являются живые организмы, демонстрируют прирост энтропии. Для таких систем характерны процессы диссипации, когда энергия упорядоченного движения переходит в энергию неупорядоченного хаотического движения, в тепло.

В теории диссипативных систем отчётливо выделяются главные элементы процесса жизнедеятельности организма, которые облечены в математическую модель оперирую понятиями устойчивости и неустойчивости рабочих процессов живого организма. Формально такое рассмотрение сложного процесса жизнедеятельности декларирует необходимость постоянного запуска «процессов поддержки», исполняющих функции управления как отдельных подсистем организма, так всего организма. В таком понимании нейротрансмиттеры, обладающие разными функциональными возможностями, представляются активными биохимическими сигналами, естественно, обладающими специфическими информационными показателями. В таком контексте обычно рассматриваются как вопросы формального управления отдельными подсистемами организма, так и специфические формы управления, реализуемые на нейронном поле головного мозга.

В классическом понимании термина о исполнении закона гомеостазиса для живого организма включено определение динамики процессов жизнедеятельности, которая должна поддерживаться в определённом диапазоне физических и биохимических факторов. Практическая реализация этой сложной задачи в целом осуществляется эндокринной системой, в которой Природой установлено ранжирование управляющих стимулов [2].

Современные базы знаний и наличие информационных технологий позволяют сформулировать критерий информационной энтропии – значимости нейротрансмиттеров. В материалах работы установлены оценки информационной значимости наиболее типичный нейростимуляторов, которые полностью и адекватно совпадают с медицинскими оценками.

Список используемых источников

1. Макаров Л. М., Поздняков А. В., Протасеня С. В. Эргодическая модель атомарных конструкций // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 3. С. 74–84.
2. Макаров Л. М., Протасеня С. В. Биометрия поверхностных тканей организма // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2017. С. 242–245.

УДК 628.477.6
ГРНТИ 87.53.15

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ АО «НЕВСКИЙ ЗАВОД»

Н. Е. Манвелова, Г. Д. Ребенко

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

Литейное производство акционерного общества «Невский завод» в соответствии с ФЗ № 116 относится к опасным производственным объектам. В процессе производства образуются расплавы металлов с температурой, достигающей 1 700 градусов, присутствуют опасные химические соединения, применяемые для изготовления литейных форм и стержней. Основным многотоннажным отходом литейного производства АО «Невский завод» является отработанная формовочная смесь (ОФС). Проведен анализ инновационных технологий применения ОФС в строительной индустрии: для засыпки грунтовых дорог, в асфальтобетонных и цементных смесях и т.д. Использование ОФС в строительной индустрии позволяет снизить экологическую нагрузку на территории полигонов и исключить непосредственный контакт отходов с окружающей средой.

металлургическое производство, отработанные формовочные смеси (ОФС), регенерация, утилизация ОФС в строительной индустрии.

АО «РЭП Холдинг», в состав которого входят АО «Невский завод» и инженерный центр, осуществляет инжиниринговые разработки, изготовление и поставки энергетического и электротехнического оборудования для газовой, нефтяной, металлургической и химической промышленности, энергетики и электросетевого комплекса. Инновационная энергетическая продукция «РЭП Холдинга» применяется при модернизации газотранспортной системы при строительстве современных энергоблоков и электростанций в металлургии, нефтехимической промышленности и других отраслях (рис. 1).

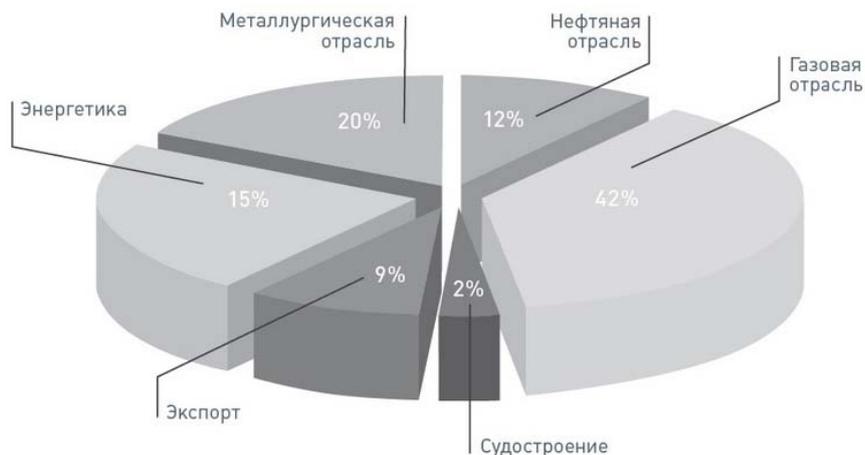


Рис. 1. Структура распределения продукции Холдинга по отраслям промышленности

В состав АО «Невский завод» входят металлургическое, агрегатное, инструментально-механическое производства, модельный участок и т. д. В металлургическом производстве, состоящем из литейного и формовочного участков, осуществляется выплавка чугуна и стали (углеродистой и легированной). Плавка стали и чугуна проводится в электродуговых печах ДППТУ-3 и ДППТУ-0,5. Горячий расплавленный металл заливают в формы. После остывания форму устанавливают на выбивную решетку и отливку металла освобождают от песчаной формы. При этом часть песчаной смеси после использования (отработанная и отрегенированная формовочная смесь – около 20 %) используется повторно и перемещается пневмотранспортом. Остальная часть отработанной формовочной смеси (ОФС) сыпается в бункер-накопитель для дальнейшего вывоза на полигоны.

Литейное производство акционерного общества «Невский завод» в соответствии с ФЗ № 116 относится к опасным производственным объектам. Основным многотоннажным отходом производства АО «Невский завод» является отработанная формовочная смесь (ОФС), которая образуется ежегодно в объеме 935 тонн (рис. 2).



Рис. 2. Отработанные формовочные смеси на литейном производстве АО «Невский завод»

Отработанные формовочные смеси представляют определенную опасность для окружающей среды, т. к. содержат обширный спектр токсичных веществ. Смеси для разных типов использования имеют в составе включения тяжелых металлов, сульфаты, хлориды, фенолы, формальдегиды, неорганические кислоты и оксиды. Под воздействием влаги и прямых солнечных лучей токсичные химические соединения могут испаряться в атмосферу и проникать в почву. При длительном хранении в большом количестве отработанных ОФС вероятность выделения вредных веществ в окружающую среду повышается. В связи с этим, в настоящее время особое внимание уделяется вопросам рационального использования ресурсов и утилизации отходов производства. Утилизация отходов может быть проведена на том же предприятии, где образуется ОФС за счет проведения регенерации [1–4].

Твердые отходы литейного производства, поступающие в отвалы, представляют собой в основном отработанные литейные пески. Незначительную часть (менее 10 %) составляют металлические отходы. Основным направлением уменьшения количества твердых отходов в отвалы следует считать регенерацию отработанных литейных песков, что обеспечивает снижение расхода свежих песков, а также связующих и катализаторов.

Разработанные технологические процессы регенерации позволяют регенерировать песок с хорошим качеством и высоким выходом целевого продукта. Регенерация песков – совокупность операций обработки, которым подвергают отработанные смеси для выделения из них песков, пригодных к повторному использованию для изготовления формовочных и стержневых смесей.

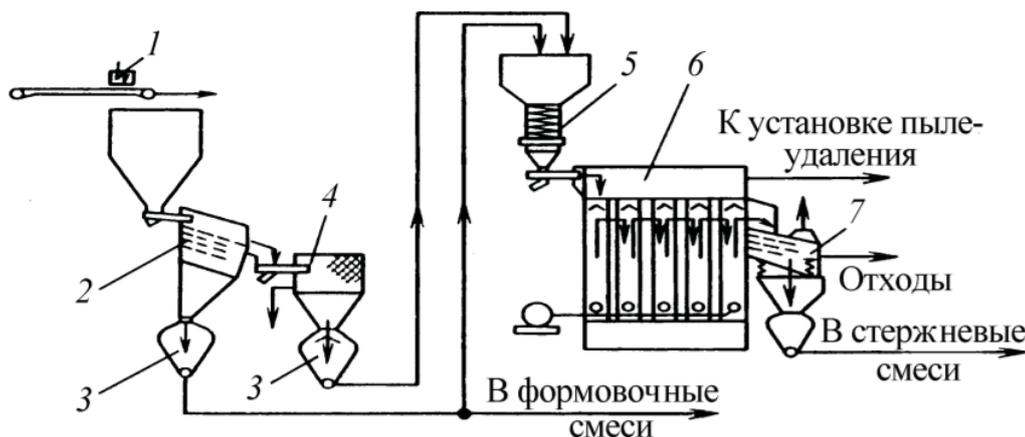


Рис. 2. Схема пневматической регенерационной установки для переработки формовочной и стержневой смесей: 1 – магнитный сепаратор; 2 – грохот; 3 – камерный насос; 4 – шаровая мельница; 5 – охладитель песка; 6 – пневмогенератор; 7 – классификатор [5]

При регенерации песков из ОФС, согласно схеме пневматической регенерационной установки (рис. 3), отработанная смесь сначала проходит через магнитный сепаратор (1), с помощью которого отделяются металлические включения, затем после сортировки по размерам на грохоте (2) с помощью камерных насосов (3) поступает на измельчение в шаровой мельнице (4) и далее после охладителя (5) поступает в пневмогенератор (6). В пневматической регенерационной установке (пневмогенераторе) регенерируемый материал ОФС инжектируется подводимой струей сжатого воздуха и подается кверху по вертикальной трубе, из которой выбрасывается с большой скоростью (20–25 м/с) на конический колпак. При ударе о колпак ОФС интенсивно перетирается, глинистые пленки отделяются от зерен и вместе с пылевидными фракциями уносятся в отсасывающую трубу к установке пылеудаления. Песок же падает вниз и частично поступает снова на регенерацию, совершая повторные циклы регенерации, а частично пересыпается и поступает из данной секции в следующую, вниз по ступеням каскадного потока, к выходу из камеры установки и подачей в стержневые смеси. Таким образом при регенерации отработанных формовочных смесей, восстанавливается качество исходного материала песка, т. е. удаляется инертная пленка с поверхности песчинок, и обеспечивается обеспыливание формовочной смеси, используемой повторно.

Регенерированные пески должны соответствовать требованиям стандарта, предъявляемым к формовочным пескам, т.е. должны быть достаточно освобождены от примесей и содержать частицы определенной крупности.

ТАБЛИЦА 1. Состав и свойства регенерированных ФС [5]

Состав и свойства смеси	Формовочная смесь	
	облицовочная	наполнительная
Состав, мас. доля, %:		
свежий песок	20	-
регенерат	70	-
регенерированная формовочная смесь	-	98,5
бентонит	5–9	1,5
крахмалит	0,5–1	-
Свойства:		
прочность при сжатии, МПа	0,2	0,18
газопроницаемость	100	100
влажность, %	3–3,5	3,5–4,5

Как следует из таблицы 1, в составе облицовочных формовочных смесей регенерат песка может быть применен вместо 70 % свежего песка, а в составе наполнительных формовочных смесей – до 98,5 %.

С каждым годом вопрос утилизации ОФС становится все более актуальным [1–4]. При отсутствии регенерации отработанные формовочные смеси (ОФС) целесообразно использовать в других отраслях промышленности, т. к. этот многотоннажный промышленный отход по своему составу является уникальным сырьем в производстве строительных материалов. Использование ОФС в качестве сырьевого компонента строительных материалов приводит к значительному снижению капиталовложений в строительную индустрию.

Отработанные формовочные смеси неоднократно применялись в строительстве. За счет этого ОФС не оказывают отрицательного воздействия на окружающую среду.

Отработанные формовочные пески широко используются для улучшения грунтовых дорог и для приготовления асфальтобетонных смесей, в производстве цемента в качестве кремнеземно-известкового компонента его сырьевой смеси, в дорожном строительстве в качестве балластного материала для выравнивания рельефа и устройства насыпей, в композиции холодного и горячего асфальтобетона, для дорожного строительства в качестве щебня и т. д.

Захоронение неиспользуемых ОФС металлургических производств целесообразно проводить в овраги, отработанные карьеры и шахты.

Таким образом, в результате исследования подходов к утилизации отработанных формовочных смесей литейного производства были сформулированы следующие выводы:

- отмечена актуальность вопроса рационального использования регенерации и утилизации многотоннажных отходов литейного производства на примере АО «Невский завод»;
- выявлена целесообразность регенерирования песков ОФС литейного производства для их повторного использования в производстве формовочных смесей;
- установлена перспективность использования других компонентов ОФС в строительной индустрии.

Список используемых источников

1. Муртазаев С.-А. Ю., Чернышева Н. В., Успанова А. С., Муртазаев Б. Т. Применение местных песков и техногенных отходов в строительных растворах // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011_3. № 22. С. 141–148.
2. Малиновский В. С. Энегротехнологические возможности дуговых печей постоянного тока нового поколения // Электротехнология. 2007. № 7. С. 1–6.
3. Экологические проблемы литейного производства и пути их развития. URL: www.modificator.ru/ecology/ecology_problems.html (дата обращения: 14.02.2022).
4. Жариков В. В., Езерский В. А., Кузнецова Н. В., Стерхов И. И. Утилизация отходов литейного производства при изготовлении строительных изделий // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 189–194.
5. Инженерная экология литейного производства: учеб. пособие / А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков и др.; под общ. ред. А. Н. Болдина. М.: Машиностроение, 2010. 352 с.

УДК 681.88/.89
ГРНТИ 47.47.29

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ

Л. В. Маркова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
АО «Концерн «Океанприбор»

Представлены результаты исследований потерь энергии в усилителях различных классов при работе на нагрузку с выраженной емкостной составляющей импеданса. Дано сравнение относительных потерь энергии со звеном рекуперации и без него в усилителях классов В, G, H. Проведен анализ количественных характеристик линейных и ключевых

усилителей мощности, показана перспектива использования в гидроакустических передающих трактах усилителей класса D для устройств большой мощности.

широко-импульсная модуляция, гидроакустический передающий тракт, линейный усилитель мощности, ключевой усилитель мощности.

Повышение энергетической эффективности усилительных устройств является необходимым условием уменьшения тепловыделения и сокращения габаритов аппаратуры гидроакустических передающих трактов (ГАПТ). Основными энергонапряженными узлами ГАПТ являются оконечные каскады усилителей мощности, потери энергии в которых в значительной степени обусловлены емкостным характером проводимости возбуждаемого гидроакустического излучателя с коэффициентом активной мощности в диапазоне 0.1–0.5. Соответственно полная выходная мощность усилителя содержит значительную реактивную составляющую, процесс рекуперации которой является определяющим для обеспечения энергетической эффективности передающей аппаратуры.

Рассмотрим различные классы усилителей и определим эффективность их использования при работе на комплексную нагрузку.

Функциональная схема усилителя класса B с дополнительным звеном линейного усиления, обеспечивающим разряд конденсатора C_H представлена на рис. 1. Как известно [1], КПД усилительного устройства класса B при работе на активную нагрузку достаточно велик, однако, при наличии фазового сдвига φ между током и напряжением выходного сигнала, потери резко возрастают (рис. 2а). Значительно уменьшить остаточное напряжение в фазовом интервале φ (рис. 2б) позволяет использование дополнительного звена линейного усиления, обеспечивающего разряд емкости нагрузки на общую шину устройства.

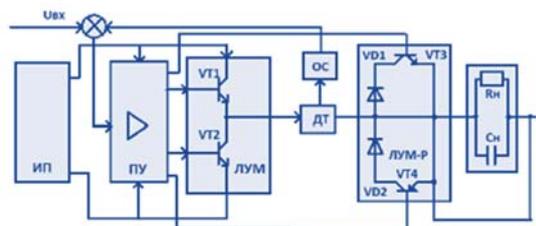


Рис. 1. Усилитель класса B.

ИП – источник питания;

ПУ – предварительный усилитель;

ЛУМ – линейный усилитель;

RC – нагрузка; ОС – цепь обратной связи;
ДТ – датчик тока; ЛУМ-Р – дополнительное звено усиления

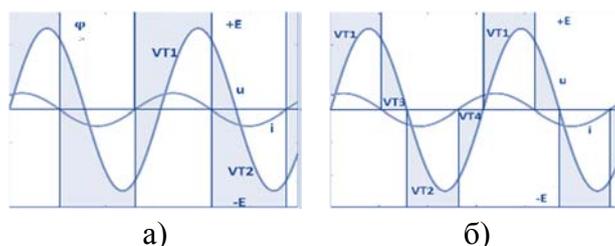


Рис. 2. Диаграммы сигналов в усилителе класса B (а), в том числе с использованием звена ЛУМ-Р для разряда емкости нагрузки (б)

Относительные потери энергии определяются соотношением:

$$p(\varphi, m) = m[4/\pi - m \cos(\varphi)]$$

Выражение для относительных потерь энергии усилителя класса B с дополнительным линейным звеном разряда:

$$p_{\text{п}}(\varphi, m) = m[2/\pi + (2/\pi - m) \cos(\varphi)]$$

Графические зависимости потерь энергии иллюстрируются на рис. 3а, 3б.

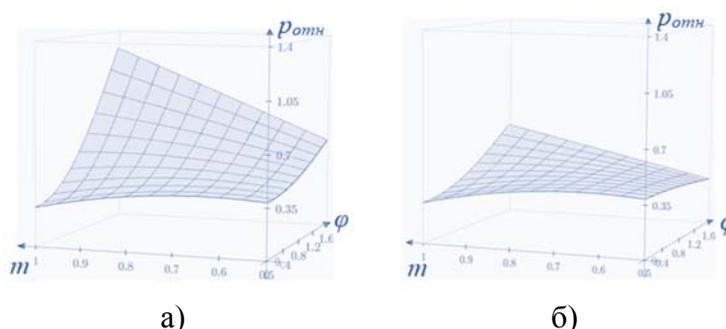


Рис. 3. Зависимости относительных потерь энергии от изменения фазового сдвига $\varphi = 0 \dots \pi/2$ для нормированной амплитуды выходного напряжения $m = 0.5 \dots 1$ усилителя класса B (а) и усилителя класса B с дополнительным звеном линейного усиления (б)

Сопоставление графиков подтверждает практически двукратное сокращение максимальных потерь энергии при использовании разряда емкости нагрузки на общую шину. Однако, при таком усложнении схемы усилительного устройства может оказаться целесообразным переход к использованию усилителя класса G [2]. Усилители класса G используют дискретное изменение напряжения электропитания в зависимости от уровня выходного сигнала. В общем случае функциональная схема усилителя класса G представлена на рис. 4.

Работа на комплексную нагрузку уменьшает выигрыш от использования дополнительных градаций напряжения электропитания. На рис. 5а можно видеть значительное увеличение остаточного напряжения на фазовом интервале φ , практически аналогичное рассмотренному увеличению в усилителе класса B . Включение в схему дополнительного звена рекуперации реактивной энергии нагрузки позволяет уменьшить мощность тепловыделения в усилителе класса G (рис. 5б).

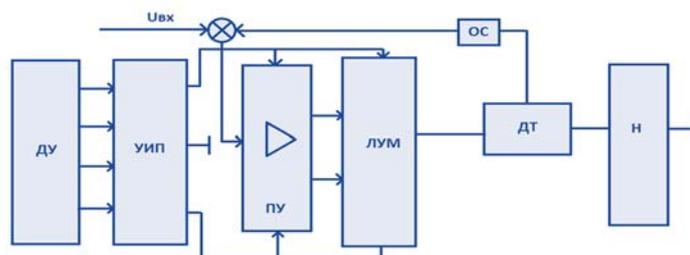


Рис. 4. Усилитель класса G. ДУ – дискриминатор уровня выходного напряжения; УИП – управляемый источник питания; ПУ – предварительный усилитель; ЛУМ – линейный усилитель мощности; ДТ – датчик тока; ОС – цепь обратной связи

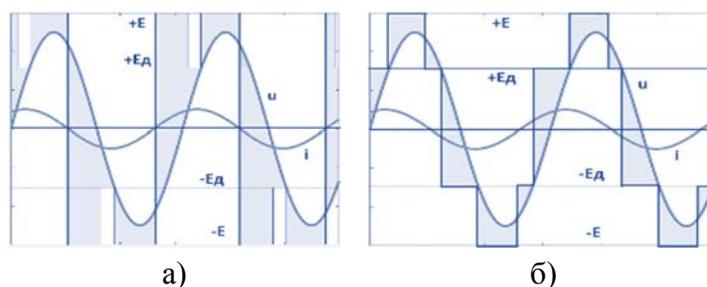


Рис. 5. Диаграммы сигналов в усилителе класса G а), в том числе с использованием дополнительного звена рекуперации энергии б)

Соотношение, определяющее нормированные потери энергии в традиционном усилителе класса G:

$$p_n(\varphi, m) = 4 m/\pi [1 - m \cos(\varphi\pi/4) - 0,5(1 - \xi_1) \times \\ \times (1 - (\sqrt{m^2 - (\xi_1)^2}/m \cos \varphi - \xi_1/m \sin \varphi)],$$

где $\xi_1 = E_d/E$ – относительная величина дополнительной ступени электропитания.

Потери энергии с условием рекуперации при одной дополнительной ступени электропитания:

$$p_n(\varphi, m) = 2m/\pi[(\xi_1 + 1)(1 - \sin \varphi \xi_1/m - \cos \varphi \sqrt{m^2 - (\xi_1)^2}/m) + \\ + (\xi_1/m \sin \varphi + \cos \varphi \sqrt{m^2 - (\xi_1)^2}/m - \cos \varphi)].$$

Зависимость потерь энергии для $\xi_1 = 0.5$ представлена на рис. 6а,б. Графическое представление потерь демонстрирует преимущество использования рекуперации [3] энергии при работе на комплексную нагрузку.

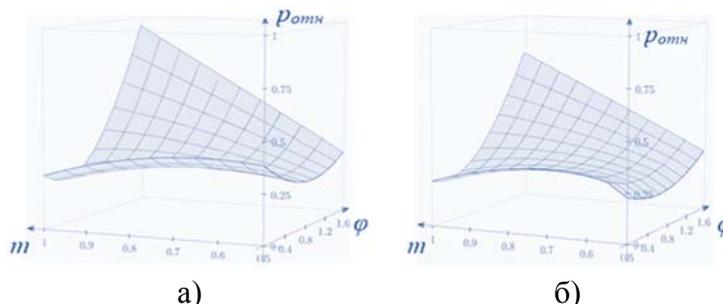


Рис. 6. Зависимости относительных потерь энергии от изменения фазового сдвига $\varphi = 0 \dots \pi/2$ для нормированной амплитуды выходного напряжения $m = 0.5 \dots 1$ усилителя класса G (а) и усилителя класса G с рекуперацией реактивной энергии нагрузки (б) при ступени переключения питания $\xi_1 = 0,5$

Более существенный эффект от использования рекуперации может быть обеспечен в усилителях класса H [4]. Здесь реализуется режим непрерывного изменения напряжения электропитания в соответствии с огибающей, либо с мгновенным значением выходного напряжения электропитания ΔE над выходным напряжением для сохранения режима линейного усиления. Для обеспечения режима рекуперации может быть предложена схема [5], представленная на рис. 7.

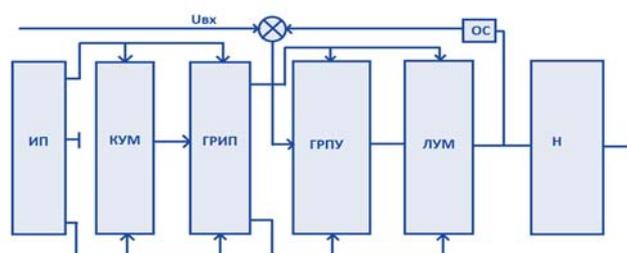


Рис. 7. Усилитель класса H . ИП – основной источник питания; КУМ – ключевой усилитель мощности; ГРИП – дополнительный гальванически развязанный источник питания; ГРПУ – гальванически развязанный предварительный усилитель; ЛУМ – линейный усилитель мощности; Н – нагрузка, ОС – цепь обратной связи по выходному напряжению

При работе на комплексную нагрузку на фазовом интервале φ , остаточное напряжение на проводящем транзисторе ЛУМ резко возрастает, что приводит к увеличению потерь энергии (рис. 8а), и тогда потери:

$$p_{\pi}(\varphi, m) = m[(4\Delta\xi + 2m(\sin(\varphi) - \varphi\cos(\varphi)))]/\pi.$$

Из временных диаграмм с использованием рекуперации (рис.8б), можно видеть, что процесс разряда емкостной составляющей нагрузки при таком электропитании ЛУМ не связан с увеличением остаточного напряжения. Тогда нормированные потери энергии не превышают уровня, определенного для активной нагрузки:

$$p_{\pi}(\varphi, m) = 4m\Delta\xi/\pi.$$

Сопоставление графического представления потерь для усилителей класса H (рис. 9а,б) подтверждает преимущество энергетических характеристик класса H с реализацией рекуперации энергии.

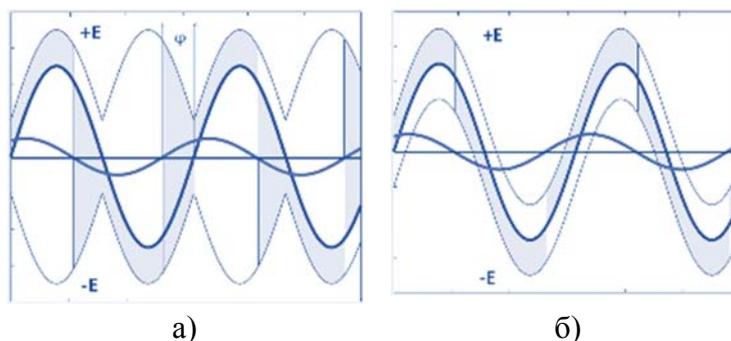


Рис. 8. Диаграммы сигналов в усилителе класса H (а), в том числе с использованием звеньев рекуперации энергии (б)

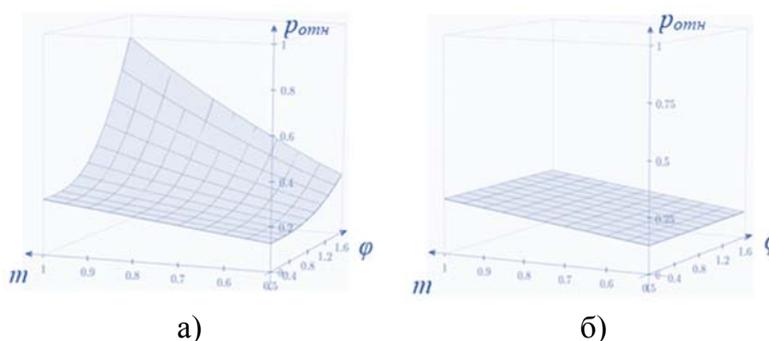


Рис. 9. Зависимости относительных потерь энергии от изменения фазового сдвига $\varphi = 0 \dots \pi/2$ для нормированной амплитуды выходного напряжения $m = 0.5 \dots 1$ усилителя класса H (а) и усилителя класса H с рекуперацией реактивной энергии нагрузки (б) при относительном изменении электропитания $\Delta\xi = 0,1$

В настоящее время в гидроакустических передающих устройствах приоритет принадлежит усилителям класса D [6], относительные потери в которых, как правило, не превышают 7–10 % и практически не зависят от характера нагрузки. Здесь уместно в качестве примера рассмотреть потери для типичного одноканального КУМ в составе усилителя класса D средней мощности (рис. 10). Временные диаграммы сигналов и нормированные потери энергии представлены на рис. 11а,б соответственно.

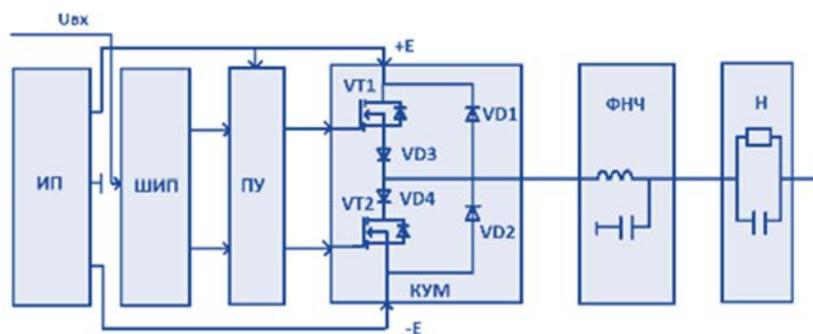


Рис. 10. Усилитель класса D. ИП – источник питания; ШИП – широтно-импульсный преобразователь; ПУ – предварительный усилитель; КУМ – полумостовая схема ключевого усиления, ФНЧ – фильтр нижних частот; Н – нагрузка

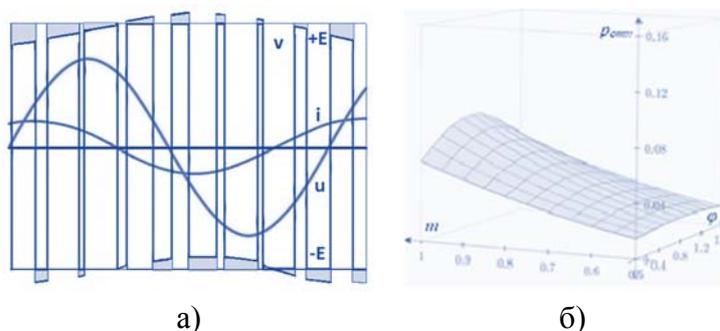


Рис. 11. Временные диаграммы сигналов (а) и нормированные потери энергии в усилителе класса D с учетом остаточных напряжений на ключевых элементах (б)

Сопоставление потерь энергии в усилителях класса *D* и в усилителях класса *B*, *G*, *H*, подтверждает безусловное преимущество ключевых усилителей для возбуждения гидроакустических излучателей.

Список используемых источников

1. Догадин Н. Б. Аналого-дискретные усилители. Волгоград СПб.: Перемена, 2003. 216 с.
2. US №8072266 Class G amplifier with improved supply rail transition control. Date of patent: Dec. 6, 2011.
3. Александров В. А., Маркова Л. В. Усилитель класса G. Пат. 2021119720 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель АО «Концерн «Океанприбор»; заявл. 05.07.2021.
4. US №8149061 B2 Class H amplifier. Date of patent. Apr. 3, 2011.
5. Александров В. А., Калашников С. А., Маркова Л. В. Усилитель класса H. Пат. 2021127183 Российская Федерация; заявитель и патентообладатель АО «Концерн «Океанприбор»; заявл. 14.09.2021.

6. Артым А. Д. Усилители класса D и ключевые генераторы в радиосвязи и радиовещании. Москва: Связь, 1980, 209 с.

Статья представлена научным руководителем, кандидатом технических наук, профессором О. В. Воробьевым.

УДК 621.396.96
ГРНТИ 47.49.02

ОБНАРУЖЕНИЕ УГЛА ПРИХОДА СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА MUSIC

П. А. Межевов, А. Д. Мухина

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

Одной из главных задач радиосвязи является поддержание безошибочного приема сигналов. В данной работе рассмотрен теоретический подход к определению угла прихода полезного сигнала, принцип работы алгоритма MUSIC. Большинство известных методов представляют собой метод оценки частот приходящего сигнала, для выделения его из белого шума. Этот метод определения угловых координат в цифровых антенных решётках не является исключением. Однако, в отличие от других в нём используются множественные сигналы, а также увеличивается точность результатов. Помимо этого, в работе анализируется влияние метода на современный подход приема сигнала и его вклад в развитие связи.

алгоритмы DoA, MUSIC, псевдоспектр.

Введение

В 1973 году В. Ф. Писаренко был представлен метод извлечения гармоник из ковариационной функции. Метод был основан на теореме Каратеодори о задаче тригонометрического момента [1]. На сегодняшний день существует множество алгоритмов определения направления прихода сигнала. Наиболее популярными считаются MUSIC и Root-MUSIC, которые являются алгоритмами разделения пространства входных сигналов на сигнальную и помеховую части. Алгоритм MUSIC считается наиболее классическим и общепринятым методом оценки параметров, который можно использовать как для однородных, так и для неоднородных линейных массивов.

Постановка задачи

Допустим, имеется линейная антенная решётка. На неё с разных направлений приходят сигналы. Изначально не известно ни направление, ни их количество. Для того, чтобы разрешить эту проблему применяется алгоритм MUSIC.

Основа определения направления фазы заключается в том, что существует сигнал, поступающий с дальнего поля. Необходимо выяснить, исходя из задержки, создаваемой каждым элементом приёма для этого сигнала, направление такого рода (источника) сигнала. Используемые антенны должны иметь фиксированную и известную фазу (в идеале нулевое смещение между ними). Положения антенн должны быть известны, и сигнал должен иметь ограниченную корреляцию между элементами [2].

В статье рассматриваются только однородные линейные массивы, их можно представить математически, используя каждый каскад приёма сигнала и вектор многообразия массива (1), который используется для представления отображения между фазой входного сигнала и положением антенных элементов.

$$v(k) = [e^{-jk^T p_0} \quad e^{-jk^T p_1} \quad \dots \quad e^{-jk^T p_{N-1}}]^T. \quad (1)$$

Задачей алгоритма MUSIC является нахождение оптимального вектора многообразия.

Принцип работы алгоритма MUSIC

Основой алгоритма является матрица корреляции полученных данных. MUSIC разделяет матрицу на подпространство сигнала и подпространство шума, и использует их для оценки направления прихода сигнала. После чего выполняется поиск по всей матрице векторов управления и определяются ортогональные сигналы управления и векторы шума.

Модель приёма сигнала $x(t)$ будет выглядеть следующим образом:

$$x(t) = \sum_{d=1}^D u_d(t)v(k_d) + n(t), \quad (2)$$

который может состоять из d сигналов, и по условию D (количество элементов) должно быть больше, чем количество принимаемых сигналов. Возьмем вектор приёма, сопоставив его со всей записью, произведём собственное разложение и получим нули, по которым сможем определить направление сигнала, от которого он исходит. Обычно разложение инвертируется и ищутся пики.

MUSIC воспринимается как специальный фильтр и используется для поиска наиболее коррелированных областей, на которые реагируют антенны. На рис. 1 изображён P-спектр или спектр MUSIC, пики которого представляют исходные углы и исходные положения излучающих передатчиков. По мере увеличения количества передатчиков четкость спектра в идеале улучшается, что не всегда происходит на практике. Хотя можно с точностью сказать, что чем больше элементов и приёмников, тем лучше алгоритм будет работать.

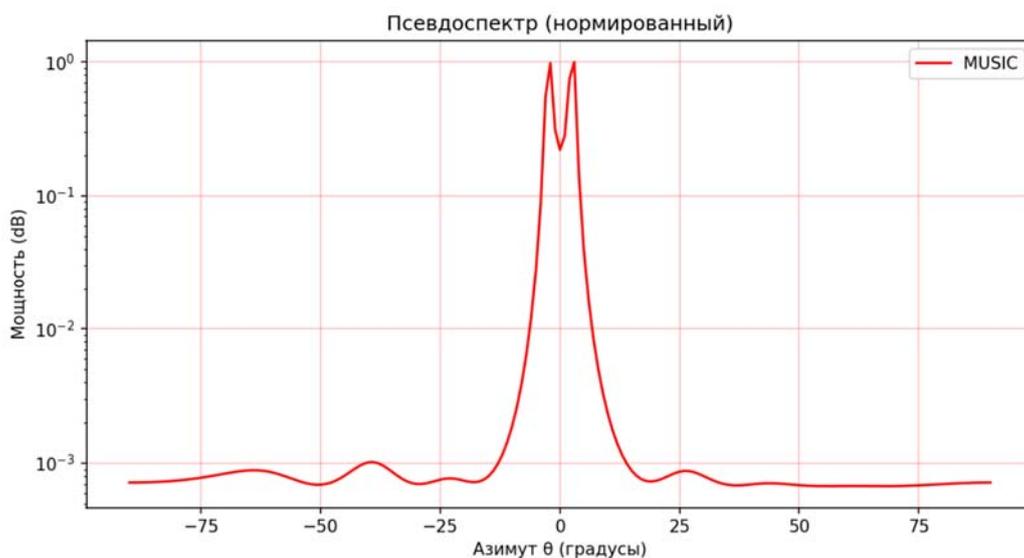


Рис. 1. График P-спектра

Если посмотреть на несколько отсчётов MUSIC (рис. 2), то можно заметить, что этот метод довольно надёжный. При нулевом ОСШ СКО меньше одного-двух градусов, что является довольно хорошим показателем, но на концах графика присутствуют асимптоты. Таким образом, невозможно измерить как сигнал движется к этим позициям относительно краёв. Если есть набор антенн и цель перемещается к краям элементов оценка становится всё хуже.

MUSIC накапливает данные по длительности измерения и по мере того, как

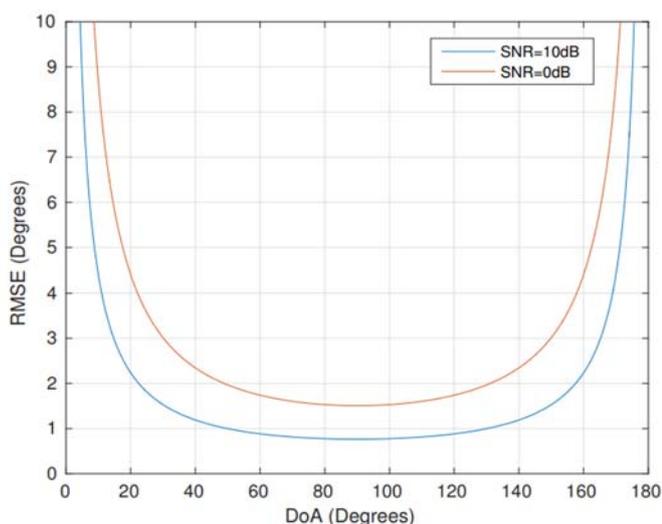


Рис. 2. График зависимости СКО от угла прихода сигнала [3, 4]

она становится всё больше, усредняете всё больше данных и в какой-то степени алгоритм будет работать лучше.

Алгоритм MUSIC

Обозначим матрицу $O(t)$, представляющую принятый сигнал, который содержит всю информацию, полученную с помощью общих элементов массива D .

$$O(t) = AS_s(t) + N(t), \quad (3)$$

A – представляет векторную матрицу управления, $N(t)$ – общий шум, принимаемый всеми элементами массива. Принятый элементами матрицы сигнал равен:

$$O(t) = [O_1(t) \quad O_2(t) \quad \dots \quad O_D(t)]^T. \quad (4)$$

Пусть C_j будет ковариационная матрица для полученных данных O , где ковариационная матрица – ожидание матрицы с её Эрмитовым эквивалентом.

$$C_O = E[OO^H]. \quad (5)$$

Теперь, используя уравнение (3) для значения O , получаем:

$$C_O = E[(AS + N)(AS + N)] = AE[SS^H]A^H + E[NN^H] = AC_OA^H + C_N, \quad (6)$$

C_N – корреляционная матрица для шума, и её можно выразить как:

$$C_N = \sigma^2 I \quad (7)$$

I в приведенном выше уравнении представляет собой единичную матрицу для антенной решетки $D \times D$. Поскольку сигналы практически связаны с некоторым шумом, необходимо вычислить корреляционную матрицу с учётом шума, поэтому новая модифицированная матрица:

$$C_O = AC_S A^H + C_N, \quad (8)$$

C_S здесь обозначает матрицу корреляции источника.

Чтобы отличить источники сигнала от источников шума, необходимо выполнить разложение по собственным значениям для рассчитанной ковариационной матрицы C_S , что приведет к собственным значениям D , где F –

количество больших собственных значений соответствует источникам сигнала, а источники шума задаются оставшимися меньшими собственными значениями $D-F$. Пусть B_S и B_N являются основой для подпространств сигнала и шума соответственно. Теперь разложенная форма корреляционной матрицы может быть задана как:

$$C_O = B_S \Sigma B_S^H + B_N \Sigma B_N^H. \quad (9)$$

$$\beta^H(\theta) B_N = 0. \quad (10)$$

Уравнение (9) справедливо, поскольку подход к оценке MUSIC основан на ортогональности подпространств сигнала и шума. Теперь источники падающего сигнала и подпространства шума могут быть расположены таким образом, чтобы получить угол для направления поступающего сигнала, как показано в следующем уравнении:

$$\theta_{MUSIC} = \operatorname{argmin} . \beta^H(\theta) B_N B_N^H \beta(\theta). \quad (11)$$

Поскольку нахождение пиков на графике спектральной оценки может быть лучшим способом определения углов, с которых поступают сигналы, нам необходимо поработать над обратным значением θ_{MUSIC} , чтобы получить максимальные значения спектра. Существует несколько подходов, а именно линейное предсказание, собственный анализ, формирование луча, матрица корреляции массива, максимальное правдоподобие, минимальная дисперсия, MUSIC и т. д. для определения функции псевдоспектра (P_{MUSIC}). Ниже приведено обратное представление приведенного выше уравнения для получения пиков на графике спектральной оценки [4]:

$$P_{MUSIC} = \frac{1}{\beta^H(\theta) B_N B_N^H \beta(\theta)}. \quad (12)$$

На графике отображаются резкие и высокие пики, когда θ точно равно направлению прихода источника сигнала. Более высокие пики F имеют большую мощность и соответствуют расчетному углу прихода.

Обобщенный алгоритм MUSIC можно представить в виде следующей блок-схемы:



Рис. 3. Блок-схема алгоритма MUSIC

Влияние метода на современный подход приёма сигнала

Среди всех алгоритмов нахождения угла прихода сигнала наиболее распространёнными являются следующие восемь алгоритмов оценки DoA, разделённые на три категории:

1. Отклик без искажений минимальной дисперсии (MVDR), задержка и сумма классической категории;
2. Множественная классификация сигналов (MUSIC), Root-MUSIC, оценка параметров сигнала с помощью метода вращательной инвариантности (ESPRIT) и минимальная норма категории на основе подпространства;
3. Детерминированное максимальное правдоподобие (DML) и стохастическое максимальное правдоподобие (SML) относятся к категории ML [5].

По данным исследований Root-MUSIC, ESPRIT и MUSIC демонстрируют более высокую точность и разрешение, чем другие алгоритмы [4, 6]. Следует также отметить, что MUSIC является более универсальным, поскольку его можно использовать для различных геометрий массива.

Список используемых источников

1. Pisarenko V. F. The retrieval of harmonics from a covariance function // Geophys. J. Royal Astron. Soc. 1973. no. 33.
2. Gupta S. K. P. MUSIC and improved MUSIC algorithm to estimate direction of arrival // IEEE, 2015.
3. T.F.Collins, Gr-doa: Direction Finding in GNU-Radio // GRCon 2017, September 2017.
4. Stoica P., Nehorai A. MUSIC, maximum likelihood and Cramer-Rao bound // IEEE transactions on acoustics, speech and signal processing. May 1989. vol. 37 no. 5.

5. Moghaddam S. S., Monfared S. A. A Comprehensive Performance Study of Narrow-band DOA Estimation Algorithms // International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP), August 2011, pp. 396–405.

6. Ralph O. Schmidt, Multiple emitter location and signal parameter estimation // IEEE transactions on antennas and propagation. vol. Ap-34, no. 3, March 1986.

*Статья представлена заведующим кафедрой,
кандидатом физико-математических наук, доцентом К. О. Коровиным.*

УДК 621.396.72
ГРНТИ 49.37.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОМЕЩЕНИЙ

А. А. Нестеров, О. А. Симонина, Е. А. Хрипунов, М. Е. Шалаева

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

В статье представлены результаты разработки, реализации и тестирования беспроводной системы мониторинга промышленных помещений. В процессе работы выбрана аппаратная база, разработаны алгоритмы для микроконтроллера, реализованные в виде прошивок на ArduinoС. Разработан протокол уровня представления данных, позволяющий определять порядок инкапсуляции и декапсуляции передаваемых данных. Проведена серия экспериментов на реальном объекте, определены показатели качества: зависимости количества успешно полученных пакетов от скорости передачи, зависимости количества полученных пакетов от дальности радиосвязи, вероятности успешной доставки пакетов, двусторонней задержки. Показано, что вероятность доставки сообщений составляет 94 % без использования дополнительных мер повышения помехоустойчивости.

система мониторинга, IoT, показатели качества.

Важной составляющей систем IoT (Industrial Internet of Things) являются системы беспроводных коммуникаций, позволяющие производить мониторинг состояния промышленных объектов [1]. Одной из классических задач является сбор данных с датчиков различных типов.

В данной работе представлена система малого радиуса действия, разработанная для передачи информации мониторинга на шлюз корпоративной сети предприятия и реализованная на платформе Arduino UNO R3.

1. Разработка аппаратной составляющей системы мониторинга

В качестве базового модуля выбран микроконтроллер ATmega328 с разводкой входов и выходов для программирования и подключения внешних устройств. Характеристики микроконтроллера: напряжение питания 5 В, объем флэш памяти FLASH 32 кБ, объем оперативной памяти SRAM 2 кБ, объем энергонезависимой памяти EEPROM 1 кБ, частота тактирования 16 МГц.

Для беспроводной передачи данных используется одночиповый трансивер, выполненный на базе микросхемы nRF24L01+ и работающий под общим диапазоном ISM 2,4-2,5 ГГц. Беспроводной приёмопередатчик включает в себя частотный генератор, улучшенный контроллер режима ShockBurst™, усилитель мощности, кристаллический усилитель мощности и демодулятор. Выбор выходного канала мощности и протокол могут быть установлены с помощью радиointерфейса SPI, имеющего передающую мощность 6 дБм.

Модуль поддерживает работу со скоростью 250 кБит/с, 1 Мбит/с или 2 Мбит/с, и может работать на 126 независимых каналах, что позволяет подключать в одну систему большое количество устройств. Для передачи данных используется собственный протокол.

Беспроводной модуль nRF24L01+ с усилителем и внешней антенной может работать на расстоянии до 1100 метров про скорости 250 Кбит/с, при 1 Мбит/с – 750 метров, при скорости 2 Мбит/с – 520 метров [2]. Данный модуль позволяет передавать информацию в обоих направлениях и объединять несколько устройств в топологию «звезда». Приемник поддерживает получение данных по шести каналам.

Модуль приемопередатчика nRF24L01+ использует структуру кадра канального уровня Enhanced ShockBurst [3]. Структура кадра допускает полезную нагрузку переменной длины от 1 до 32 байт. Также каждому отправленному пакету предоставляется идентификатор пакета для определения повторных передач. Поддерживается квитирование.

Для сбора данных используется цифровой датчик влажности и температуры DHT11 [4], состоящий из термистора и емкостного датчика влажности. Влажность определяется в диапазоне 20–80 %, температура от 0°C до 50°C, что предполагает его использование в помещении.

Питание платформы передающей части осуществляется с помощью переносного блока питания номиналом 5 В через кабель USB. Датчик запитан непосредственно от платформы Arduino UNO R3. Питание платформы принимающей части осуществляется от ПК через кабель USB, по которому также передаются полученные данные. Радиомодуль принимающей части подключается аналогично передающей.

2. Разработка комплекса алгоритмов для микроконтроллера

Для решения поставленной задачи был разработан комплекс алгоритмов и программных кодов на Arduino C [5] для тестовых прошивок микроконтроллера, которые позволят определить качественные показатели работы модулей радиосвязи в реальных условиях. Комплекс алгоритмов включает в себя следующие алгоритмы:

- анализа помеховой обстановки на всех доступных каналах в режиме приема;
- определения задержки передачи информации по радиоканалу – для приемной и передающей части;
- тестирования качества связи – для приемной и передающей части.

Протокол уровня представления данных определяет порядок инкапсуляции и декапсуляции передаваемых данных, которые далее могут быть обработаны на уровне приложений. Исходя из максимального размера передаваемого сообщения и возможности последующего расширения системы, выбрана структура сообщений, представленная на рис. 2.

Тип устройства	Идентификатор устройства	Тип сообщения	Информационная часть сообщения
1 байт	1 байт	1 байт	0–29 байта

Рис. 2. Формат сообщения

Поле тип устройства определяет роль устройства в системе. Для шлюза тип устройства определен как значение 1 в данном поле.

Поле идентификатор устройства содержит порядковый номер, однозначно определяющий устройства в системе, в случае, если имеется несколько устройств одного и того же типа. Протокол поддерживает 255 устройств одного типа, 254 типа устройств.

Поле тип сообщения содержит значение, определяющее функцию, реализуемую данным сообщением. В рамках данной работы определено значение 3, как информационное сообщение, которое содержит полезную нагрузку для передачи на целевое устройство. В дальнейшем могут быть добавлены дополнительные значения, для расширения функционала системы.

Комбинация полей тип устройства и тип сообщения однозначно определяют вид и размер информационной части сообщения. Максимальный размер информационной части составляет 29 байт.

Было принято решение не вводить в данный протокол поле контрольной суммы, так как проверка уже реализована на канальном уровне.

3. Исследование показателей качества связи

Серия экспериментов проводилась при начальных условиях: с передатчика отправлялись пакеты с данными, а на приемной стороне каждые 2 мс

выводилось на экран ПК количество полученных пакетов. Максимальное количество пакетов, отправленное и успешно доставленное за 2 мс – 362.

3.1. Исследование зависимости количества успешно полученных пакетов от скорости передачи

Эксперимент проводился на трех скоростях, поддерживаемым модулем: 1 Мбит/с, 250 кбит/с, 2 Мбит/с. Как показал эксперимент, среднее количество полученных пакетов оказалось наибольшим на скорости 1 Мбит/с (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Зависимость среднего количества принятых пакетов от скорости передачи

Скорость, мбит/с	0,25	1	2
Среднее значение количества пакетов	348,39	361,97	334,27

3.2 Исследование зависимости количества полученных пакетов от дальности радиосвязи

Эксперимент проводился на оптимальной скорости, определенной в предыдущем эксперименте – 1 Мбит/с. Измерения проводились сессиями в 12 точках, расстояния которых, измеряемые в метрах, равны: 0; 1,2; 3,3; 6, 9, 15, 21, 30, 45, 60, 75, 90. График зависимости количества полученных пакетов от расстояния между передатчиком и приемником представлен на рис. 3. Черная линия на графике – линия тренда.



Рис. 3. Зависимость количества полученных пакетов от расстояния между передатчиком и приемником

3.3 Исследование вероятности успешной доставки пакетов

Эксперимент проводился на оптимальной скорости, определенной в первом эксперименте – 1 Мбит/с. В ходе испытания было произведено

121 измерение. Из них 114 – с положительным исходом, т. е. были доставлены неповрежденные пакеты.

Вероятность доставки целых пакетов рассчитывалась по формуле:

$$p = \frac{n_+}{n},$$

где n_+ – количество положительных исходов эксперимента; n – количество всех исходов эксперимента.

Вероятность доставки неповрежденных пакетов равна 0,9421.

В разработанной системе пакеты в полном объеме доставляются в 94 % случаев, что является приемлемым показателем. В оставшихся 6 % пакетов было потеряно по 1 сообщению из 362 отправляемых.

3.4 Исследование двусторонней задержки

В ходе эксперимента проводилось исследование двусторонней задержки с использованием квитирования: с передатчика отправлялись пакеты с данными, приемник их получал и отправлял квитанции о получении. Передатчик после получения квитанции выводил на экран ПК значение задержки в мкс.

Эксперимент проводился на оптимальной скорости, определенной в первом эксперименте – 1 мбит/с. В ходе испытания было произведено 25 582 измерения. Все значения задержек были разбиты на шесть интервалов, которые представлены в таблице 2. Также в таблице 2 отображено количество попадания значений задержки в каждый интервал.

ТАБЛИЦА 2. Частота попадания значений задержки в интервалы

Интервалы значений задержек	0 – 4 000	4 000 – 8 000	8 000 – 12 000	12 000 – 16 000	16 000 – 20 000	> 20 000
Количество попаданий в диапазон	20 437	4 138	844	111	43	8

По полученным статистическим данным были определены: матожидание – 1792, 3; дисперсия – 5426410,042; СКО – 2329,46.

Гистограмма, представленная на рис. 4, отражает частоту попадания значений задержки в интервалы. Черная линия на графике – линия тренда.

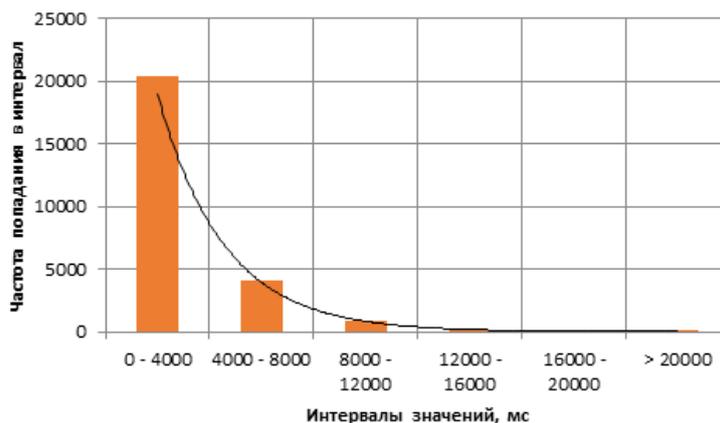


Рис. 4. Частота попадания значений двусторонней задержки в интервалы

Основная масса значений задержек входит в диапазон до 4 мс, что не является критичным для передачи информации о температуре и влажности воздуха. Ожидаемое значение двусторонней задержки 1,8 мс.

Заключение

Таким образом, исследование показало, что использование аппаратной базы с поддержкой кадра Enhanced ShockBurst позволяет обеспечить достоверность передачи информации в реальных условиях 94 % даже при отсутствии дополнительных процедур повышения помехоустойчивости на верхних уровнях.

Список используемых источников

1. ПНСТ 440-2020. Информационные технологии. Умный город. Показатели ИКТ. М., 2001. 24 с.
2. nRF24L01+ Preliminary Product Specification 1.0 // Nordic Semiconductor. URL: <https://www.nordicsemi.no> (дата обращения: 24.01.2021).
3. Enhanced ShockBurst (ESB). User Guide // nRF Connect SDK. URL: https://developer.nordicsemi.com/nRF_Connect_SDK/doc/latest/nrf/ug_esb.html (дата обращения: 24.01.2021).
4. Как подключить DHT11 и DHT22 к Ардуино // Робототехника. URL: <https://роботехника18.рф/dht11/> (дата обращения: 24.01.2021).
5. Language Reference // Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/> (дата обращения: 24.01.2021).

УДК 621.396
ГРНТИ 47.45.29

ПРИМЕНЕНИЕ MIMO ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

И. А. Никитин, Г. А. Фокин

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

Применение миллиметрового диапазона для радиосвязи позволяет применять гораздо более широкую полосу пропускания канала, чем было доступно ранее, при этом появляется возможность использовать десятки и сотни антенных элементов в пользовательских устройствах, базовых станциях и точках доступа. На сегодняшний день такие технологии MIMO, как пространственное мультиплексирование, формирование диаграммы направленности и разнесение широко используются в низкочастотных системах, таких как Wi-Fi и LTE. В данной работе исследуются фундаментальные вопросы, связанные с выбором наилучших решений для передачи данных в миллиметровом диапазоне, а также представлены идеи, проблемы и подходящие варианты использования каждого метода MIMO, основанные на начальных знаниях о среде распространения миллиметровых волн.

5G, диаграммообразование, MIMO, миллиметровые волны, пространственное уплотнение.

Проблемы организации радиосвязи с использованием технологий пространственной обработки сигналов (ПОС) MIMO (Multiple Input Multiple Output) в диапазоне миллиметровых волн (ММВ) являются крайне актуальным направлением исследований [1–5]. ПОС в многоантенных системах может использоваться различным образом [6–8], включая разнесенный прием [9], пространственное мультиплексирование (Spatial Multiplexing, SM) [10], диаграммообразование (Beamforming, BF) в так называемых умных (Smart) антеннах [11], определение направления прихода сигнала [12–14] в задачах пеленгации, организацию направленных радиолиний в самоорганизующихся пакетных радиосетях [15–17], пространственное уплотнение одновременных передач в сверхплотных сетях [18–23], а также специальные вопросы выравнивания лучей [24, 25]. Эти технологии уже используются беспроводных локальных сетей (Wi-Fi) и системах мобильной связи Long Term Evolution (LTE). Они, несомненно, будут играть важную роль в сетях 5G, которые уже начинают разворачивать во множестве стран.

В данной работе приводится сравнение и сопоставление оценок пропускной способности для передачи с SM и BF вместе с исследованием путей

оптимального использования этих режимов в будущих беспроводных системах миллиметрового диапазона (mmWave) с полосой пропускания канала в сотни мегагерц.

SM обеспечивает увеличение пропускной способности системы связи за счёт разделения потока на несколько частей, где каждая часть передаётся одновременно и параллельно через разные антенны. Немного отличающиеся пути распространения заставляют каждую из этих частей – называемых пространственными потоками – «видеть» разные частотно-селективные каналы. Используя измерения с нескольких антенн на отдельном приёмнике (однопользовательский MIMO, SU-MIMO) или, когда одновременно принимают сигналы несколько пользователей (многопользовательский MIMO, MU-MIMO), приёмник может реконструировать исходный сигнал благодаря использованию оценки информации о состоянии канала (CSI). Если CSI приёмника также доступен передатчику, в передатчике можно использовать предварительное кодирование для оптимальной отправки данных по каналу, что повышает пропускную способность (ПС) с применением более простых приёмников. Использование информации о канале в передатчике называется пространственным мультиплексированием с обратной связью (closed-loop SM), где обратная связь обычно используется для передачи CSI от приёмника обратно к передатчику [1]. В системах с временным разделением каналов (time-division duplex, TDD) передатчик способен напрямую измерять CSI, когда приёмник принимает решение о передаче без получения ответа, что позволяет использовать SM без обратной связи (open-loop SM). Оба варианта SM поддерживаются в таких стандартах как IEEE 802.16e/m (WiMAX), LTE и 5G. Для правильной работы SM канал должен обеспечивать достаточную декорреляцию между близко расположенными антеннами, но даже если канал не имеет достаточного разнесения для поддержки SU-MIMO, MU-MIMO всё же может обеспечить повышенную ПС на одном радиоканале для нескольких пространственно разнесённых пользователей.

Диаграммообразование (BF) – это классический метод обработки сигнала с помощью антенной решётки (АР), при котором несколько элементов антенны адаптивно фазируются для формирования концентрированного и направленного луча. Его можно использовать как в передатчике, так и в приёмнике, чтобы обеспечить повышенный коэффициент усиления АР, тем самым обеспечивая большее отношение сигнал-шум (SNR) и дополнительный запас радиоканала на потери распространения. Также BF обеспечивает снижение внутриканальных помех за счёт пространственной избирательности. В приёмнике можно объединить несколько лучей, что дополнительно позволяет компенсировать потери на трассе. Для систем миллиметрового диапазона технология BF имеет большие перспективы, поскольку адаптивные антенны могут быть изготовлены в очень компактных форм-факторах и принимать сигналы с различных направлений, чтобы использовать отражения

и рассеяние от объектов для обеспечения максимального уровня сигнала при когерентном выравнивании принимаемых сигналов.

Ключевыми факторами, определяющими необходимость использовать SM или BF, являются отношение сигнал/шум SNR и эквивалентная полоса пропускания, предоставляемая каждому пользователю. SM использует несколько потоков на одной несущей для увеличения пропускной способности на пользователя, но метод наиболее эффективен, когда радиоканалы работают с высоким SNR и имеют ограничения по полосе пропускания, но не имеют ограничений по мощности. В направлениях излучения с низким SNR (например, в каналах с ограниченной мощностью и небольшими помехами) SM дает мало преимуществ, поскольку передатчик должен распределять свою мощность между различными пространственными потоками, тем самым ослабляя каждый поток и вызывая битовые ошибки, которые ограничивают общий прирост пропускной способности. Таким образом, в режиме ограниченной мощности BF может обеспечить большую пропускную способность за счет увеличения SNR, что позволяет использовать более сложную модуляцию. Вместе с тем, системы миллиметрового диапазона часто будут ограничены по мощности, а не по ширине полосы (из-за гораздо большего спектра и более высоких потерь на трассе), а также часто будут ограничены шумом, а не помехами благодаря использованию ИА [3].

Преимущества пространственного мультиплексирования и диаграммообразования могут быть достигнуты одновременно с оптимальной аппаратной архитектурой. Например, можно использовать несколько лучей в BF для увеличения SNR в случаях с ограниченной мощностью, а также передавать различные потоки данных на каждом из лучей на одной и той же несущей частоте для увеличения скорости передачи данных, если канал миллиметрового диапазона имеет достаточно различных путей распространения в пространственной и поляризационной областях. Эта возможность одновременного использования BF и нескольких потоков SM, недоступная для беспроводных сетей УВЧ/СВЧ диапазонов, которые в настоящее время используют антенны с низким коэффициентом усиления или всенаправленные антенны. Кроме того, если канал может обеспечить несколько пространственных степеней свободы, где каждый основной луч имеет малый среднеквадратичный разброс задержек (или только несколько значительных компонентов многолучевого распространения), становится возможным использовать как SM, так и BF с упрощенной архитектурой приёмника, использующей простую коррекцию во временной области или rake-приёмники (например, методы широкополосной модуляции с одной несущей) по очень широкополосным каналам со значительно уменьшенной задержкой. Это контрастирует с сегодняшними сетями LTE и Wi-Fi, которые используют выравнивание в частотной области с несколькими несущими с небольшим

разнесением поднесущих для создания узкополосных каналов с плоским замиранием для использования MIMO. Для дальности связи, превышающей 100 м, в миллиметровом диапазоне с уровнями мощности менее одного ватта, BF может быть предпочтительнее SM, особенно в каналах с прямой видимостью LOS (Line of Sight) для компенсации потерь на трассе.

В данной статье мы рассмотрели основные методы MIMO – пространственное мультиплексирование (SM) и диаграмообразование (BF) – для систем беспроводной связи миллиметрового диапазона, а также изучили, когда эти варианты наиболее применимы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. Love D. J., Heath R. W., Lau V. K. N., Gesbert D., Rao B. D., Andrews M. An overview of limited feedback in wireless communication systems IEEE JSAC, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks. 2008. Vol. 26. № 8. pp. 1341–1365.
2. Sun S., Rappaport T. S. Wideband mmWave Channels: Implications for Design and Implementation of Adaptive Beam Antennas // 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014). 2014, pp. 1–4.
3. Akdeniz M. R. et al. Millimeter Wave Channel Modeling and Cellular Capacity Evaluation // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2014. Vol. 32, № 6. pp. 1164–1179.
4. Samimi M. K., Rappaport T. S. Ultra-wideband statistical channel model for non line of sight millimeter-wave urban channels // 2014 IEEE Global Communications Conference. 2014. pp. 3483–3489.
5. Sun S., Rappaport T. S., Heath R. W., Nix A., Rangan S. Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both? // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52, № 12. pp. 110–121.
6. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Особенности реализации и перспективы развития технологии Massive MIMO в сетях // В сборнике: Интернет вещей и 5G (INTHIT-EN 2017). 3-я Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2017. С. 186–190.
7. 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.
8. Степанец И., Фокин Г. Особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G // Первая миля. 2018. № 1 (70). С. 46–52.
9. 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.
10. Степанец И. В., Фокин Г. А., Мюллер А. Способы оценки пропускной способности систем massive MIMO // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 64–69.

11. 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.

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. 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.

16. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 144 с.

17. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 17 с.

18. Фокин Г. А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.

19. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66–73.

20. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66–73.

21. Фокин Г. А. Оценка помех в сверхплотных сетях радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Т. 8. № 4. С. 35–59.

22. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103, 22.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.

23. Фокин Г. А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.

24. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125,

07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.

25. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

УДК 004.93'12
ГРНТИ 49.37.33

ДРОНЫ – БЕСПИЛОТНЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (БПЛА), ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Г. Г. Павлова

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

Устройства, которые мы называем «дронами», делятся на две категории: одни – это полностью автономный гаджет, который летает без какого-либо вмешательства человека, другие работают на дистанционном управлении – пилот стоит на земле и следит за движениями дрона либо наблюдает за ним с экрана или с помощью специальных очков. Оба вида используют разные технологии и обладают разным потенциалом, но одинаково считаются дронами.

бортовой комплекс управления, наземный комплекс управления, программное обеспечение, дальность радиосвязи, фиксация данных и передача информации.

В 1898 г. Никола Тесла – применил «телемеханизацию», с помощью которой удаленно управлял небольшой лодкой с помощью радиочастот. Во времена Первой мировой войны Чарльз Кеттеринг создал экспериментальную беспилотную ракету «Жук» Кеттеринга. А в 1930-е годы британская армия использовала для военных испытаний первую беспилотную радиоуправляемую летающую мишень *Queen Bee*. [2].

Будущее дронов зависит от их правового регулирования. Сейчас в России вес БПЛА не должен превышать 30 кг. Беспилотник тяжелее 30 кг подпадает под государственную регистрацию. Беспилотники могут прилетать в недоступные и опасные зоны и сбрасывать необходимые припасы. Дрон способен добраться и изучить практически любое место, куда не могут или не хотят попасть люди. [1].

Детали смартфона, которые используются в дронах:

- гироскоп – небольшой датчик, который определяет, в какую сторону направлено устройство; он помогает дрону двигаться именно в заданном направлении.

- акселерометр – датчик, определяющий скорость и направление движения; он помогает дрону удерживаться в нужном месте и на нужной высоте.

- *GPS*-навигатор – без него дрон не понимал бы, где он находится и куда направляется;

- процессор – микрокомпьютер, благодаря которому все устройства с каждым годом становятся все более быстрыми и эффективными. Процессоры для дронов делают те же компании, которые производят их для мобильных устройств;

- камера – чем качественнее камера, тем более умен и автономен дрон.

Современные БПЛА различаются **характеристиками**:

- способностью самостоятельно перемещаться в воздухе;
- умением выдерживать заданную высоту и скорость полёта;
- перемещением дополнительной нагрузки разной массы;
- возможностью установки на аппарат дополнительного оборудования для фиксации данных и передачи информации оператору в реальном времени;

- целями использования,
- дальностью полёта,
- массой полезной нагрузки,
- базовым механизмом и пр.

По **техническим характеристикам** выделяют дроны двух типов: самолётного и вертолётного типа.

В основе самолётных моделей – несущие плоскости-крылья, которые обеспечивают дрону высокий, продолжительный полёт большого радиуса.

Беспилотники вертолётного (или коптерного) типа оснащены винтами: трикоптер оснащен 3 винтами; квадрокоптер – 4 винтами; гексакоптер – 6 винтами; октокоптер – 8 винтами.

Дроны коптерного типа отличаются плавностью и стабильностью полёта, подходят для мониторинга территории и её детального анализа.



Рис. 1. Дрон DJI Mavic 2

Применение беспилотных летательных аппаратов

Беспилотники разделяют исходя из **цели использования**. Выделяют военные дроны, используемые в боевых действиях. Они способны самостоятельно совершать посадку, летать на дальние расстояния, выполнять поставленные тактические задачи, выдерживать тяжёлые грузы.

БПЛА применяются для решения широкого круга задач, таких как аэроэлектроразведка, аэромагнитометрия, аэрофотосъёмка, газоанализация, патрулирование и т. д. Поэтому необходимо сформировать **комплекс аппаратных и программных средств**, позволяющих на уровне комплектации и настройки интегрировать систему с различными полезными нагрузками на базе БПЛА различных массогабаритных характеристик. Комплекс управления БПЛА по назначению разделяется на два сегмента: бортовой комплекс управления (**БКУ**) и наземный комплекс управления (**НКУ**).

Основной задачей НКУ является:

- обеспечение командно-телеметрического взаимодействия с БКУ;
- обеспечение ручного управления в реальном времени;
- предоставление элементов программирования и управления БПЛА;
- представление телеметрической информации в графическом виде;
- отражение результатов функционирования полезной нагрузки.

Система рабочего места оператора на базе портативной персональной электронной вычислительной машины (ППЭВМ), подключённой к приёмопередающей аппаратуре командно-телеметрического канала показана на рис. 1. Графическое управляющее программное обеспечение (ПО) осуществляет программирование маршрута и отображение параметров полёта.

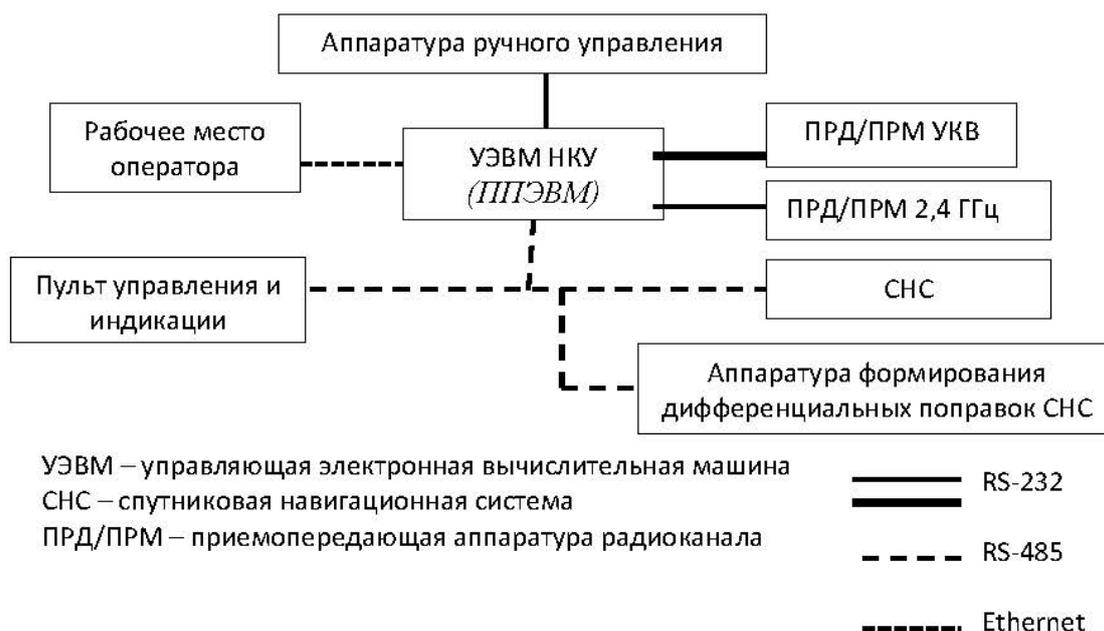


Рис. 1. Система рабочего места оператора на базе портативной персональной электронной вычислительной машины (ППЭВМ)

Система управления пространственным положением при помощи остро­направленной антенной системой (АС), обеспечивает оптимизацию про­цесса вхождения в связь в комплексах управления БПЛА (рис. 2).

Система управления остро­направленной АС включает в себя:

- остро­направленную АС, радиотехнические параметры которой вы­бираются, исходя из требований обеспечения необходимой дальности связи по радиолинии;
- сервопривод АС, обеспечивающий пространственную ориентацию ДН АС в направлении ожидаемого появления излучения объекта связи;
- систему автоматического сопровождения по направлению (АСН), обеспечивающую устойчивое автосопровождение объекта связи в зоне уве­ренного захвата пеленгационной характеристики системы АСН;
- радиоприемное устройство, обеспечивающего формирование сиг­нала «Связь», свидетельствующего о приеме информации с заданным каче­ством;
- процессор управления антенной системой, обеспечивающий анализ текущего состояния системы управления АС, формирование сигналов управления сервоприводом для обеспечения пространственной ориентации АС в соответствии с полетным заданием и алгоритмом пространственного сканирования, анализ наличия связи, анализ возможности перевода серво­привода АС из режима «Внешнее управление» в режим «Автосопровожде­ние», формирование сигнала перевода сервопривода АС в режим «Внешнее управление».

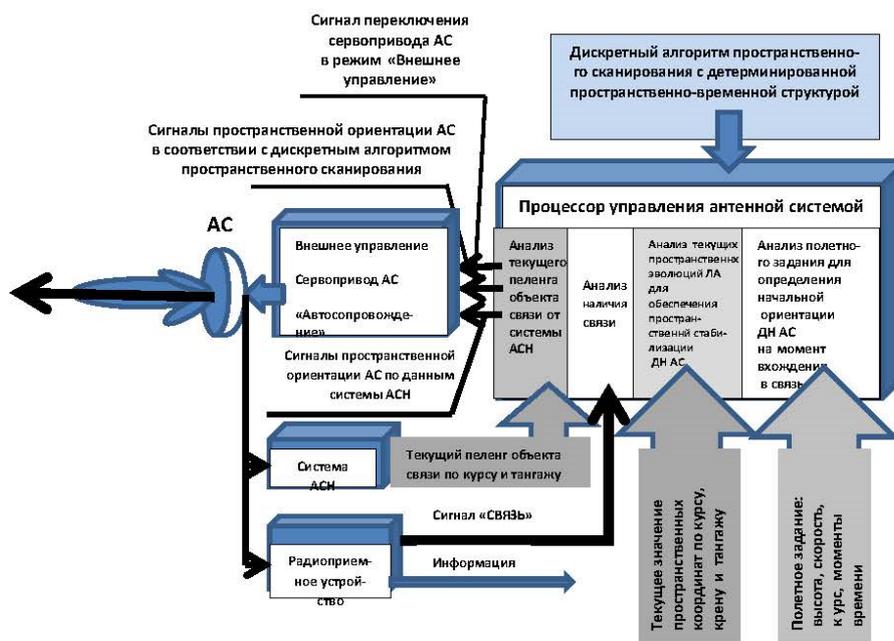


Рис. 2. Функциональная схема системы управления пространственным положением остро­направленной АС в комплексах управления БПЛА

Для пространственного сканирования с детерминированной пространственно-временной структурой сканирование ДН АС осуществляется дискретно во времени и в пространстве, а пространственные перемещения ДН АС при сканировании осуществляются таким образом, чтобы не оставалось пространственных зон, которые не перекрываются зоной уверенного захвата система АСН за весь цикл сканирования [3].

В состав БКУ БПЛА входят три составных элемента:

- интегрированная Навигационная Система;
- приемник Спутниковой Навигационной системы;
- модуль автопилота, объединяющего вычислитель;
- микромеханическую инерциальную навигационную систему;
- спутниковую навигационную систему;
- абсолютный и дифференциальный манометры.

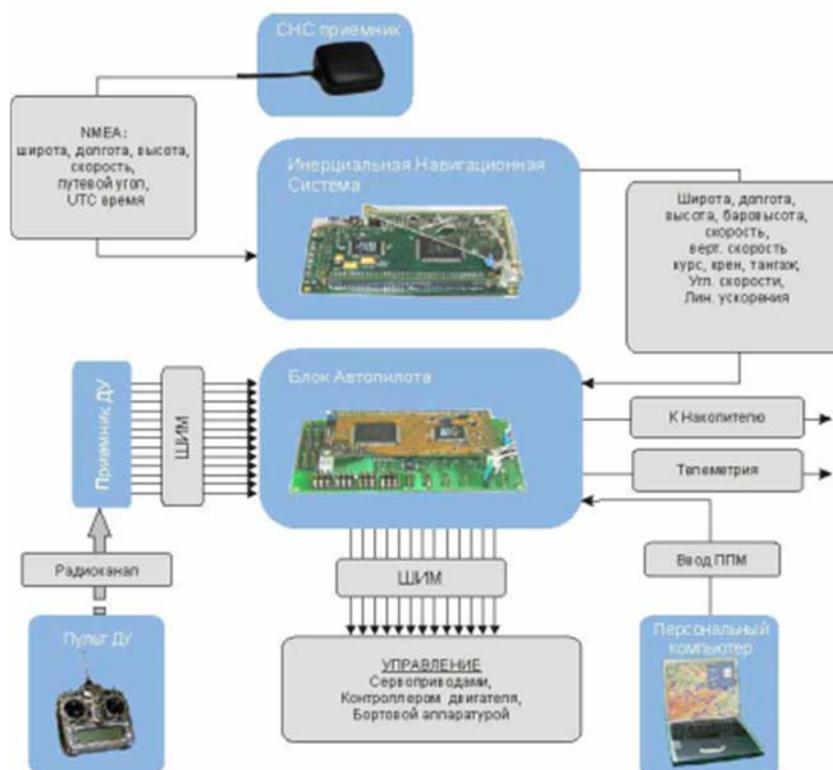


Рис. 3. Бортовой комплекс управления БПЛА

Модуль автопилота осуществляет выработку управляющих команд в виде широтно-импульсно-модулированных (ШИМ) сигналов, согласно законам управления, заложенным в вычислитель.

Помимо управления БЛА, автопилот программируется на управление бортовой аппаратурой: стабилизация видеокamеры, синхронизированное по времени и координатам срабатывание затвора фотоаппарата, выпуск парашюта, сброс груза или отбор проб в заданной точке и другие функции.

В память автопилота может быть занесено до 255 поворотных пунктов маршрута. Каждая точка характеризуется координатами, высотой прохождения и скоростью полета [2].

Список используемых источников

1. <http://www.airwar.ru/bpla.html>
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/UAV>
3. http://www.ispl.ru/Sistemy_upravleniya-BLA.html

Статья представлена заведующим кафедрой PCuB, кандидатом технических наук, профессором О. В. Воробьевым.

УДК 621.396
ГРНТИ 47.49.31

ТЕХНОЛОГИЯ DEVICE-TO-DEVICE (D2D) В СЕТЯХ 5G

Р. С. Рощинский, Г. А. Фокин

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

Технология (D2D) является важной частью системы пятого поколения (5G). Благодаря развитию данной технологии, получится усовершенствовать коммуникации общественной безопасности, автономное вождение и информационно-развлекательные услуги. 3GPP определил основные функциональные возможности D2D-коммуникаций применительно к общественной безопасности; также рассматривались приложения D2D для сотовых сетей. В настоящей работе приводится анализ особенностей построения и функционирования технологии D2D в сетях пятого и последующих поколений.

5G, LTE, D2D, 3GPP.

Направление Device-to-Device (D2D) в сетях 5G является актуальным объектом исследования благодаря своему потенциалу сокращения задержек, увеличения пропускной способности и энергоэффективности [1–4]. Область применения D2D расширяется, включая бесконтактные услуги, сценарии сетевого позиционирования [5–11] и адаптивного диаграммообразования [12–18], связь между транспортными средствами (V2X) [19, 20], Интернет вещей (IoT). Существенной частью использования D2D является энергоэффективность, которая сильно зависит от используемых радиоинтерфейсов. D2D относится к связи между подвижными сетевыми устройствами, которые могут быть сотовыми телефонами или транспортными средствами, и часто не требует прямой связи с сетевой инфраструктурой.

Базовая архитектура 3GPP ProSe технологии D2D показана на рис. 1.

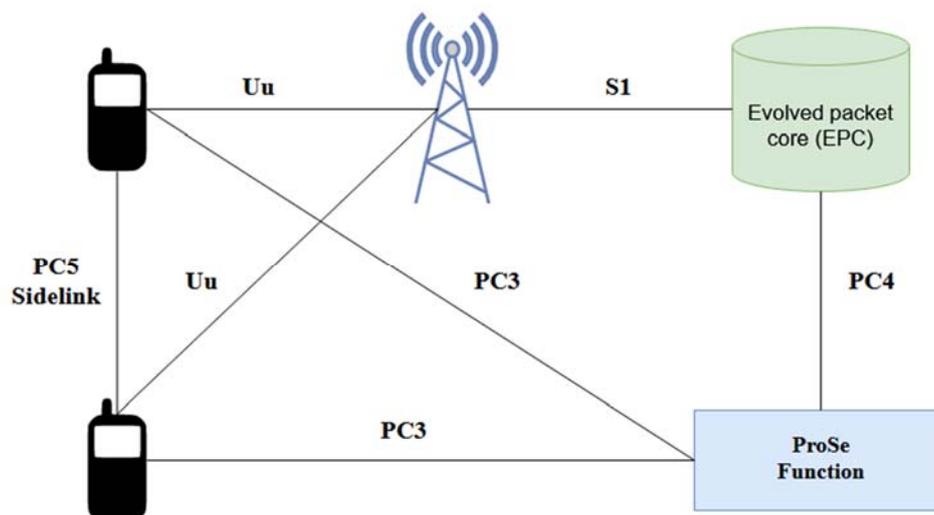


Рис. 1. Архитектура и логические интерфейсы для бесконтактных сервисов (ProSe)

Пользовательское устройство UE, которое хочет использовать ProSe, должно сначала связаться с функцией ProSe через логический интерфейс PC3 для получения авторизации и безопасности данных. После завершения обмена сообщениями запроса и ответа на обнаружение через PC3 UE может начать процесс прямого обнаружения, чтобы найти другие UE с возможностью прокладки линий ProSe в их непосредственной близости, используя интерфейс PC5. Когда два (или более) UE с поддержкой ProSe обнаружили друг друга, они могут запустить прямую связь между собой. Физический интерфейс между двумя ProSe UE называется sidelink. Частотно-временные ресурсы для sidelink совместно используются с UL. Поскольку ProSe был первоначально разработан для групп общественной безопасности, передача sidelink основана на многоадресной рассылке без гибридной обратной связи с автоматическим повторным запросом (HARQ). Вместо этого, каждый media access control (MAC) protocol data unit (PDU) ретранслируется три раза с различной версией избыточности для каждой передачи. Пулы ресурсов выделяются для передач sidelink, чтобы избежать столкновений между ними и обычными передачами UL. Физические блоки ресурсов (PRB), принадлежащие пулам ресурсов sidelink, транслируются в качестве системной информации в UE. Ресурсы в пуле ресурсов могут быть выделены NodeB (eNB) (Режим 1) или они могут быть автономно выбраны UE (Режим 2), который обеспечивает связь по sidelink, когда UE не находится в пределах покрытия соты. Связь ProSe была дополнительно улучшена в релизе 13, позволив UE работать в качестве ретранслятора для другого UE. Ретрансляция реализована на третьем уровне таким образом, что сеть не может отличить

трафик удаленного UE от трафика ретрансляционного UE. Это ограничивает возможности оператора рассматривать удаленный UE как отдельное устройство для выставления счетов и обеспечения безопасности.

Сервисные требования 5G рассматривают D2D двумя способами. Первый использует прямое подключение устройства без какого-либо сетевого объекта посередине. Во втором подходе ретрансляционный UE находится между UE и сетью 5G. Это называется режимом косвенного сетевого подключения. Ретрансляционный UE может использовать несколько схем доступа, таких как 5G RAT, LTE, WiFi. Непрерывность обслуживания играет ключевую роль при переходе от одного ретрансляционного UE к другому или к режиму прямого сетевого подключения.

Устройства IoT с большим ожидаемым сроком службы батареи и легкость подключения устройств между собой, подключенных к сотовой сети, в их непосредственной близости, особенно выиграют от коротких каналов D2D. С точки зрения покрытия удаленный UE может быть расположен внутри соты, вне соты, или может работать в режиме с расширенным покрытием. Поскольку сотовые устройства IoT в основном достигают расширенного покрытия за счет большого числа повторных передач, повышение энергоэффективности осуществляется за счет использования коротких каналов D2D с минимальными повторениями. Ретрансляция с помощью sidelink может быть двунаправленной или однонаправленной (рис. 2).

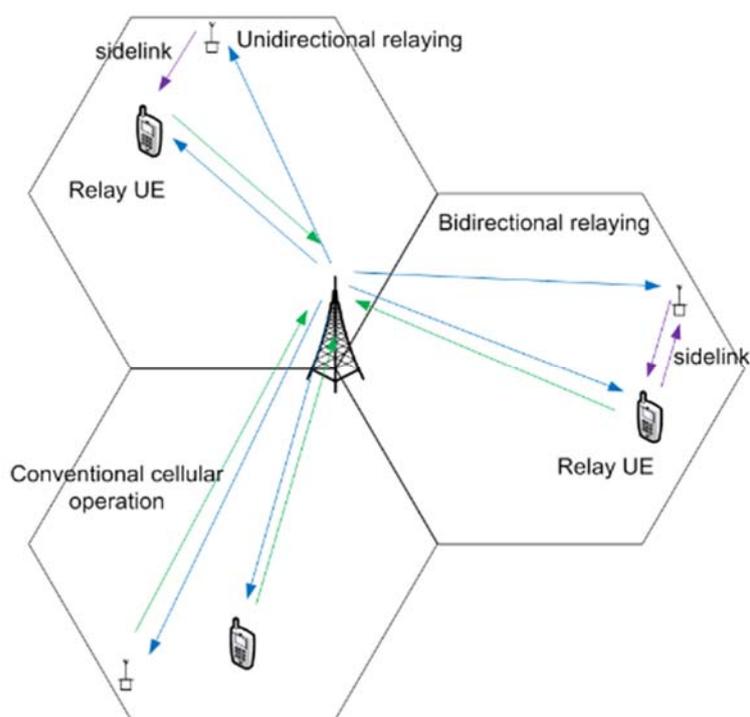


Рис. 2. Варианты ретрансляции между устройствами D2D для (IoT)

Двунаправленная ретрансляция более проста в реализации с минимальной сигнализацией от eNB. Однако двунаправленная ретрансляция по sidelink требует возможностей приема сигналов UL для удаленных UE. Это будет означать реализацию приемника UL для недорогих устройств IoT, что может быть нецелесообразно с точки зрения стоимости устройства. Таким образом, многие из открытых вопросов в ретрансляции D2D для IoT связаны с вопросом, как эффективно реализовать обязательные функциональные возможности обнаружения для однонаправленной ретрансляции.

3GPP была предложена ретрансляционная архитектура. Ретрансляция выполняется над уровнем управления радиолинией (RLC), т. е. RLC и нижние слои заканчиваются на канале D2D, а более высокие слои на удаленном UE и eNB. Эти предложения на уровне 2 в основном предполагали осуществимость двунаправленной ретрансляции; влияние однонаправленной ретрансляции не было полностью проанализировано.

На рис. 3 представлена модель системы высокого уровня для связи D2D в сети 5G. Существует множество типов пользователей, которые подключаются к базовым станциям с помощью сотовых интерфейсов. Узлы также могут напрямую взаимодействовать, используя каналы связи D2D между узлами, которые находятся в непосредственной близости друг от друга. Прямые связи между пользовательскими устройствами, такими как телефоны и ноутбуки, могут использовать несколько RAT. Автомобили также используют специальный стандарт 802.11p в диапазоне интеллектуальных транспортных систем (ITS) 5,9 ГГц для связи V2X.

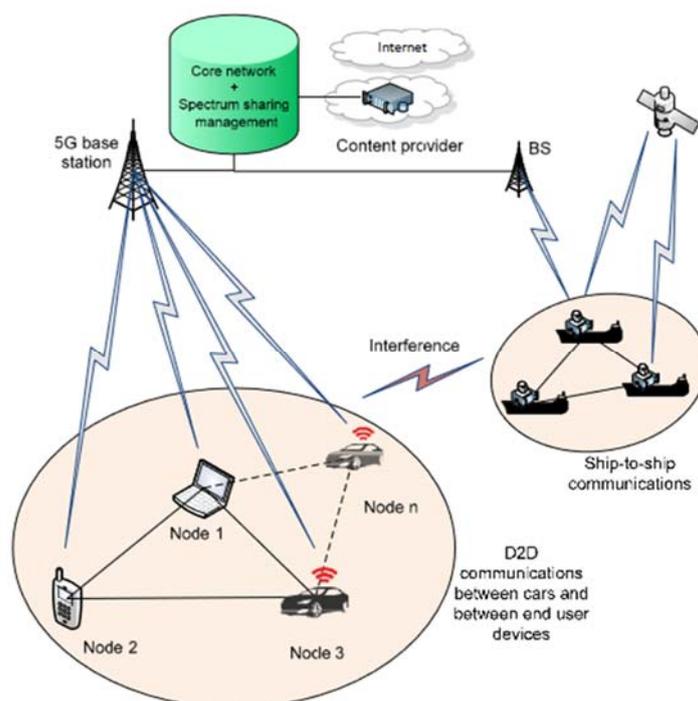


Рис. 3. Высокоуровневая модель системы для D2D связи в 5G

Ядро 5G поддерживает бесшовное соединение между различными RAT и наземным и спутниковым сегментами. Это также позволяет QoS управлять передачей данных, например, путем выделения части ресурсов приложениям с более высоким приоритетом. Могут быть реализованы сквозные сетевые слои, предназначенные для автономного вождения и других вариантов использования, чтобы требования QoS могли быть удовлетворены в любых обстоятельствах с помощью надлежащих механизмов распределения ресурсов. Методы виртуализации позволяют различным операторам совместно использовать сетевые ресурсы с другими (виртуальными) операторами и обеспечивать сквозное подключение через границы сетевой инфраструктуры оператора. В дополнение к управлению базовой сетью, сети 5G также будут использовать технологии совместного использования спектра для максимально эффективного использования доступных радиоресурсов.

Список используемых источников

1. Lin X., Andrews J.G., Ghosh, A., Ratasuk R. An overview of 3GPP device-to-device proximity services // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52, № 4. pp. 40–48.
2. 3GPP. TR 36.84. Study on LTE Device to Device Proximity Services. V12.0.1. 2020.
3. 3GPP TS 22.261 Service Requirements for the 5G System, V16.0.0. 2017.
4. 3GPP. TR36.746 Study on Further Enhancements to LTE Device to Device (D2D), UE to Network Relays for IoT (Internet of Things) and Wearables. V2.0.1. 2017.
5. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб. : СПбГУТ, 2020. 558 с.
6. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М. : Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
7. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 2. С. 3–9.
8. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 3. С. 13–21.
9. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G // 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. 268–273.
10. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
11. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
12. Фокин Г.А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
13. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3(95). С. 66–73.
14. Фокин Г. А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.

15. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66–73.

16. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103, 22.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.

17. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.

18. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

19. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 4. С. 43–57.

20. Фокин Г. А., Владыко А. Г. Позиционирование транспортных средств с комплексированием дальномерных, угломерных и инерциальных измерений в расширенном фильтре Калмана // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 2. С. 51–67.

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С ППРЧ В ЛИНИЯХ КВ РАДИОСВЯЗИ

Е. А. Рылов

Акционерное Общество «Проектно-конструкторское бюро «РИО»

Проведен анализ качества пространственно-временной обработки сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты на подвижных объектах в линиях КВ радиосвязи для нестационарной сигнально-помеховой обстановки.

пространственно-временная обработка сигналов, адаптивная антенная решетка, корреляционная матрица.

Перспективным направлением повышения помехозащищенности линий КВ радиосвязи является комплексное использование адаптивных антенных систем и сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) [1].

В то же время при применении методов пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) в линиях связи с ППРЧ необходимо учитывать высокий динамизм сигнально-помеховой обстановки (СПО) и явление частотной зависимости амплитудно-фазового распределения (АФР) токов по раскрытию антенной решетки (АР), вызванной апертурным эффектом. При этом на каждой частотной позиции СПО в общем случае различна и априорно неизвестна, что требует проводить анализ качества методов ПВОС с ППРЧ в наихудших условиях СПО для получения потенциальных гарантированных оценок помехозащищенности таких линий.

Рассмотрим случаи, учитывающие инерционность системы управления АР и динамизм СПО, следующим образом:

$T_\phi < T_p$, где T_ϕ – общее время адаптации АР; T_p – интервал изменения СПО.

В этом случае динамизм СПО не оказывает влияния на эффективность ПВОС. Тогда необходимо формирование на каждой частотной позиции оптимального по МОСПШ ВВК по одному из известных алгоритмов ПВОС. Наихудшая же помеха предполагает равномерное распределение мощности помех по всем частотным позициям;

$T_\phi \geq T_p$ – при этом динамизм СПО оказывает существенное влияние на эффективность ПВОС, и наихудшей будет помеха, предполагающая подавление отдельных частотных позиций при ограниченной средней мощности с временем переключения $T_p < T_\phi$.

Поясним данные утверждения на конкретных примерах. Анализ эффективности адаптации АР рассмотрим при использовании алгоритма непосредственного обращения выборочной корреляционной матрицы (КМ). Нестационарность СПО в этом случае проявляется в том, что на каждом элементе обучающей выборки значение угловых координат источников помех может изменяться. Скорость изменения угловых координат определяется динамизмом СПО и может быть охарактеризована коэффициентом нестационарности K_n СПО, показывающим, через сколько элементов обучающей выборки происходит соответствующее изменение СПО. Проанализируем следующие модели изменения СПО:

1. Угловые координаты помехи принимают лишь несколько различных постоянных значений с интенсивностью переключения, определяемой K_n .

2. Происходит монотонное изменение (в сторону роста или уменьшения) угловых координат источника помех на случайную величину $\Delta\theta_n$, что возможно при перемещении объекта с АР относительно источника помех.

Интенсивность изменения также определяется K_n ; $\Delta\Theta_{\Pi}$ равномерно распределена в интервале $0 \dots \Delta\Theta_{\Pi\max}$.

3. Угловые координаты источника помехи случайно меняются с интенсивностью, определяемой K_n , равномерно принимая любые значения от $\Theta_{\Pi\min}$ до $\Theta_{\Pi\max}$.

Рассмотрим линейную АР, состоящую из восьми изотропных невзаимодействующих антенных элементов (АЭ), разнесенных в пространстве на расстояние, равное половине длины волны, соответствующее средней частоте рабочего диапазона перестройки частот. На вход такой АР поступает сигнал $X(t)$ в виде смеси полезного сигнала, аддитивного белого шума и плосковолновой помехи. При отсутствии полезного сигнала выборочная КМ формируется согласно выражению

$$\hat{R}_{xx} = 1/2 N \sum_{j=1}^{2N} X(j)X^H(j), \quad (1)$$

где $X(j)$ j -е выборочное значение вектора $X(t)$; X^H – сопряженное транспонирование X .

Будем считать, что на каждой частотной позиции происходит взятие необходимого обращения КМ (1) числа выборок. При этом угол места источника помехи Θ_{Π} скачкообразно изменяется согласно одной из рассматриваемых моделей нестационарной СПО. Пространственно-временная обработка сигналов с ППРЧ осуществляется как во всей полосе частот (в которой происходит перестройка рабочей частоты), так и на каждой частотной позиции (быстродействующая обработка). При этом быстродействующая ПВОС не обязательно обеспечивает адаптацию на каждой частотной позиции заново, но может означать и использование ранее вычисленного и запомненного ВВК для средней частоты поддиапазона, куда входит текущая частотная позиция и в котором СПО однородна [2].

Для первой модели СПО рассмотрим случай, когда угол места помехи Θ_{Π} скачкообразно изменяется, попеременно принимая одно из двух неизменных значений $\Theta_{\Pi 1}$, $\Theta_{\Pi 2}$. Выделим три характерные ситуации, когда формирование КМ (1) осуществляется при $K_n = 1$ (изменение Θ_{Π} происходит на каждой выборке), $K_n = 4$ (четыре скачка Θ_{Π} за время пребывания на одной частоте) и $K_n = 8$ (два скачка Θ_{Π}). Зависимости отношения сигнал-(помеха + шум) (ОСПШ) на выходе АР от ширины диапазона изменения частот ΔF для этих ситуаций с различными значениями $\Theta_{\Pi 1}$ и $\Theta_{\Pi 2}$ приведены на рис., а. Здесь и в дальнейшем непрерывные, штриховые и точечные линии соответствуют $K_n = 1; 4$ и 8 . Линии 1-6 соответствуют быстродействующей обработке, 7-12 – ПВОС во всей полосе изменения частот. Графики получены при следующем соотношении на входе АР мощностей помехи P_{Π} , сигнала P_c и шума $P_{\text{ш}}$: $P_{\Pi}/P_c = 10$, $P_c/P_{\text{ш}} = 0$ дБ.

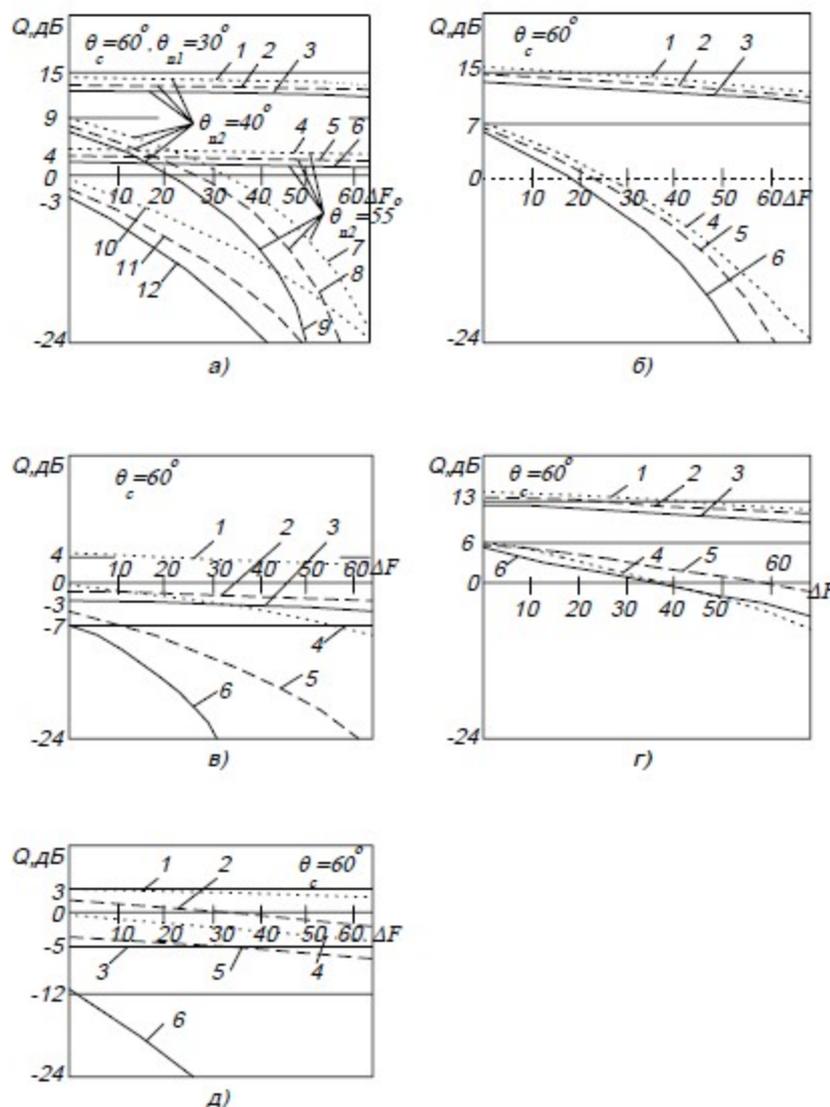


Рисунок. Зависимости отношения сигнал-(помеха + шум) (ОСПШ) на выходе АР от ширины диапазона изменения частот ΔF

Результаты анализа эффективности обработки при формировании КМ согласно второй модели СПО показаны на рис. В этом случае также рассмотрены ситуации с $K_n = 1; 4$ и 8 . На рис., б приведены зависимости ОСПШ от ΔF для $\theta_{пн} = 30^\circ$, $\theta_c = 60^\circ$ и $\theta_{п\max} = 1^\circ$; на рис., в при тех же значениях $\theta_{пн}$, θ_c , но для $\theta_{п\max} = 30^\circ$. Линии 1-3 соответствуют быстродействующей обработке, 4-6 – обработке во всем диапазоне перестройки частот.

Анализ эффективности обработки в АР при третьей модели нестационарности СПО представлен на рис. Энергетические соотношения между P_c , P_n и $P_{ш}$ такие же, как и в предыдущих моделях. На рис., г приведены зависимости ОСПШ от ΔF при $\theta_c = 60^\circ$, $\theta_{п\min} = 10^\circ$, $\theta_{п\max} = 30^\circ$. На рис., д аналогичные зависимости для $\theta_c = 60^\circ$, $\theta_{п\min} = 50^\circ$, $\theta_{п\max} = 70^\circ$. Линии

1-3 соответствуют быстродействующей ПВОС, 4-6 – ПВОС во всей полосе перестройки рабочей частоты.

Анализ графиков показывает, что эффективность узкополосной ПВОС с ППРЧ, реализованной на основе процедур обращения выборочной КМ, существенно зависит от динамизма СПО. Для первой рассматриваемой модели СПО, которая характерна при наличии нескольких мерцающих помех с постоянными угловыми координатами, эффективность обработки определяется величинами рассогласований между угловыми координатами источников сигнала и помех, нестационарностью СПО и шириной диапазона перестройки частот. Из графиков рис., *a* видно, что при большом угловом рассогласовании, даже при $K_n = 1$, ОСПШ при быстродействующей обработке уменьшается незначительно с увеличением ΔF . При малом угловом рассогласовании выходное ОСПШ резко падает и ПВОС становится неэффективной. Эффективность ПВОС во всей полосе рабочих частот не превышает 0 дБ при $\Delta F > 10\%$ и снижается при увеличении нестационарности СПО.

Вторая модель СПО описывает ситуацию, когда источники сигнала и (или) помех перемещаются относительно друг друга. Анализ графиков на рис., *b*, *в* для этого случая показывает, что эффективность ПВОС существенно зависит от величины $\Theta_{п\max}$. При небольших значениях $\Theta_{п\max}$ (рис., *b*) эффективность быстродействующей обработки сохраняется высокой. Увеличение $\Theta_{п\max}$ (рис., *в*) снижает эффективность АР по подавлению помех и при значительной нестационарности СПО приводит к потере в эффективности обработки. Узкополосная обработка во всем диапазоне перестройки частот возможна при $\Theta_{п\max} < 1$ и относительной ширине полосы частот до 25 %.

Анализ результатов моделирования ПВОС с ППРЧ для третьей модели СПО (рис., *г*, *д*) показывает, что наличие флуктуаций угловых координат источника помех значительно снижает эффективность адаптивной АР. При этом существенное влияние на эффективность ПВОС оказывает величина дисперсий флуктуаций угловых координат помех и близость возможных их значений к значению угла прихода сигнала.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наиболее эффективной является быстродействующая обработка, при которой выходное ОСПШ сохраняется высоким для значений относительной ширины рабочего диапазона до 50...60 %. Для ускорения процесса вычисления ВВК при синтезе ДН АР в адаптивном режиме применяют различные методы. При этом один из наиболее эффективных подходов – использование быстрых алгоритмов матричных факторизаций, среди которых наиболее распространены QR , LU , LDU – факторизации, сингулярное разложение КМ.

Список используемых источников

1. Никитченко В. В., Смирнов П. Л. // Зарубежная радиотехника, 1988, N 5.
2. Глушанков Е. И., Колесников А. Н. // Изв. Вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1990. N 12.

УДК 621.396.96
ГРНТИ 47.49.31

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИЁМНИКА СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЕТИ LTE С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛОВ PRS МЕТОДОМ OTDOA

К. Е. Рютин, Г. А. Фокин

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

Стремительное развёртывание сетей мобильной связи LTE (Long Term Evolution) и потенциальные возможности сетевого позиционирования делают эту технологию перспективным кандидатом для сценариев определения местоположения. В данной статье приводится обзор программно-аппаратной реализации SDR-приёмника, способного определять местоположения в сетях LTE с использованием сигналов PRS.

позиционирование, LTE, PRS, OTDOA, SDR.

Современный этап развития цифровой экономики в целом и отрасли инфокоммуникаций в частности характеризуется широким внедрением новых услуг сетевого позиционирования пятого и последующих поколений [1, 2], которые с точки зрения оператора сотовой сети подвижной радиосвязи определяются набором сценариев [3, 4]. На сегодняшний день уже можно констатировать оформление сетевого позиционирования как отдельного научного направления, что подтверждается достаточно объемными отечественными [5, 6] и зарубежными изданиями [7–9]. Несмотря на перспективы достижения высокой точности определения местоположения устройств в сетях 5G NR [10], актуальными остаются вопросы организации сетевого позиционирования в существующих сетях стандарта 4G LTE [11]. Анализ эволюции технологий позиционирования в сетях 2G-4G [12–16] показал, что в условиях города, когда сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) оказываются недоступны, определение местоположе-

ния устройств в определенных сценариях возможно исключительно с использованием инфраструктуры сотовых сетей подвижной радиосвязи. Для позиционирования устройств в сетях LTE (Long-Term Evolution) используется разностно-дальномерный метод OTDOA (Observed Time Difference of Arrival) [17], исследованию которого посвящены работы [18–23]. Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод о потенциальной точности в десятки метров при использовании специальных опорных сигналов позиционирования PRS (Positioning Reference Signal).

Целью настоящей работы является исследование особенностей формирования сигналов PRS на физическом уровне для их первичной корреляционной обработки на приеме с последующей вторичной обработкой разностей времен прихода и построением линий положения – гипербол.

Дальномерные измерения в сетях 4G LTE при помощи параметра разности времён прихода опорных сигналов RSTD (Reference Signal Time Difference) способны обеспечить горизонтальную точность порядка 9,8 м и вертикальную точность порядка нескольких метров (с точностью до этажа) [5, 6], что является удовлетворительным показателем для множества сценариев [3, 4]. Стандарт LTE специфицирует опорные сигналы позиционирования PRS (Positioning Reference Signal) для определения местоположения пользовательского устройства UE (User Equipment) в сети, образованной множеством базовых станций eNB (Evolved Node-B). Данные сигналы позволяют реализовать метод позиционирования с помощью наблюдаемой разности времён прихода OTDOA (Observed Time Difference Of Arrival) сигналов на UE [17]. Далее описывается приём и обработка сигналов PRS.

Передачу и приём сигналов PRS можно осуществить с помощью программно-конфигурируемого приемопередатчика (SDR – Software-Defined Radio), который использует возможности позиционирования LTE. Приемопередатчик может быть реализован на платформе универсального периферийного программного радио (USRP – Universal Software Radio Peripheral) и MATLAB для оцифровки и обработки сигнала. Приемопередатчик работает на физическом уровне, реализуя методы синхронизации времени и частоты для сигналов LTE. Оценка временной задержки может быть выполнена автономно без вспомогательных данных позиционирования, предоставляемых протоколом позиционирования LTE (LPP – LTE Positioning Protocol), но для вычисления местоположения пользователя требуется знать точное местоположение eNB. Передача по нисходящей линии связи в LTE основана на модуляции с ортогональным частотным мультиплексированием (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), которая определяется выражением

$$x_c(t) = \sqrt{\frac{c}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} b(n) \exp\left(j \frac{2\pi n t}{T}\right), 0 < t < T, \quad (1)$$

где C – мощность полосового сигнала, N – число поднесущих, $b(n)$ – комплексный символ n -й поднесущей, и T – период OFDM-символа. Сигналы LTE состоят из сигналов синхронизации, опорных сигналов, сигналов данных и управляющих сигналов. Сигналы синхронизации и опорные сигналы являются пилотными сигналами, т.е. полностью известными сигналами, поэтому они будут представлять основной интерес для позиционирования.

SDR приемник LTE может быть реализован в MATLAB путём постобработки сигнала, полученного с помощью платформы USRP. Как показано на рис. 1, он основан на трёх основных модулях: блок сбора данных о сотах, контуры подстройки и модуль позиционирование методом OTDOA. Ниже приведено описание процессов, происходящих в каждом блоке схемы и назначение этих блоков. После поступления сигнала LTE на платформу USRP происходит сбор данных сот, который включает в себя грубую синхронизацию времени и частоты, а также процедуру поиска соты.

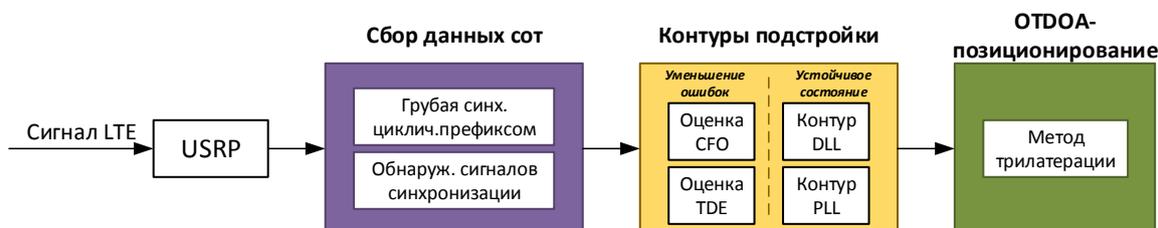


Рис. 1. Структурная схема SDR-приёмника

В любом терминале LTE синхронизация времени и частоты имеет первостепенное значение для получения данных о соте. Как правило, частотная синхронизация привлекает больше внимания из-за чувствительности приемников OFDM к смещениям несущей частоты (CFO – Carrier Frequency Offset), но ошибки синхронизации времени всё равно необходимо компенсировать, чтобы избежать серьезного ухудшения производительности.

Сигналы синхронизации используются для поиска соты и получения принятого сигнала без необходимости каких-либо вспомогательных данных. Для идентификации каждой соты периодически передаются два сигнала синхронизации с определенным кодом для каждой соты: первичный сигнал синхронизации (PSS – Primary Synchronization Signal) и вторичный сигнал синхронизации (SSS – Secondary Synchronization Signal). Для указания идентификатора сектора $N_{ID}^{(2)}$ могут использоваться три последовательности PSS. Они определяются тремя ортогональными кодами Задова-Чу (ZC – Zadoff-Chu) в частотной области. Идентификатор группы $N_{ID}^{(1)}$ определяется с помощью одной из 168 различных последовательностей SSS. После обнаружения обоих сигналов вычисляется идентификатор соты

$$N_{ID}^{cell} = 3 \cdot N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}. \quad (2)$$

Остаточные ошибки, возникающие в результате грубой синхронизации, могут серьезно ухудшить оценку временной задержки. Во избежание этого реализуется процесс уменьшения ошибок сбора данных. Этот процесс основан на интегрировании выходных данных модуля оценки временной задержки (TDE – Time Delay Estimation) и модуля оценки смещения несущей частоты (CFO) между несколькими контрольными символами для уменьшения начальных смещений сбора данных. Как только начальные смещения будут достаточно уменьшены, реализуются контуры подстройки для фильтрации оценок временной задержки и частоты. Архитектура подстройки основана на контуре блокировки задержки первого порядка (DLL – Delay Lock Loop) вместе с вспомогательным контуром фазовой блокировки второго порядка (PLL – Phase Lock Loop). Как только приёмник переходит в устойчивый режим, его МП может быть рассчитано с помощью метода позиционирования OTDOA. Этот метод основан на разности временных задержек между опорной и соседними БС. Величина OTDOA определяется как наблюдаемый UE интервал между приёмом сигналов в DL от двух eNB, находящихся в разных сотах через параметр RSTD, который определяется

$$RSTD_{i,1} = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}}{c} + \frac{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}}{c} + RTD_{i,1} + \delta_{i,1}, \quad (3)$$

где $RSTD_{i,1}$ – разность времён прихода опорных сигналов PRS, измеренных на UE от БС eNB_i и опорной БС eNB_1 ; $\delta_{i,1} = \delta_i - \delta_1$ – ошибки измерения TOA с eNB_i и eNB_1 ; c – скорость света; (x_i, y_i) – известные координаты eNB_i ; (x, y) – неизвестные координаты UE. Для позиционирования UE на плоскости требуется три БС: одна опорная и две соседние. UE отправляет измерения разности времён прихода опорных сигналов (RSTD – Reference Signal Time Difference) на сервер сетевого позиционирования E-SMLC (Evolved Serving Mobile Location Centre) для оценки местоположения (МП). Гиперболы строятся относительно известных положений eNB и пересекаются в положении UE для всех пар eNB. Пример построения показан на рис. 2.

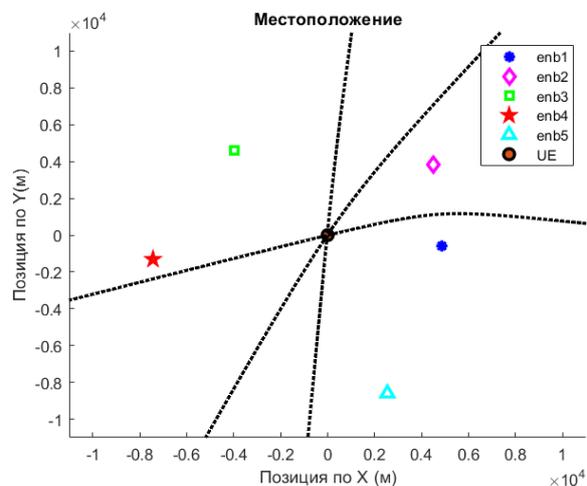


Рис. 2. Гиперболы постоянной разности задержек

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., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
2. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
3. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 2. С. 3–9.
4. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 3. С. 13–21.
5. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб. : СПбГУТ, 2020. 558 с.
6. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М. : Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
7. Zekavat R., Buehrer R.M. Handbook of position location: Theory, practice and advances. John Wiley & Sons, 2019. 1376 P.
8. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Artech House, 2015. 369 P.
9. Sand S., Dammann A., Mensing C. Positioning in Wireless Communications Systems. Wiley, 2014. 276 P.
10. Фокин Г. А. Эволюция технологий позиционирования в сетях подвижной радиосвязи. Точность // 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. 376–382.
11. 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.
12. Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 1 // Первая миля. 2020. № 2 (87). С. 32–39.
13. Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 2 // Первая миля. 2020. № 3 (88). С. 30–35.
14. Фокин Г. Эволюция сетевой архитектуры позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Первая миля. 2020. № 5 (90). С. 24–29.
15. Фокин Г. А. Эволюция радиointерфейсов позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 2. С. 77–91.
16. Фокин Г. А. Эволюция процедур позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 76–89.
17. Fischer S. Observed time difference of arrival (OTDOA) positioning in 3GPP LTE. tech. rep. Qualcomm Technologies. 2014.
18. Сиверс М. А., Фокин Г. А., Духовницкий О. Г. Позиционирование абонентских станций в сетях мобильной связи LTE разностно-дальномерным методом // Системы управления и информационные технологии. 2015. Т. 59. № 1. С. 55–61.
19. 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. 170–173.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. 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.

УДК 621.396.9
ГРНТИ 47.45.29

ТРЕХМЕРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА

Д. С. Рябиков, Г. А. Фокин

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

Формирование луча – это метод обработки сигналов, который генерирует диаграммы направленности антенны с использованием нескольких антенных элементов на передатчике или приемнике. За счет трехмерного формирования луча можно направить передаваемый сигнал в желаемом направлении и в то же время избежать приема нежелательного сигнала с нежелательного направления в пространстве при работе в сверхплотных сетях радиодоступа. Большинство схем формирования луча, используемых в настоящее время в беспроводных сотовых сетях, управляют диаграммой направленности излучения в горизонтальной плоскости. В отличие от двумерного формирования луча 2DBF (2D Beamforming), 3DBF адаптирует диаграмму направленности как по азимуту, так и по углу места, чтобы обеспечить большие степени свободы при поддержке одновременных сеансов радиосвязи пользователей в пространстве. В настоящей работе проанализированы преимущества трехмерного формирования луча, включая более высокую пропускную способность пользователей, меньший уровень межсотовых и межсекторных помех, более высокую энергоэффективность, улучшенное покрытие и повышенную спектральную эффективность.

диаграмма направленности антенны, двумерное формирование луча, трехмерное формирование луча.

Трехмерное формирование луча в сотовых сетях подвижной радиосвязи общего пользования получило распространение относительно недавно [1, 2]. Использование же подходов двумерного формирования луча уже достаточно давно находит широкое применение при построении самоорганизующихся сетей [5–16], в задачах сетевого позиционирования [6–9], а также при пространственном уплотнении одновременных передач в многопользовательских системах [17–20]. Помимо режима диаграммообразования с адаптивным формированием луча при работе на прием и передачу многоэлементные антенные системы могут использоваться при построении и функционировании систем пространственной обработки сигналов Massive MIMO [5–10]. Однако с переходом в диапазон миллиметровых волн более широкие возможности многоэлементных антенных решеток связаны с так называемым интеллектуальным – Smart режимом функционирования [10], когда на передаче и приеме реализуется адаптивное формирование луча. В СПбГУТ наработан определенный задел в области программных моделей адаптивного диаграммообразования [21, 22], в том числе, при выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR [23, 24].

Целью настоящей работы является качественный анализ вопросов трехмерного формирования луча по материалам исследований [1, 2].

В большинстве современных сетей сотовой связи антенные элементы на базовой станции расположены вдоль одной горизонтальной оси, поэтому схемы формирования луча, используемые в настоящее время, основаны на управлении диаграммой направленности в горизонтальной плоскости [1]. Данный подход называется двумерным формированием лучей 2DBF (2D Beamforming) и часто сочетается с секторизацией сот при повторном использовании частот, уменьшении помех между пользователями и увеличении пропускной способности соты. В этом способе вместо использования всенаправленной антенны в BS каждая сота разделена на сектора, а каждый сектор обслуживается направленной антенной. Антенна, поддерживающая каждый сектор, представляет собой одномерную линейную антенную решетку (АР), которая обеспечивает секторную диаграмму направленности антенны (ДНА). ДНА секторных линейных АР обычно имеют достаточно широкую ширину луча порядка 70° в горизонтальной или азимутальной плоскости и относительно узкую ширину луча порядка 10° в вертикальной плоскости или плоскости угла места (рис. 1). Количество горизонтальных диаграмм направленности, которые могут быть созданы в каждом секторе, зависит от количества антенн в этом секторе.

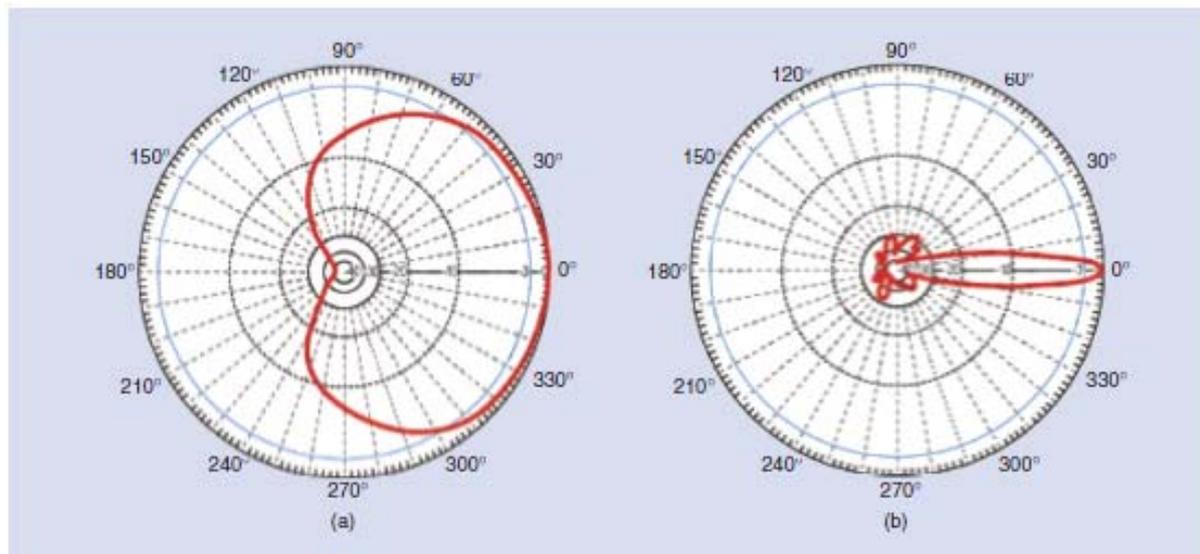


Рис. 1. ДНА в горизонтальной плоскости и вертикальной плоскости

В 2DBF диаграмма направленности рассчитана только в горизонтальной плоскости. Чтобы использовать вертикальную плоскость, можно учитывать наклон антенны по вертикальной оси. Угол наклона антенны определяется как угол между горизонтальной плоскостью и направлением визирования диаграммы направленности антенны. Для регулировки угла наклона антенны вдоль вертикальной оси можно использовать механический (рис. 2, а) и электрический наклон (рис. 2, б). Электрический наклон диаграммы направленности антенны реализуется путем применения определенного сдвига фазы ко всем антенным элементам в решетке [1].

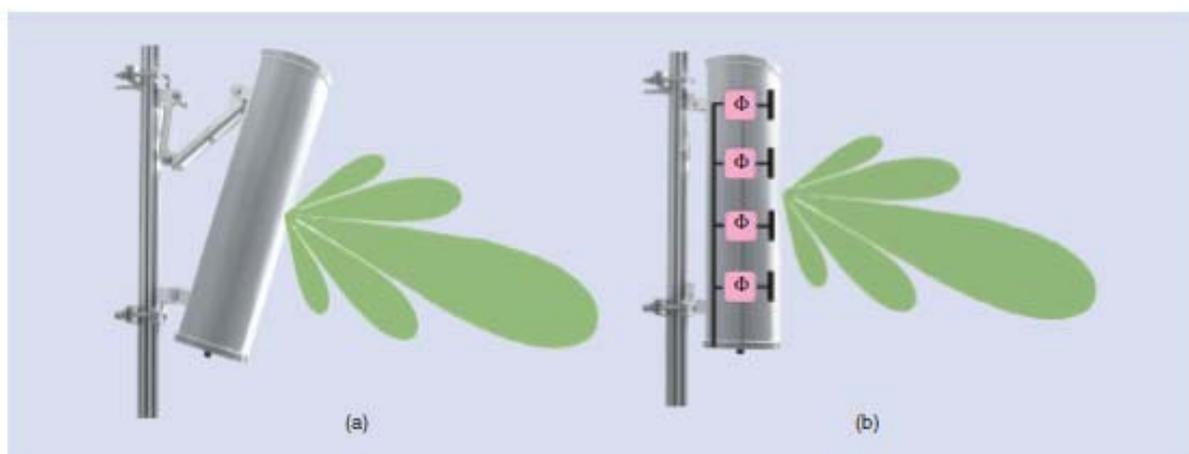


Рис. 2. Механический (а) и электрический (б) наклон ДНА

Антенная система с активной решеткой (AAS – Active Antenna System) позволяет получить больший контроль над отдельными элементами AP. В AAS каждый элемент AP интегрирован с отдельным блоком радиочастотного приемопередатчика, который обеспечивает дистанционное управление

элементами в электронном виде. Используя AAS в базовых станциях можно динамически регулировать вертикальную ДНА в каждом секторе, а также генерировать несколько лучей поддержки нескольких пользователей или охвата нескольких зон покрытия [2].

В зависимости от способа изменения наклона ДНА вниз, диаграммообразование (ДО) 3DBF можно разделить на статическое и динамическое. Статическое ДО 3DBF относится к системе, в которой наклон антенны установлен на фиксированное значение в соответствии с некоторыми статистическими показателями, например, среднее значение вертикальных углов пользователей. Этот метод не может быть адаптирован к изменяющемуся местоположению (МП) пользователей, т. е. после выбора угла наклона он останется неизменным. Напротив, динамическое ДО 3DBF адаптивно регулирует угол наклона ДНА в соответствии с текущим местоположением пользователей [6, 7]. Таким образом, механический наклон считается частным случаем статического 3DBF, поскольку угол наклона определяется долгосрочным средним значением. С другой стороны, динамическое 3DBF включает электрический наклон в качестве особого случая. Таким образом, динамическое ДО 3DBF предлагает дополнительные степени свободы для оптимизации производительности по сравнению со статическим ДО 3DBF.

По сравнению с 2DBF, 3DBF предоставляет улучшенные возможности компенсации межсотовых помехам в сценариях сверхплотных сетей радиодоступа. Когда применяется вертикальное формирование луча, различные мощности могут быть распределены для лучей, которые отдельно обслуживают области края и центра соты. Это предотвращает излучение дополнительной мощности к соседним сотам и уменьшает межсотовые помехи.

Несмотря на вышеупомянутые преимущества 3DBF, с этой технологией все еще существуют определенные проблемы, которые необходимо решить. Некоторые из этих проблем включают вопросы трехмерного (3D) моделирования многолучевых радиоканалов, накладные расходы, связанные с информацией о состоянии канала (CSI – Channel Side Information), обратная связь при частотном дуплексе, управлением мощностью, конструкцией антенн и сложностью радиочастотных блоков.

В настоящей работе был выполнен качественный анализ возможностей трехмерного диаграммообразования 3DBF применительно к построению и функционированию сетей радиодоступа. В 3DBF диаграмма направленности луча адаптирована как по высоте по углу места, так и в горизонтальной плоскости по азимуту за счет добавления ASS базовую станцию, что обеспечивает больше степеней свободы при управлении радиоресурсами сети. Также были рассмотрены различные способы изменения наклона ДНА вниз, такие как статическое и динамическое ДО 3DBF. По сравнению с 2DBF, 3DBF имеет достаточно много преимуществ, включая потенциально более

высокую пропускную способность пользователя и меньший уровень внутрисистемных (межсотовых и межсекторных) помех.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. Lee W., Lee S. -R., Kong H.-B., Lee I. 3D beamforming designs for Single User MISO systems // 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). 2013. pp. 3914–3919.
2. Razavizadeh S. M., Ahn M., Lee I. Three-Dimensional Beamforming: A new enabling technology for 5G wireless networks // in IEEE Signal Processing Magazine. 2014. Vol. 31. No. 6. pp. 94–101.
3. 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.
4. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 144 с.
5. Фокин Г. А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.13 / Фокин Григорий Алексеевич. Санкт-Петербург, 2009. 17 с.
6. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. Санкт-Петербург, СПбГУТ, 2020. 558 с.
7. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. Москва, Горячая Линия - Телеком, 2021. 456 с.
8. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
9. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
10. Фокин Г. А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
11. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66–73.
12. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разнеса устройств // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66–73.
13. Фокин Г. А. Оценка помех в сверхплотных сетях радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Т. 8. № 4. С. 35–59.
14. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Особенности реализации и перспективы развития технологии Massive MIMO в сетях // В сборнике: Интернет вещей и 5G (INTHIT-EN 2017). 3-я международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 186–190.

15. 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.

16. 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.

17. Степанец И., Фокин Г. Особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G // Первая мила. 2018. № 1 (70). С. 46–52.

18. Степанец И. В., Фокин Г. А., Мюллер А. Способы оценки пропускной способности систем massive MIMO // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 64–69.

19. 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.

20. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103, 22.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.

21. Фокин Г. А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.

22. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.

23. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

УДК 621.391.6
ГРНТИ 49.43.29

ПРОЦЕДУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛУЧАМИ В СЕТЯХ 5G: УТОЧНЕНИЕ ЛУЧА В НИСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

К. Г. Смирнова, Г. А. Фокин

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

Когда речь заходит о развёртывании сетей стандарта 5G NR, несмотря на возможность использования частот ниже 6 ГГц для реализации нового стандарта, наибольший интерес для операторов связи вызывают частоты миллиметрового диапазона mmWave. Таким образом, развёртывание на высоких частотах является одной из важнейших характеристик 5G NR. Однако, из-за особенностей использования высоких частот для развёртывания сетей стандарта 5G NR, сигнал необходимо передавать в виде луча. Так, целью настоящей работы является анализ специальных процедуры, за счёт которых осуществляется формирование и управление лучом. В частности, будет проанализирована одна из основных таких процедур – процедура P-2, которая отвечает за уточнение луча в нисходящей линии связи.

5G, мобильная связь, направленные радиолинии, уточнение луча, процедура P2.

Говоря о сетях 5G NR, необходимо отметить, что новая архитектура 5G NR открывает новые возможности для сетевого позиционирования, которые невозможно было реализовать в сетях предыдущих поколений. В частности, речь идёт об использовании на порядок более широких полос частот от сотен МГц до десятков ГГц. [1, 2] Так по 3GPP для 5G NR все полосы радиочастот разделены на два блока: FR1 (частоты до 6 ГГц) и FR2 (частоты выше 6 ГГц). [3]

Из-за того, что блок FR2 включает в себя частоты миллиметрового диапазона mmWave (от 24,25 до 52,6 ГГц), при развёртывании сети возникает серьёзная проблема: при увеличении частоты передаваемый сигнал начинает подвергаться большим потерям, что в конечном итоге серьёзно влияет на бюджет канала радиосвязи. По этой причине для повышения качества усиления и направленности передачи/приёма сигнала на таких высоких частотах необходим инструмент, позволяющий выполнять формирование и управление лучами.

Таким инструментом является «Управление лучами» – специальный набор процедур физического уровня и уровня управления доступом к среде для определения и поддержания оптимальной пары лучей (луч передачи и луч приёма) для обеспечения наилучшей связи. По 3GPP управление лучом описывается как три процедуры P-1 – P-3 [4]:

Процедура 1 (P-1): основная задача – начальное определение луча посредством анализа блоков сигналов синхронизации SSB. Во время сбора данных сканирование луча происходит как на передающей, так и на приёмной стороне для выбора наилучшей пары лучей на основе измерений мощности приёмного опорного сигнала RSRP. При этом следует учесть, что на этом этапе выбранные лучи с обеих сторон могут не быть оптимальной парой лучей.

Процедура 2 (P-2): основная задача – уточнение луча. Процедура использует опорные сигналы CSI-RS для корректировки луча со стороны передатчика по нисходящей линии связи и зондирующий пилотный сигнал SRS для корректировки луча со стороны передатчика по восходящей линии связи.

После выполнения процедуры P-1 происходит «настройка» выбранной пары лучей посредством процедуры P-2. Это необходимо для того, чтобы получить более высокую направленность луча и высокий коэффициент усиления. При этом следует отметить, что для выполнения данных критериев необходимо использовать более узконаправленный луч. По этой причине во время этой процедуры опорный сигнал конфигурируются и передаётся в разных направлениях с использованием более точных лучей.

Далее происходит оценка полученных параметров луча оборудованием пользователя UE или базовой станцией gNB через фиксированный приёмный луч. Таким образом, лучший луч выбирается на основе данных RSRP.

Также следует отметить, что процедура P-2 может считаться частным случаем процедуры P-1 [5].

Процедура 3 (P-3): основная задача – регулировка луча на приёмной стороне, когда установление связи посредством пары лучей происходит с учетом выбранного и уточнённого луча со стороны передачи во время процедур P-1 и P-2. Процедура P-3 направлена на поиск наилучшего луча приёма. Для этой процедуры опорный сигнал (CSI-RS для нисходящей линии связи и SRS для восходящей линии связи) посылается одним передающим лучом, а оборудование пользователя UE или базовая станция gNB принимает сигнал при помощи набора лучей, направленных в разные направления. Как и в случае выбора наилучшего варианта луча в процедурах P-1 и P-2, лучший луч в процедуре P-3 выбирается на основе измерений RSRP всех лучей со стороны приёма.

Таким образом осуществляется управление лучами в 5G NR посредством специальных процедур. Далее будет рассмотрена процедура P-2, в том числе и на основе моделирования в программном обеспечении MATLAB.

На рис.1 отображены основные этапы обработки сигнала. Этапы, которые относятся к процедуре уточнения луча на приёмной стороне, выделены красным цветом.



Рис. 1. Основные этапы обработки при процедуре P-2

Как было сказано ранее, процедура P-2 может считаться частным случаем процедуры P-1 по причине двухэтапного осуществления процедуры.

Первый этап осуществляет уточнение и выбор наилучшего широкополосного луча непосредственно продолжая процедуру P-1. Оборудование пользователя UE выполняет сканирование синхроблоков SSB по широкополосным лучам, как показано на рис. 2.

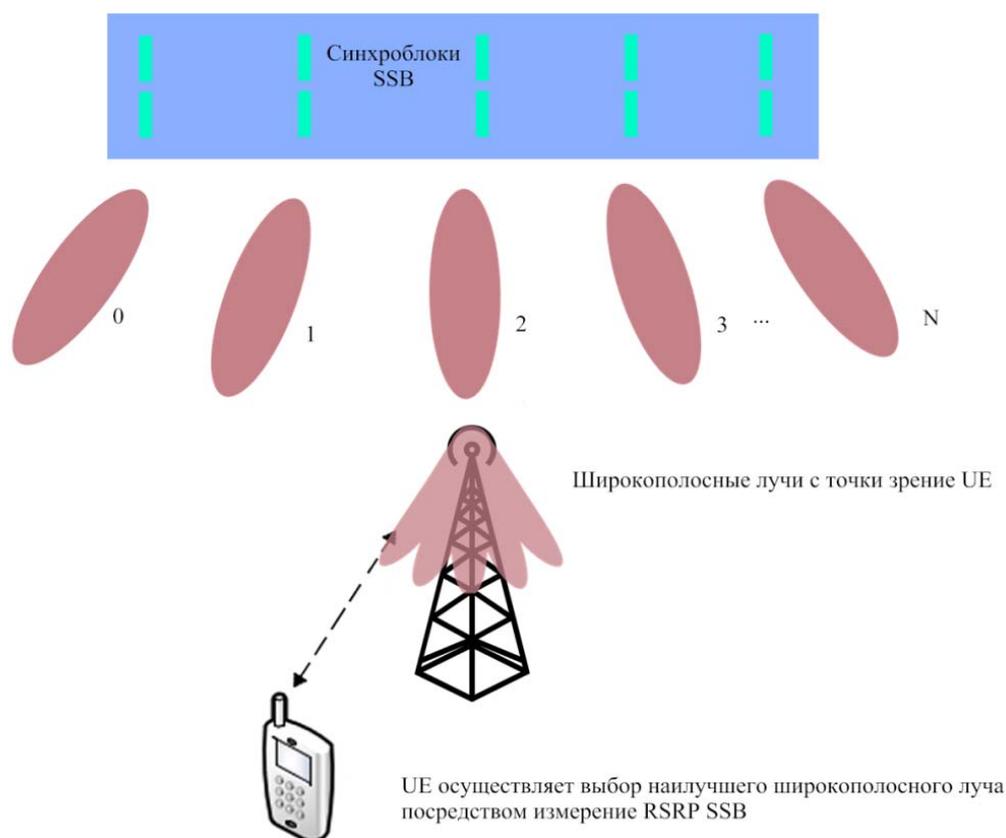


Рис. 2. Реализация первого этапа процедуры P-2

В этот же момент происходит измерение мощности приёмного опорного сигнала RSRP: когда поступает информация о широкополосном луче с наилучшим показателем RSRP, gNB передает опорный сигнал CSI-RS по всем узкополосным лучам, которые на этот момент уже сопоставлены

с новым лучшим широкополосным лучом (рис.3). Далее оборудование пользователя UE измеряет все значения RSRP для CSI-RS и отправляет отчёт с данными gNB.

Второй этап осуществляет уже само уточнение и выбор наилучшего узкополосного луча. После первого этапа опорные сигналы CSI-RS передаются UE по узкополосным лучам в пределах используемого широкополосного луча, как показано на рис. 3. В этот же момент происходит измерение RSRP: UE измеряет все значения RSRP и сообщает об этом gNB. Когда поступает информация о выборе нового лучшего узкополосного луча, gNB выбирает его и начинает передачу сигнала на UE по этому лучу.

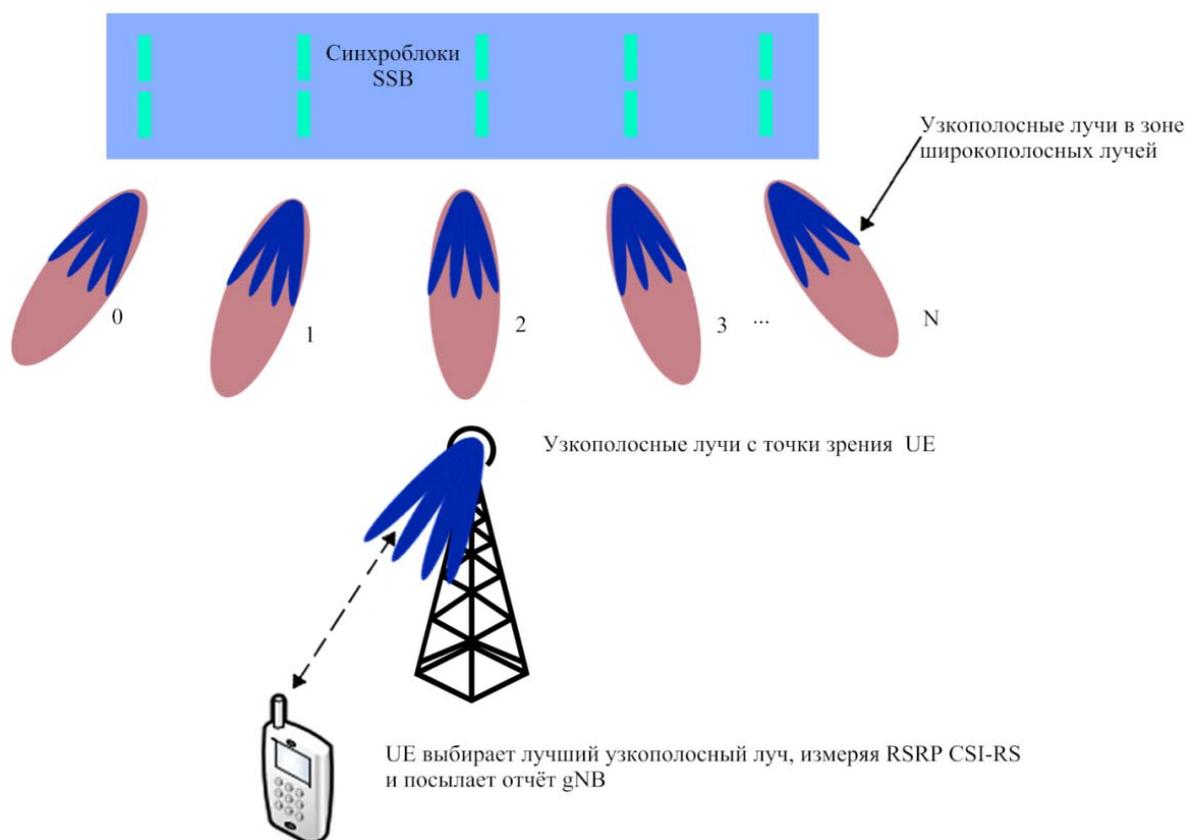


Рис. 3. Реализация второго этапа процедуры P-2

По итогу выполнения обоих этапов процедуры P-2 оборудованием пользователя UE «фиксируется» наилучший луч со стороны gNB. После этого начинается выполнение процедуры P-3, основная задача которой – поиск наилучшего луча приема.

Также по процедуре P-2 было выполнено моделирование в программном обеспечении MATLAB (рис. 4). [6] Моделирование осуществлялось с учётом использования технологии MIMO на частоте 3,5 ГГц, что относится к «золотому диапазону» для сетей стандарта 5G NR.

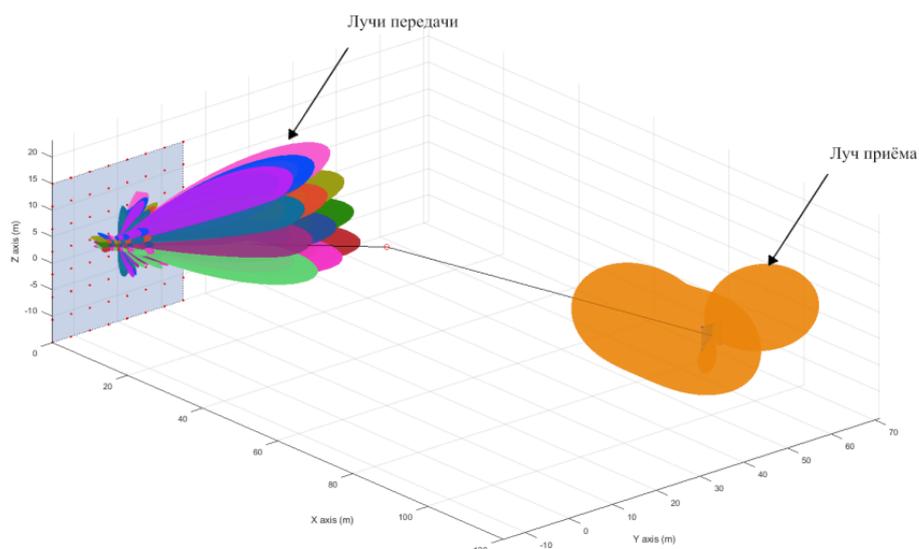


Рис. 4. Модель процедуры P-2 в MATLAB

Данная модель наглядно демонстрирует, как в пространстве осуществляется процедура P-2: уточнение луча со стороны gNB по наивысшему показателю RSRP.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М. : Горячая Линия - Телеком, 2021. 456 с.
2. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб. : СПбГУТ, 2020. 558 с.
3. Рекомендация 3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15 –5G; NR; Physical channels and modulation;
4. Рекомендация 3GPP TR 38.802 version 14.2.0 Release 14 – 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on New Radio Access Technology Physical Layer Aspects;
5. 5G/NR - Beam Management. URL: https://www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_BeamManagement.html
6. NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS. URL: <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-downlink-transmit-end-beam-refinement-using-csi-rs.html>

УДК 621.396.9
ГРНТИ 47.45.29

НАПРАВЛЕННЫЕ РАДИОЛИНИИ В СЕТЯХ 5G: СКАНИРОВАНИЕ ЛУЧОМ ПРИ НАЧАЛЬНОМ УСТАНОВЛЕНИИ СОЕДИНЕНИЯ

Г. А. Фокин, К. Г. Смирнова

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

Стремительный рост числа одновременно работающих приемопередатчиков в развертываемых сетях радиодоступа пятого и последующих поколений приводит к проблеме неприемлемо высокого уровня внутрисистемных помех при условии их уплотнения до одного устройства на один квадратный метр. Адаптивное диаграммообразование может потенциально компенсировать высокий уровень помех за счет формирования максимума диаграммы направленности антенны на источник/приемник полезного сигнала и минимума диаграммы направленности антенны на источник/приемник мешающего сигнала. Широкому распространению диаграммообразования в сетях радиодоступа пятого и последующих поколений способствует переход радиоинтерфейса в диапазон миллиметровых волн и развитие многоантенных систем. Минимизация внутрисистемных помех устройств, работающих в общем диапазоне частот в режиме диаграммообразования, осуществляется за счет их пространственного мультиплексирования и углового/территориального разноса. В настоящей работе рассмотрена процедура начального установления направленных соединений в сетях 5G путём последовательного сканирования лучей с использованием блоков сигналов синхронизации SSB.

сети 5G, направленные радиолинии, сканирование лучом, процедура P1.

Теоретические основы и практическое применение моделей и методов управления лучом в сетях пятого и последующих поколений неотъемлемо связаны с классической теорией антенных решеток, которая продолжает свое совершенствование и подтверждается многократным переизданием в фундаментальных работ [1–3] в последние годы. Вместе с теорией развиваются и прикладные среды имитационного моделирования, включая специальные пакеты расширения 5G Toolbox [4], Phased Array System Toolbox [5]. Данные инструменты вместе с методическим описанием [6] и наглядными примерами [7, 8] способствуют пониманию процессов управления лучом в сетях 5G NR, о которых идет речь в спецификации [9].

Интерес к вопросам установления и поддержания направленных радиолиний в сетях 5G NR связан, в первую очередь, с особенностями сверхплотного территориального и пространственного распределения устройств [12], которое приводит к высокому уровню внутрисистемных помех [13, 14] и необходимости поддержания определенного разноса устройств [15, 16]

для их компенсации. Для более подробного исследования особенностей управления лучом устройств сверхплотных сетей радиодоступа 5G NR средствами имитационного моделирования на основе примеров [7, 8] разработаны программные модули [17, 18]. Данное обстоятельство объясняется тем, что в примерах [7, 8], несмотря на их широкие возможности по визуализации, используется достаточно много встроенных программных модулей, непосредственный функционал которых остается скрыт от пользователей.

Следует отметить, что вопросы диаграммообразования в сверхплотных сетях 5G NR очень тесно связаны с возможностями позиционирования устройств [17–19]; знание относительного местоположения открывает широкие возможности для адаптивного управления лучами с учетом сведений об источниках/приемниках полезного сигнала и помех [20, 21].

В настоящей работе исследуется процедура начального установления направленных соединений в сетях 5G путём последовательного сканирования лучей с использованием блоков сигналов синхронизации SSB.

Управление лучом – это набор процедур физического и канального уровней для установления и поддержки направленных радиолиний. Процедура управления лучом реализуется на приёмной и передающей сторонах и включает в себя: сканирование лучом; измерение в отдельном луче; определение луча; отчёт о луче; восстановление луча.

Процедура начального доступа пользователей при установлении соединения между оборудованием пользователя UE и базовой станцией gNB использует блоки синхронизации SSB, которые передаются в виде пакетов в направлении нисходящей линии связи (то есть от gNB к UE). Выравнивание луча может происходить на передающей/приёмной сторонах (TRP) и на стороне оборудования пользователя (UE) для установления линии связи для паробразующих лучей; TR 38.802 определяет данную процедуру как P-1 [9].

Всего таких процедур три: P-1, P-2 и P-3. В таблице 1 представлены сведения о данных процедурах с описанием их функций.

ТАБЛИЦА 1. Процедуры P-1, P-2 и P-3

Процедура	Функция	Краткое описание
P-1	Выбор луча	gNB выравнивает луч, UE выбирает лучший луч и сообщает об этом gNB
P-2	Улучшение луча для передатчика (gNB Tx)	gNB повышает качество луча (например, использует более узкий луч по более узкому диапазону), в следствии чего UE определяет лучший вариант и сообщает об этом gNB.
P-3	Улучшение луча для приемника (UE Rx)	gNB останавливается на одном луче (то есть многократно передает один и тот же луч), а UE уточняет луч со своей стороны. Далее устанавливается пространственный фильтр на антенной решетке приемника. Это возможно только тогда, когда UE поддерживает формирование диаграммы направленности.

После установления направленного соединения между парообразующими лучами эти же лучи могут в последствии использоваться для передачи данных. При необходимости ориентация лучей может быть скорректирована через опорный сигнал информации состояния канала CSI-RS (для нисходящей линии связи) и через зондирующий пилотный сигнал SRS (для восходящей линии связи). При утрате взаимной ориентации лучей связь направленной радиолинии может быть восстановлена путём повторного выравнивания.

Для реализации выравнивания лучей на начальном этапе выполняются следующие операции: 1) генерирование пакетов синхросигналов; 2) формирование диаграммы направленности в каждом синхроблоке SSB в пределах пакета для сканирования по всему диапазону азимутальных и вертикальных углов направления; 3) передача сформированного сигнала для каждого луча радиоканала; 4) последующая обработка сигнала на приёме. Так, в каждой паре лучей, сформированных на передающей и на приёмной сторонах, производится измерение мощности приёмного опорного сигнала (RSRP). В результате измерений определяются пара с максимальным значением RSRP, которая и будет считаться наилучшей парой лучей на передающей и приёмной сторонах. На рис. представлена схема, иллюстрирующая основные этапы обработки сигнала в имитационной модели. Процедуры, относящиеся к управлению лучом, выделены цветом.

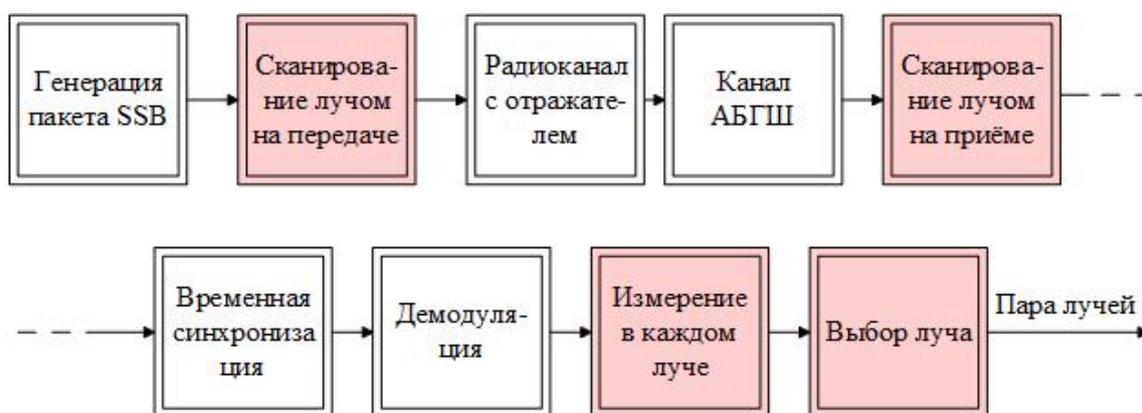


Рис. 1. Основные этапы обработки сигнала

За время интервала работы на приём в выбранном направлении осуществляется сканирование лучом на передаче по всем направлениям. Для N лучей на передаче и M лучей на приёме согласно процедуре P-1 каждый из N лучей передаётся M раз от gNB. Таким образом, каждый переданный луч принимается хотя бы по одному разу в течении всех M лучей на приёме. Рассмотрим вариант, когда число N лучей на передаче и число M лучей на приёме равно количеству блоков SSB. Для наглядного примера на рис. 2 представлена модель сканирования для N лучей на передаче и M лучей на приёме равных четырём в горизонтальной плоскости по азимуту.

На рис. 2 S1-S4 – лучи, работающие на передаче, а U1-U4 – лучи, работающие на приёме. За время приёма в каждом луче U осуществляется передача в каждом луче S. Иными словами, длительность передачи в лучах S меньше, чем длительность приёма в лучах U. Таким образом осуществляется перебор всех комбинаций лучей в поиске наилучшей пары лучей по критерию максимального значения RSRP. В рассматриваемом приеме это пара лучей S3/U2.

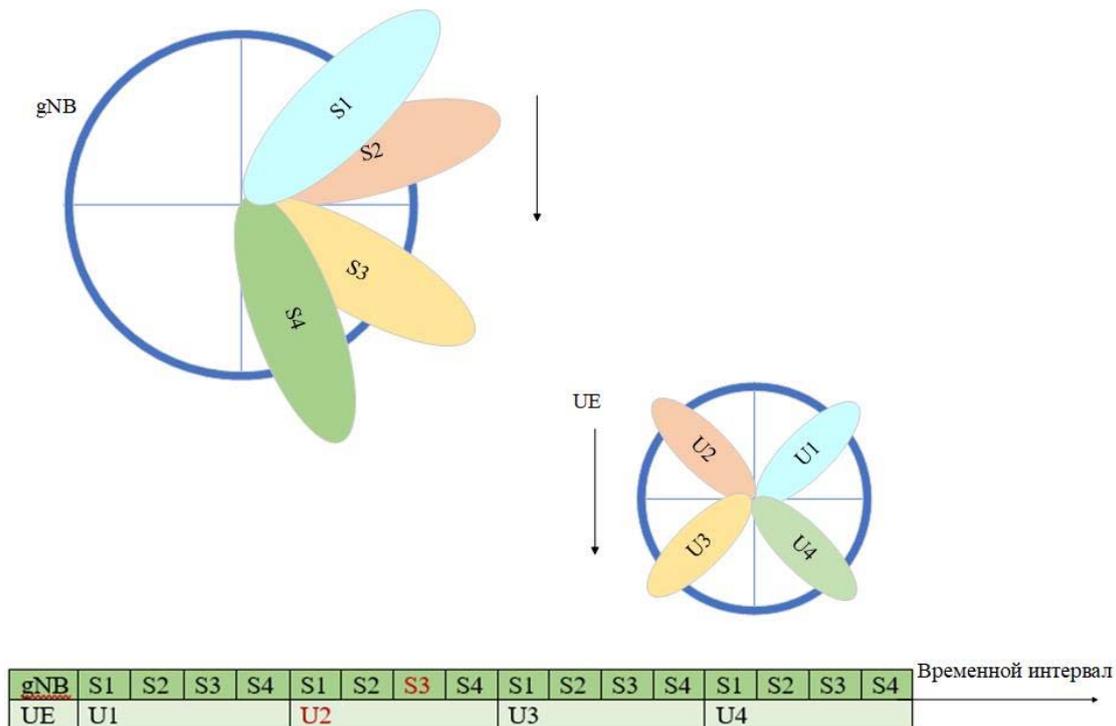


Рис. 2. Модель сканирования лучом

В настоящей работе рассмотрена процедура управления лучом P-1 с использованием блоков синхронизации SSB. В данной процедуре измерение мощности принимаемого опорного сигнала позволяет определить наилучшую пару лучей в линии связи при начальном установлении соединения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. Balanis C. A. Antenna theory: analysis and design. , 4th Edition. John wiley & sons. 2016. 1104 p.
2. Mailloux R. J. Phased Array Antenna Handbook. 3rd Edition. Artech House. 2017. 691 p.
3. Gross F. Smart Antennas for Wireless Communications: With MATLAB. 2nd Edition. McGraw-Hill Professional. 2015. 400 p.

4. 5G Toolbox. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/products/5g.html> (дата обращения: 14.02.2022).
5. Phased Array System Toolbox. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/products/phased-array.html> (дата обращения: 14.02.2022).
6. Understanding 5G Beam Management. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/campaigns/offers/next/understanding-5g-beam-management.html> (дата обращения: 14.02.2022)
7. NR SSB Beam Sweeping. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-ssb-beam-sweeping.html> (дата обращения: 14.02.2022).
8. NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-downlink-transmit-end-beam-refinement-using-csi-rs.html> (дата обращения: 14.02.2022).
9. 3GPP TR 38.802. Study on New Radio access technology physical layer aspects. Rel. 14, V14.2.0, Sep. 2017.
10. Фокин Г.А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
11. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66–73.
12. Фокин Г. А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.
13. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66–73.
14. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103, 22.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.
15. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.
16. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.
17. Фокин Г.А. Процедуры позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2021. № 11. С. 2–8.
18. Фокин Г.А., Кучерявый А.Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
19. Фокин Г.А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
20. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб.: СПбГУТ, 2020. 558 с.
21. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М.: Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.

УДК 621.391.6
ГРНТИ 47.45.29

НАПРАВЛЕННЫЕ РАДИОЛИНИИ В СЕТЯХ 5G: УТОЧНЕНИИ ОРИЕНТАЦИИ ЛУЧЕЙ ПРИ ВЕДЕНИИ РАДИОСВЯЗИ

Г. А. Фокин, К. Г. Смирнова

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

Для управления диаграммой направленности в сетях 5G может использоваться известный подход предварительного анализа обучающих последовательностей о текущей обстановке в радиоканале CSI (Channel State Information), однако его накладные расходы становятся неприемлемо высокими в условиях сверхплотного распределения подвижных и неподвижных устройств. Альтернативным подходом к управлению диаграммой направленности является так называемое диаграммообразование на основе позиционирования/местоположения LAB (Location Aware Beamforming). Обоснованность, актуальность и перспективность данного подхода определяется тем фактом, что для сетей 5G в последних спецификациях 3GPP, в отличие от сетей предыдущих поколений, впервые формализованы требования к точности позиционирования устройств до одного метра. Достижение такой точности становится возможным за счет нового радиointерфейса на физическом уровне, однако новая устройствоцентрическая архитектура сети радиодоступа, включая непосредственную связь устройств друг с другом D2D (Device-to-Device), порождает новые проблемы управления диаграммой направленности устройств на канальном и сетевом уровнях. Одной из таких проблем является уточнение ориентации лучей при ведении радиосвязи, для решения которой 3GPP формализована процедура P2.

сети 5G, направленные радиолнии, уточнение ориентации лучей, процедура P2.

Вопросы организации направленных радиолний, управления лучом и адаптивного диаграммообразования устройств сетей 5G NR находятся в центре внимания и публикационной активности ведущего зарубежного отраслевого журнала IEEE Communications Magazine в последние два года [1–7]. Данное обстоятельство обусловлено широкими возможностями компенсации внутрисистемных помех за счет пространственного уплотнения одновременных сеансов направленной радиосвязи при работе стационарных и подвижных приемопередающих устройств в составе сверхплотных сетей радиодоступа [8–12]. Проблема оценки помех в радиолниях с диаграммообразованием для подвижных устройств сверхплотных сетей радиодоступа пятого и последующих поколений осложняется существенной (десятки дБ) зависимостью мгновенного отношения сигнал/помеха от текущего пространственного и/или углового разнеса устройств, а также совокупностью

других факторов. Одним из решений данной проблемы в сетях пятого и последующих поколений может быть предварительное позиционирование устройств, являющихся источником/приемников полезного сигнала или помехи [13–17], в том числе, с использованием антенных решеток и алгоритмов пространственной обработки сигналов [18–20].

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей функционирования процедуры P-2 [21] уточнения ориентации лучей при ведении направленного сеанса радиосвязи устройствами 5G NR с использованием пакетов 5G Toolbox [22], Phased Array System Toolbox [23], вспомогательных примеров NR SSB Beam Sweeping [24], NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS [25] и программных модулей [26, 27].

Для 5G NR все полосы радиочастот разделены на два блока: FR1 (частоты до 6 ГГц) и FR2 (частоты свыше 6 ГГц). Из-за того, что блок FR2 включает в себя частоты миллиметрового диапазона mmWave (от 24,25 до 52,6 ГГц), при развёртывании сети возникает серьезная проблема: при увеличении частоты передаваемый сигнал начинает подвергаться большим потерям, что в конечном итоге серьёзно влияет на бюджет канала радиосвязи. По этой причине для повышения усиления и направленности передачи/приёма сигнала на таких высоких частотах необходим инструмент, позволяющий выполнять формирование и управление лучами. Таким инструментом является «управление лучами» – специальный набор процедур физического уровня и уровня управления доступом к среде для определения и поддержания оптимальной пары лучей (луч передачи и луч приёма) для обеспечения наилучшей связи. 3GPP формализует три процедуры P-1 – P-3 [21].

Процедура P-1: основная задача – начальное определение луча посредством анализа блоков сигналов синхронизации SSB. Во время сбора данных сканирование луча происходит как на передающей, так и на приёмной стороне для выбора наилучшей пары лучей на основе измерений мощности приёмного опорного сигнала RSRP. На этом этапе выбранные лучи с обеих сторон могут не быть оптимальной парой лучей. Процедура 2 (P-2): основная задача – уточнение луча. Процедура использует опорные сигналы CSI-RS для корректировки луча со стороны передатчика по нисходящей линии связи и зондирующий пилотный сигнал SRS для корректировки луча со стороны передатчика по восходящей линии связи. После выполнения процедуры P-1 происходит «настройка» выбранной пары лучей посредством процедуры P-2. Это необходимо для того, чтобы получить более высокую направленность и высокий коэффициент усиления. Для выполнения данных критериев необходимо использовать более узконаправленный луч. По этой причине во время этой процедуры опорный сигнал конфигурируются и передаётся в разных направлениях с использованием более точных лучей. Да-

лее происходит оценка полученных параметров луча оборудованием пользователя UE или базовой станцией gNB через фиксированный приёмный луч. Таким образом, лучший луч выбирается на основе данных RSRP.

На рис.1 отображены основные этапы обработки сигнала при имитационном моделировании операций процедуры P-2. Этапы, которые относятся к процедуре уточнения луча на приёмной стороне, выделены красным цветом. Процедура P-2 может считаться частным случаем P-1 по причине двухэтапного осуществления.

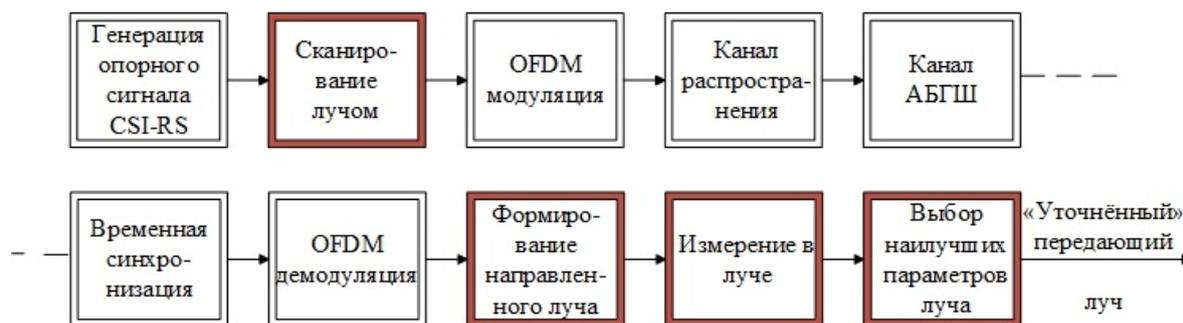


Рис. 1. Основные этапы обработки при процедуре P-2

На первом этапе осуществляется выбор широкого луча по сканированию синхроблоками SSB, как показано на рис. 2.

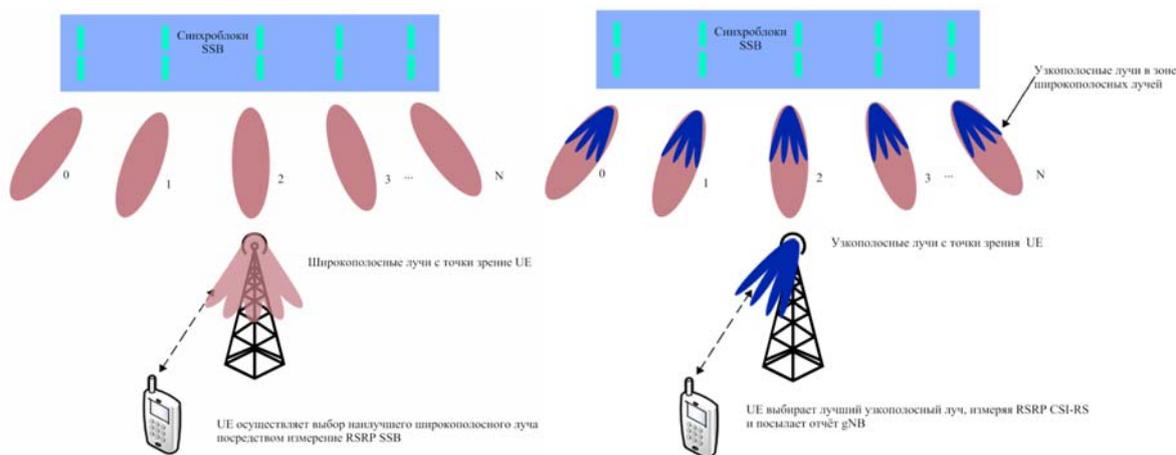


Рис. 2. Реализация первого (слева) и второго (справа) этапа процедуры P-2

На втором этапе происходит следующее. По приему измерений опорного сигнала RSRP устанавливается направление широкого луча, затем gNB передает опорные сигналы CSI-RS по всем узким лучам. Далее оборудование пользователя UE измеряет все значения RSRP для CSI-RS и отправляет отчёт с данными gNB. На втором этапе осуществляется уточнение и выбор наилучшего узкого луча: UE измеряет RSRP и сообщает об этом gNB; когда

поступает информация о выборе нового лучшего узкого луча, gNB выбирает его и начинает передачу сигнала на UE по этому лучу.

По выполнению обоих этапов процедуры Р-2 оборудованием UE «фиксируется» наилучший луч со стороны gNB. После может быть запущена процедура Р-3, основная задача которой – поиск наилучшего луча приема.

По процедуре Р-2 было выполнено имитационное моделирование (рис. 3) на частоте 3,5 ГГц для 12 блоков сигналов CSI-RS, которое демонстрирует, как в пространстве осуществляется уточнение луча со стороны gNB.

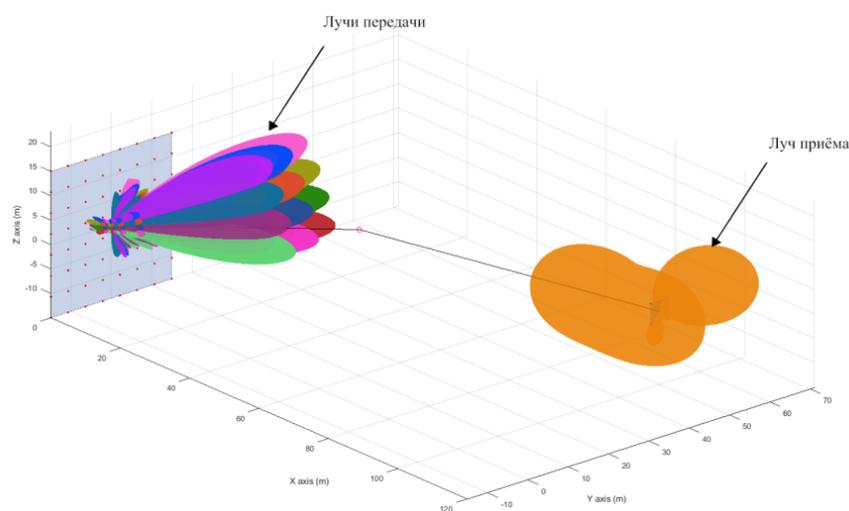


Рис. 3. Модель процедуры Р-2 в MATLAB

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00528, <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>

Список используемых источников

1. Heng Y. et al. Six Key Challenges for Beam Management in 5.5G and 6G Systems // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. № 7. pp. 74–79.
2. Jeon J. et al. MIMO Evolution toward 6G: Modular Massive MIMO in Low-Frequency Bands // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. № 11. pp. 52–58.
3. Li Y.R., Gao B., Zhang X., Huang K. Beam Management in Millimeter-Wave Communications for 5G and Beyond // IEEE Access. 2020. Vol. 8. pp. 13282–13293.
4. Giordani M. A., Polese M., Roy A., Castor D., Zorzi M. Tutorial on Beam Management for 3GPP NR at mmWave Frequencies // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 21. № 1. pp. 173–196.
5. Onggosanusi E. et al. Modular and High-Resolution Channel State Information and Beam Management for 5G New Radio // IEEE Communications Magazine. 2018. Vol. 56. № 3. pp. 48–55.
6. Giordani M., Polese M., Roy A., Castor D., Zorzi M. Standalone and Non-Standalone Beam Management for 3GPP NR at mmWaves // IEEE Communications Magazine. 2019. Vol. 57. № 4. pp. 123–129.

7. Bang J., Chung H., Hong J., Seo H., Choi J., Kim S. Millimeter-Wave Communications: Recent Developments and Challenges of Hardware and Beam Management Algorithms // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. № 8. pp. 86–92.
8. Фокин Г.А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
9. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66–73.
10. Фокин Г. А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.
11. Фокин Г.А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // Первая миля. 2021. № 4(96). С. 66–73.
12. Фокин Г. А., Лазарев В. О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103, 22.07.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.
13. Фокин Г.А. Процедуры позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2021. № 11. С. 2–8.
14. Фокин Г.А., Кучерявый А.Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
15. Фокин Г.А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
16. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. СПб.: СПбГУТ, 2020. 558 с.
17. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М.: Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 3GPP TR 38.802. Study on New Radio access technology physical layer aspects. Rel. 14, V14.2.0, Sep. 2017.
22. 5G Toolbox. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/products/5g.html> (дата обращения: 14.02.2022)
23. Phased Array System Toolbox. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/products/phased-array.html> (дата обращения: 14.02.2022)
24. NR SSB Beam Sweeping. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-ssb-beam-sweeping.html> (дата обращения: 14.02.2022)

25. NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS. MathWorks, Inc. URL: <https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-downlink-transmit-end-beam-refinement-using-csi-rs.html> (дата обращения: 14.02.2022)

26. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.

27. Фокин Г. А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159, 07.12.2021. Правообладатель Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

УДК 004.932.4
ГРНТИ 28.23.15

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ГРУППОВЫХ ЦЕЛЕЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ, ПОЛУЧЕННЫМ В ИК-ДИАПАЗОНЕ

М. В. Созинова

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

В данной статье представлен алгоритм распознавания ИК-изображений, основанный на структурном анализе. Такой подход предполагает анализ изображения с целью построения его структурного описания и последующее распознавание путем сравнения структуры текущего и эталонного изображений. Приведены результаты экспериментальной оценки эффективности предложенного алгоритма распознавания.

алгоритм структурного распознавания, распознавание ИК-изображений.

Распознавание изображений, полученных в инфракрасном диапазоне, представляет собой отдельный класс задач в области анализа и распознавания изображений. Внешний вид одного объекта на ИК-изображении может существенно отличаться в зависимости от окружающих условий. Поэтому большинство методов, использующихся для распознавания телевизионных изображений и основанных на использовании текстурных признаков изображения, оказываются малоэффективными для ИК-изображений. В этом случае предпочтительнее использовать методы, основанные на анализе

структуры изображения. Одним из перспективных методов является алгоритм структурного распознавания для групповых стационарных целей в ИК-диапазоне.

Общая блок-схема этапов работы структурного алгоритма распознавания приведена на рис. 1. Процесс распознавания в данном случае делится на несколько основных этапов:

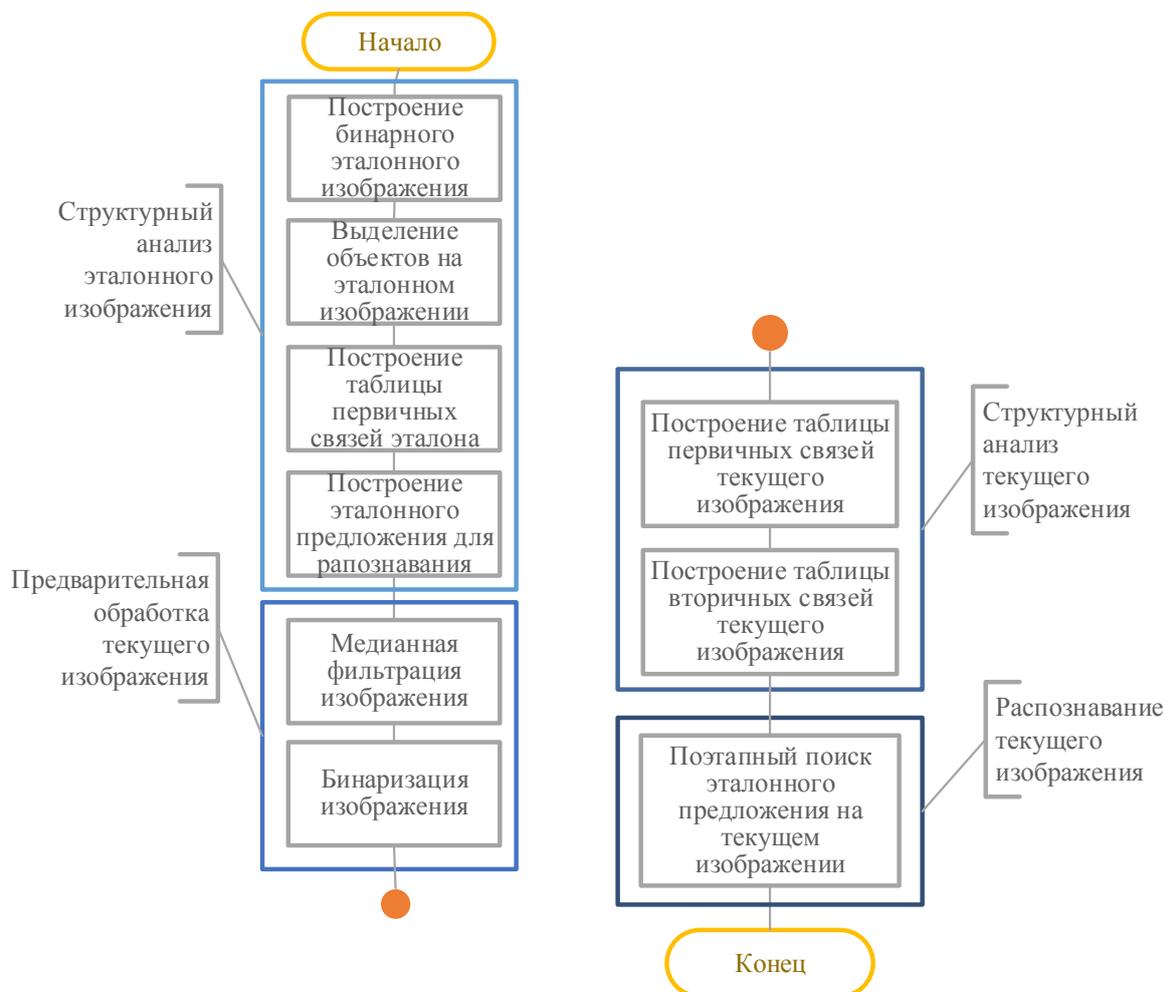


Рис. 1. Блок-схема этапов работы структурного алгоритма распознавания

1. Структурный анализ эталонного изображения. Данный этап является предварительным этапом процесса распознавания. Основные этапы построения структурного описания изображения приведены в статье [1]. В рамках данного алгоритма выполняются следующие операции:

- Построение бинарного эталонного изображения;
- Выделение отдельных значимых объектов на эталонном изображении.

Далее заполняется таблица первичных связей [2], которая содержит в себе характерные параметры, определяющие каждую пару выделенных объектов. На данный момент этими параметрами являются:

- Расстояние между центрами двух текущих объектов;
 - Угол наклона прямой, соединяющей центры объектов;
 - Координаты центров каждого из двух объектов.
- Следующий шаг – построение эталонного «предложения» для распознавания (рис. 2). На основе таблицы первичных связей среди всех отобранных для эталона объектов выделяются последовательные тройки объектов, для которых вычисляются и сохраняются параметры, определяющие эту тройку:
- Номера всех трех объектов в структурном описании изображения;
 - Отношение длин отрезков, образованных объектами (1, 2) и (2, 3);
 - Угол между прямыми, соединяющими объекты текущей тройки;
 - Отношения площадей 1 и 2 объектов, а также 2 и 3 объектов из текущей тройки;
 - Отношение площади первого объекта к расстоянию между первым и вторым объектом.

Таким образом, эталонное предложение, используемое в дальнейшем для распознавания, представляет собой последовательность троек объектов на эталонном изображении с описанием соответствующих параметров этих троек.

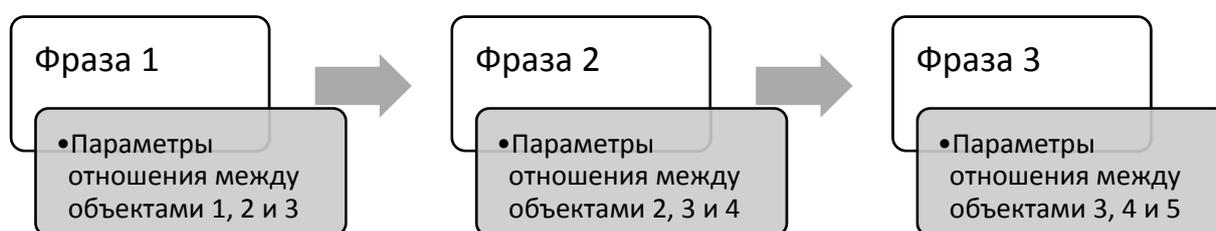


Рис. 2 Пример эталонного предложения для распознавания

2. Предварительная обработка текущего распознаваемого изображения. Она включает в себя 2 основные функции:

- Медианная фильтрация для сглаживания шумов на изображении.
- Бинаризация изображения. Алгоритм бинаризации может быть выбран любой, подходящий под условия использования алгоритма. В данной работе используется адаптивный алгоритм бинаризации Отсу [3].

3. Построение структурного описания текущего изображения. Для этого изображение фильтруется, на нем выделяются все отдельные объекты. Так же, как и при анализе эталонного изображения, структурное описание текущего изображения сохраняется в виде таблицы первичных связей. На основе таблицы первичных связей строится также таблица вторичных связей (рис. 3). Это трехмерная таблица, которая содержит соотношения между всеми возможными тройками объектов на изображении и включает в себя те же параметры, которые сохранены в эталонном предложении.

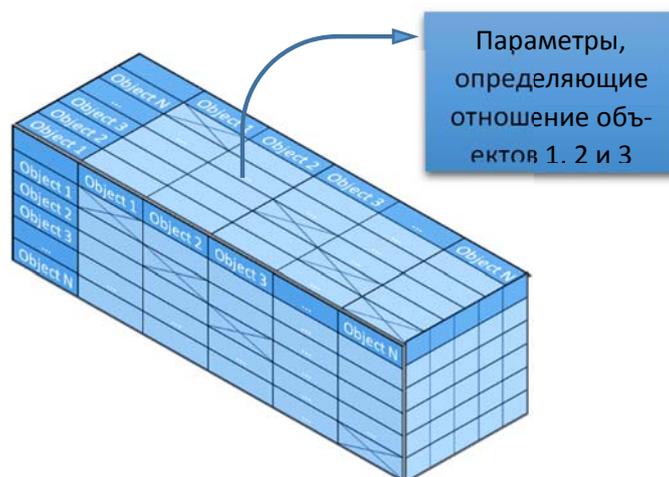


Рис. 3. Пример таблицы вторичных связей

4. Распознавание текущего изображения по его структурному описанию. Суть процесса распознавания заключается в следующем: из эталонного предложения последовательно выделяется каждая эталонная фраза (описание каждой последовательной тройки объектов эталона), и для этой фразы производится поиск соответствующей тройки объектов текущего изображения из таблицы вторичных связей. Все тройки объектов, прошедшие отбор (с учетом допустимых погрешностей) сохраняются в структуры возможных путей на текущем изображении и используются как начальные фразы при следующем цикле работы алгоритма.

После обработки всех фраз эталонного предложения в полученной структуре возможных вариантов путей выбирается вариант пути с максимальным соответствием эталонному предложению. И по выбранному варианту пути принимается решение о распознавании или нераспознавании эталона на текущем изображении (критерием распознавания является не только суммарный коэффициент соответствия эталона выделенному фрагменту изображения, но также и дисперсия предполагаемого изменения масштаба для каждой из частей пути, а также дисперсия в углах поворота распознанной сцены относительно эталонной (чем меньше дисперсии масштаба и угла поворота, тем выше приоритет при выборе результирующего пути).

Пример работы описанного алгоритма структурного распознавания приведен на рис. 4.



Рис. 4. Пример работы алгоритма структурного распознавания:
а) исходное полутоновое изображение, б) эталонное изображение,
в) результат распознавания

Для оценки эффективности и среднего времени работы представленного алгоритма структурного распознавания была проведена серия компьютерных экспериментов. В ходе экспериментов оценивалась вероятность правильного распознавания и скорость работы алгоритма для эталона, содержащего от 3 до 7 объектов. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты экспериментов

Количество объектов на эталоне	Количество кадров распознавания, N	Количество правильных распознаваний	Вероятность правильного распознавания, X, %	Среднее время распознавания, мс.
3	16 738	14 249	85,13	4,09
4	16 440	10 643	64,74	3,91
5	17 176	13 031	75,87	4,1
6	10 088	7 258	71,95	4,6
7	3 943	3 130	79,38	4,93
Итого	64 385	48 311	75,03	4,3

По приведенным результатам оценки можно сказать, что скорость работы алгоритма при размере изображения 640×480 пикселей составляет в среднем 4,3 мс, что вполне достаточно для использования представленного алгоритма в системах реального времени. При этом количество объектов, используемых в эталоне не оказывает существенного влияния на скорость

работы алгоритма. Также видно, что алгоритм позволяет достичь вероятности правильного распознавания в среднем на уровне 75 %, однако наиболее эффективным алгоритм оказывается при использовании эталона, содержащего 3 объекта (вероятность правильного распознавания в этом случае 85 %). Таким образом, можно выделить следующие преимущества использования данного алгоритма:

- значительное сокращение объема памяти, требуемый для хранения эталона за счет использования структурного описания, вместо целого изображения;
- высокая скорость работы алгоритма;
- инвариантность алгоритма к масштабу и вращению за счет использования относительных параметров.

Список используемых источников

1. Волков В. Ю., Созинова М. В. Построение структурного описания изображений для решения задачи распознавания // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VII Международная научно-техническая и научнометодическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2018. Т. 3. С. 86–91.
2. Автоматический анализ сложных изображений: сб. переводов / под ред. Э. М. Бравермана. М.: Изд-во «Мир», 1969. С. 22–30.
3. Созинова М. В. Бинаризация изображений с использованием адаптивного алгоритма Отсу // 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. 306–311.

*Статья представлена научным руководителем,
кандидатом технических наук, доцентом О. В. Украинским.*

УДК 621.396.4
ГРНТИ 49.29.14

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОРЕЛЕЙНОГО ИНТЕРВАЛА С АДАПТИВНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ РАЙСОВСКИХ ЗАМИРАНИЙ

И. В. Степанец

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

Одним из показателей качества функционирования радиорелейного интервала с адаптивной модуляцией является оценка его пропускной способности. Статья посвящена описанию методики расчета пропускной способности для радиорелейного интервала, функционирующего на основе использования адаптивной модуляции. Представлена общая последовательность действий для выполнения расчета, а также приведены математические выражения, позволяющие рассчитывать частные показатели пропускной способности радиорелейных интервалов в условиях замираний радиоволн. В качестве модели радиорелейного канала взят райсовский канал. Приведены результаты расчета пропускной способности для различных параметров райсовского канала.

радиорелейная связь, адаптивная модуляция, райсовские замирания, пропускная способность.

Реализация в сетях связи 5-го поколения (5G) сверхнадёжной и высокоскоростной передачи данных в условиях высокой концентрации абонентов выдвигает жёсткие требования к пропускной способности транспортной распределительной сети, включая беспроводный сегмент. Поэтому, в сетях 5G пропускная способность беспроводного сегмента транспортной распределительной сети должна быть на порядок выше, чем в сетях радиодоступа. Согласно требованиям организации ETSI, в сетях 5G скорость передачи данных в беспроводных каналах транспортной распределительной сети должна достигать до 100 Гбит/с [1]. Важное значение в беспроводном сегменте транспортных сетей 5G занимают системы радиорелейной связи типа Точка-Точка (Point-To-Point, PTP) и Точка-Многоточка (Point-Multi-Point, PMP) [2, 3]. Для обеспечения высоких скоростей передачи данных на практике применяют схемы модуляции quadrature amplitude modulation (QAM) более высоких порядков M , чем в предыдущих поколениях связи. M обозначает размерность созвездия QAM, или общее число вариантов позиций модуляционных символов в созвездии, при этом $M = 2^L$, где L – количество бит

в одном модуляционном символе. В современных системах радиорелейной связи в диапазоне частот E-band применяются размерности QAM до $M = 4096$ [4, 5].

Однако, по причине изменения внешних условий и состояния канала постоянное применение высоких модуляционных схем QAM может привести к потере данных. Эффективным способом обеспечения требуемой достоверности и высокой скорости передачи данных является применение адаптивных схем модуляции adaptive QAM (A-QAM), которые автоматически переключают схему модуляции в соответствии с состоянием канала. При улучшении отношения сигнал-шум (ОСШ) происходит адаптация модуляционной схемы на более высокую ступень, что позволяет максимально использовать доступный ресурс канала и осуществлять более высокие скорости передачи. При снижении ОСШ выбирается более низкая схема QAM, скорость передачи становится медленней, но за счет этого отсутствует потеря данных. При этом важно задать оптимальные пороги ОСШ для переключения, чтобы, с одной стороны, вероятность ошибки bit error rate (BER) не превысила заданное значение, а с другой стороны, скорость передачи (пропускная способность) была максимальной для текущего значения ОСШ.

Возникающая при распространении сигнала интерференция приводит к случайным изменениям мощности сигнала, которая в зависимости от условий распространения сигнала описывается различными законами распределения. С одной стороны, причиной замираний на интервалах радиорелейных линий является изменение во времени метеорологических условий [6, 7]. С другой стороны, благодаря наличию прямой видимости line of sight (LOS) на интервале имеется одна доминантная составляющая в сигнале. Закон распределения мощности сигнала под влиянием одной доминантной составляющей сопоставим с законом распределения Райса, который в научной литературе также называется обобщённым законом Рэлея [8, 9] или Накагами-Райса [10].

В этих условиях огибающая (амплитуда) A_{Rice} является случайной и имеет распределение Райса, а его одномерная плотность распределения вероятностей равна [9]:

$$p_{A_{Rice}}(A_{Rice}) = \frac{A_{Rice}}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{A_{Rice}^2 + A_0^2}{2\sigma^2}\right)} I_0\left(\frac{A_{Rice}A_0}{\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где A_0^2 – средняя мощность регулярной составляющей или LOS компоненты сигнала в радиорелейном интервале; $2\sigma^2$ – средняя мощность флуктуационной составляющей сигнала, т. е. не LOS компоненты; $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Текущее состояние канала на интервале радиорелейной связи определяет колебания отношения мощности сигнала к мощности шума (ОСШ), которое влияет на вероятность ошибки и пропускную способность интервала. Закон распределения ОСШ, как отношения мощностей, при наличии одной доминантной составляющей представляет собой распределение квадрата райсовской случайной величины.

Применяя к распределению (1) квадратичное преобразование случайной величины [11], плотность распределения ОСШ γ примет вид:

$$p_{\gamma_{Rice}}(\gamma) = \frac{1+k}{\bar{\gamma}_0} e^{-\left(k + \frac{(1+k)\gamma}{\bar{\gamma}_0}\right)} I_0\left(2 \cdot \sqrt{\gamma} \sqrt{\frac{k(1+k)}{\bar{\gamma}_0}}\right), \quad (2)$$

где $\bar{\gamma}_0 = \gamma_d + \gamma_r$ – среднее суммарное отношение мощностей доминантной (регулярной) γ_d и случайной γ_r составляющих к шуму; $k = \frac{\gamma_d}{\gamma_r}$ – k -фактор распределения Райса, который равен отношению доминантной (регулярной) составляющей γ_d к случайной γ_r ; $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Для оценки пропускной способности в единицах информационный бит на модуляционный символ (bit per symbol – BPS) райсовского канала с адаптивной модуляцией B_{adapt} предлагается придерживаться следующей методики расчета:

1) Определить пороги ОСШ переключения между разными модуляционными схемами в зависимости от заданной вероятности битовой ошибки для гауссовского канала.

2) Рассчитать пропускные способности для каждой модуляционной схемы, определив интегралы плотности райсовского распределения вероятности для каждой из этих модуляционных схем. В качестве порогов интегрирования взять пороги переключения с одной модуляционной схемы на следующую, представляющие собой пороги ОСШ для заданной вероятности битовой ошибки. Эти пороги были определены в шаге 1.

3) Общая пропускная способность канала с адаптивной модуляцией представляет собой сумму пропускных способностей отдельных модуляционных схем, задействованных в системе [12, 13]:

$$B_{adapt} = \sum_{i=1}^N B_{i-adapt} = \sum_{i=1}^N L_i \cdot \int_{SNR_i}^{SNR_{i+1}} p_{\gamma_{Rice}}(\gamma_s) d\gamma_s, \quad (3)$$

где N – количество модуляционных схем, используемых в системе с адаптивной модуляцией; $L_i = \log_2 M_i$ – количество бит в модуляционном сим-

воле модуляции M_i -QAM для i -й модуляционной схемы; $p_{\gamma_{Rice}}(\gamma_s)$ – плотность распределения вероятности случайной райсовской величины, характеризующая исследуемый канал; SNR_i – порог переключения ОСШ на i -ю модуляционную схему.

Пропускная способность для каждой задействованной в системе модуляционной схемы в отдельности $B_{i-adapt} = \int_{SNR_i}^{SNR_{i+1}} p_{\gamma_{Rice}}(\gamma_s) d\gamma_s$, где в качестве пределов интегрирования задаются пороги переключения ОСШ для заданной вероятности ошибки, которые рассчитаны в предыдущем шаге 1.

Используя предложенную методику расчета было выполнено моделирование в программе MathCad для получения пропускной способности радиорелейного интервала при различных условиях канала, выраженных через k -фактор для разных значений требуемой вероятности ошибки BER.

На рис. 1 и 2 представлены результаты расчета пропускной способности для требуемых вероятностей ошибки BER (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9}) при меняющихся k -факторах распределения Райса. Чёрная линия соответствует $k1 = 3$, синяя – $k2 = 5$, малиновая – $k3 = 10$, зеленая – $k4 = 15$, цвета морской волны – $k5 = 20$, коричневая – $k6 = 50$. Стрелками обозначены области работы модуляционных схем QAM.

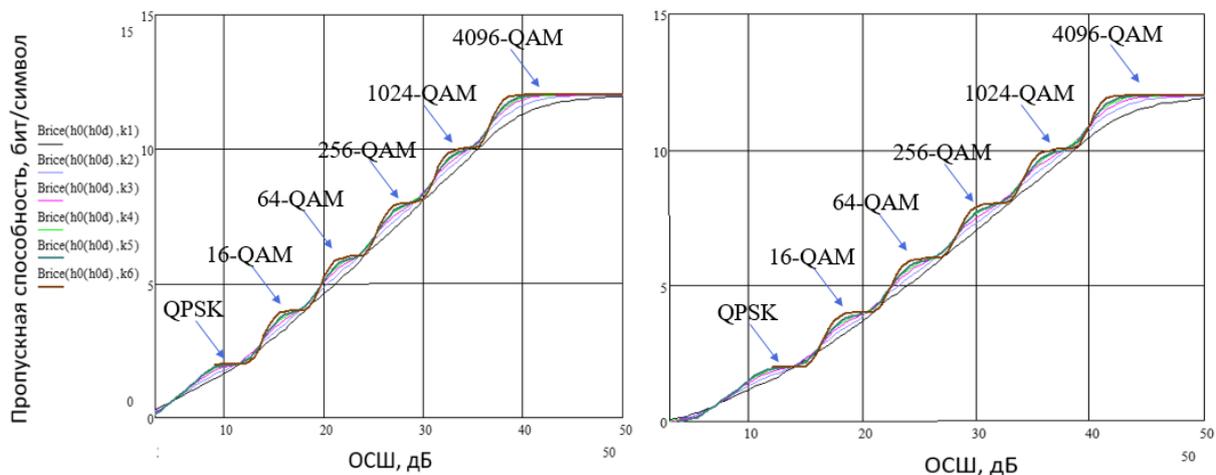


Рис. 1. Зависимость пропускной способности от k -фактора для требуемого BER = 10^{-2} (слева) BER = 10^{-3} (справа)

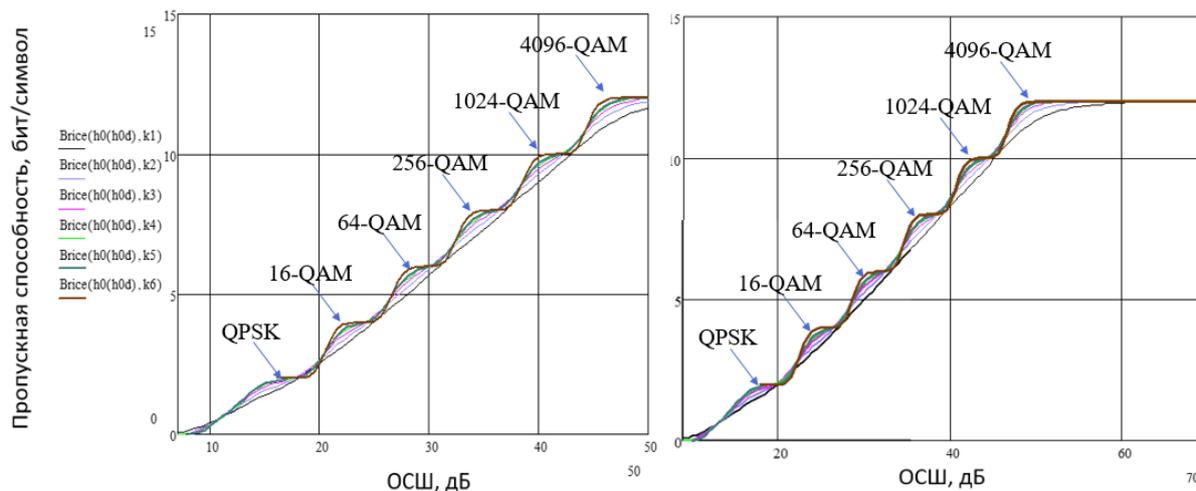


Рис. 2. Зависимость пропускной способности от k -фактора для требуемого BER = 10^{-6} (слева) BER = 10^{-9} (справа)

При низком значении k -фактора линия пропускной способности системы с адаптивной модуляцией имеет сглаженную форму. При увеличении значения k -фактора наблюдается ярко выраженная ступенчатая форма графика пропускной способности. Это обусловлено тем, что при увеличении k -фактора доминантная составляющая сигнала начинает более существенно преобладать над случайной составляющей и в заданных промежутках между переключениями ОСШ модуляционная схема остается стабильной, поэтому пропускная способность не меняется или меняется слабо. При достижении ОСШ порога переключения на следующую модуляционную схему пропускная способность растет быстрее из-за более высокого значения k -фактора. При росте требований к BER пропускная способность достигается при более высоких значениях ОСШ, поэтому график сдвигается вправо.

Таким образом, новизна работы состоит в полученной зависимости пропускной способности (информационный бит/модуляционный символ) для систем радиорелейной связи типа Точка-Точка и Точка-Многоточка с адаптивной модуляцией BPSK-QPSK-MQAM в условиях райсовских замираний.

Список используемых источников

1. ETSI GR mWT 012 V1.1.1 (2018-11). 5G Wireless Backhaul/X-Haul
2. Степанец И. В., и др. Особенности применения и планирования радиорелейной связи в сетях 5 поколения // Информатизация и связь. 2019. № 3. С. 77–83.
3. Stepanets, I., Fokin, G., & Odoevskii, S. Model of Integrated Radio Access and Wireless Backhaul for 5th Generation Network. In International Youth Conference on Electronics, TIT Springer, Cham. 2021. pp. 637–645.
4. ETSI TR 103 053 V1.1.1 (2014-09) Fixed Radio Systems; Parameters affecting SNR and RSL threshold in point-to-point receivers; Theory and practice.

5. ITU-R Wireless Backhaul Workshop. Evolution of Fixed Services for wireless backhaul of IMT 2020 / 5G. Geneva, 2019.04.29.
6. Справочник по радиорелейной связи. Каменский Н.Н. и др. / Под ред. С.В. Бородича. Изд. 2-е, М.: Радио и связь, 1981. 416 с.
7. Справочник МСЭ-R-HDB-54-2009. Данные о распространении радиоволн для проектирования наземных линий связи пункта с пунктом.
8. Финк Л. М. Теория передачи дискретных сообщений. Изд. 2-е, переработанное, дополненное. М.: Советское Радио, 1970. 728 с.
9. Ермолаев В. Т. и др. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи. Н. Новгород.: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011. 368 с.
10. Рек. МСЭ-R P.1057-5. Распределения вероятностей, касающихся моделирования распространения радиоволн.
11. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. М.: Советское Радио, 1969. 752 с.
12. Torrance J. M., Hanzo L. Upper bound performance of adaptive modulation in a slow Rayleigh fading channel // Electronics letters. 17th April 1996. 32 No. 8. С. 718–719.
13. Одоевский С. М. и др. Модель функционирования сети связи, построенной на основе радиорелейных станций с адаптивной модуляцией и коммутацией пакетов // Труды учебных заведений связи. 2021. Т. 7. № 4. С. 63–76.

*Статья представлена научным руководителем,
доктором технических наук, профессором С. М. Одоевским.*

УДК 004.421
ГРНТИ 47.14.17

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-СЖАТИЯ СИГНАЛОВ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ СО СВЕРХНИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ

А. Б. Степанов

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

Работа посвящена описанию основных принципов реализации алгоритма вейвлет-сжатия сигналов на микроконтроллере со сверхнизким энергопотреблением. В качестве элементной базы рассматривается микроконтроллер фирмы Texas Instruments MSP430G2553. Приводятся результаты работы данного устройства при применении различных вейвлетов и коэффициентов сжатия. Оценивается целесообразность использования данного микроконтроллера при реализации алгоритмов сжатия сигналов.

вейвлет-сжатие сигналов, микроконтроллер, сверхнизкое энергопотребление, реализация, интегрированная среда разработки.

Как известно [1–5], при анализе сигналов широкое распространение получили методы, основанные на применении вейвлетов – функций с нулевым интегральным значением, обладающие компактным носителем и способные к сдвигу и масштабированию. Кроме выявления информационных признаков в сигнале, вейвлеты также используются при сжатии сигналов и очистке их от шума.

Для сжатия сигналов может быть использовано одно из трех наиболее известных преобразований на основе вейвлетов: дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), многоуровневое дискретное вейвлет-разложение (МДВР), пакетное вейвлет-разложение (ПВР).

При дискретном вейвлет-преобразовании (рис. 1) оригинальный сигнал $x(nT)$ подвергается разложению на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты. При этом исходный сигнал подвергается фильтрации и децимации. При фильтрации используются фильтры разложения нижних и верхних частот (ФРНЧ и ФРВЧ соответственно). В отличие от непрерывного вейвлет-преобразования, при выполнении дискретного вейвлет-преобразования используется ортогональный базис.

Процедура обратного дискретного вейвлет-преобразования позволяет выполнить восстановление сигнала. При этом используется интерполяция и фильтрация с применением фильтров восстановления нижних и верхних частот.

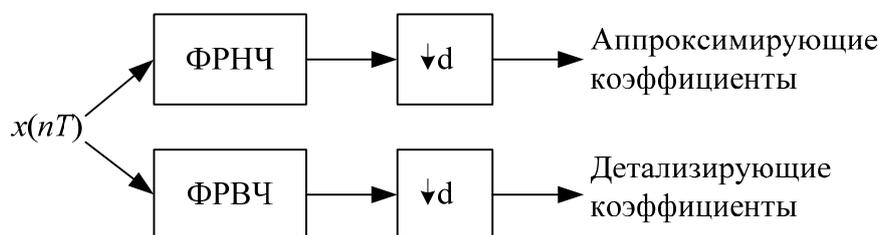


Рис. 1. Дискретное вейвлет-преобразование

При удалении детализирующих коэффициентов после выполнения ДВП обеспечивается сжатие сигнала с коэффициентом 2. Выполняя восстановление сигнала, дополняя недостающие коэффициенты нулями, осуществляется исключение из сигнала высокочастотной составляющей, передающейся в детализирующих коэффициентах.

При многоуровневом дискретном вейвлет-разложении может многократно выполняться базовый алгоритм ДВП применительно к аппроксимирующим коэффициентам (рис. 2).

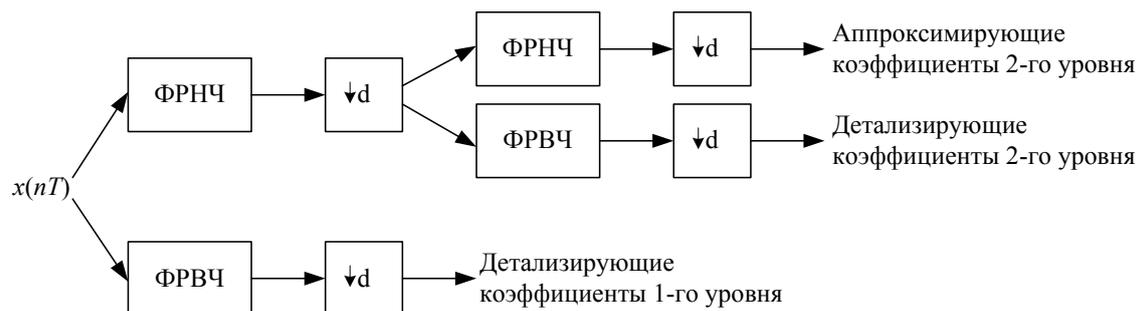


Рис. 2. Двухуровневое дискретное вейвлет-разложение

При пакетном вейвлет-разложении выполняется многократное разложение аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов.

При использовании пакетного вейвлет-разложений обеспечивается большая гибкость по сравнению с ДВП.

Данная работа посвящена описанию реализации базового алгоритма выполнения процедуры вейвлет-сжатия сигналов на основе ДВП и МДВР.

Для реализации данного алгоритма предлагается рассмотреть элементную базу со сверхнизким потреблением энергии, что особенно актуально при реализации автономных устройств обработки сигналов.

В качестве такой элементной базы могут быть использованы микроконтроллеры фирмы Texas Instruments MSP430G2452 и MSP430G2553. Данные микроконтроллеры в режиме пониженного потребления энергии (при частоте 1 МГц) потребляют 220 мкА и 230 мкА соответственно, а при максимальной производительности около 4,8 мкА. Рассматриваемые микроконтроллеры имеют архитектуру фон Неймана, отличаются объемом внутренней памяти и максимальной тактовой частотой:

- MSP430G2452 256 байт ОЗУ, 8 Кбайт ПЗУ, тактовая частота до 8 МГц;
- MSP430G2553 512 байт ОЗУ, 16 Кбайт ПЗУ, тактовая частота до 16 МГц.

Важным отличием микроконтроллера MSP430G2553 от микроконтроллера MSP430G2452 является возможность аппаратной реализации UART. В связи с этим, при выборе элементной базы для реализации алгоритмов вейвлет-сжатия сигналов был выбран микроконтроллер MSP430G2553, т. к. при незначительном увеличении энергопотребления он имеет больший объем внутренней памяти и выше тактовую частоту. Также микроконтроллер имеет аппаратную реализацию UART, что позволяет экономить внутреннюю память.

Значительный объем внутренней памяти затрачивается для хранения коэффициентов цифровых фильтров, используемых при реализации алгоритма. Число коэффициентов фильтра зависит от выбранного вейвлета. Например, для вейвлета Добеши 1 (вейвлета Хаара) число коэффициентов

равно 2 [6], для Добеши 6 – 12 коэффициентов. Число используемых фильтров зависит от числа уровней разложения, а также от того используются ли детализирующие коэффициенты в дальнейшем или нет.

При выполнении сжатия сигнала, когда необходимо получить только аппроксимирующие коэффициенты заданного уровня разложения (определяет коэффициент сжатия), достаточно использовать только ФРНЧ. С целью минимизации объема программного кода для выбранного микроконтроллера автором предлагается использовать алгоритм вейвлет-сжатия сигналов, приведенный на рис. 3. На рисунке используются следующие обозначения:

- R – число уровней разложения;
- k – число этапов;
- $R = k + 1$.

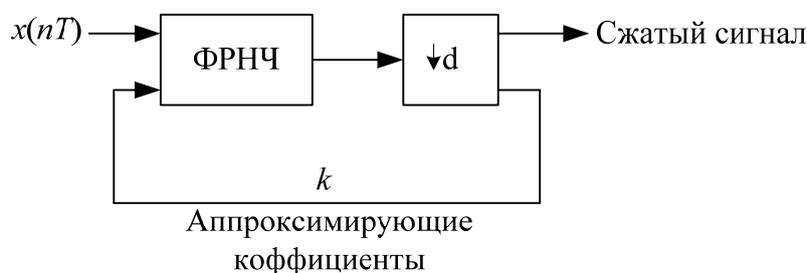


Рис. 3. Предложенный алгоритм вейвлет-сжатия сигналов

При написании программного кода использовалась интегрированная среда разработки Code Composer Studio.

Выбор вейвлета осуществляется в зависимости от типа сигнала и необходимого коэффициента сжатия. Для ступенчатого сигнала может быть использован вейвлет Хаара, а для гладких сигналов целесообразно применять другие вейвлеты, например, Добеши 4. Большее значение порядка вейвлета (порядка цифрового фильтра), как правило, позволяет получить меньшие потери качества сигнала при сжатии, но при этом требуют больших ресурсов элементной базы.

На рис. 4 и рис. 5 представлены результаты работы предложенного алгоритма вейвлет-сжатия сигналов, выполненного на микроконтроллере. Полученные результаты визуализированы в системе MATLAB:

- ступенчатый сигнал до сжатия (рис. 4, а) и после восстановления (рис. 4, б), коэффициент сжатия 2 (используется вейвлет Хаара и 1 уровень разложения);
- гладкий сигнал (электроэнцефалограмма [7, 8]) до сжатия (рис. 5, а) и после восстановления (рис. 5, б), коэффициент сжатия 4 (используется вейвлет Добеши 4 и 2 уровня разложения).

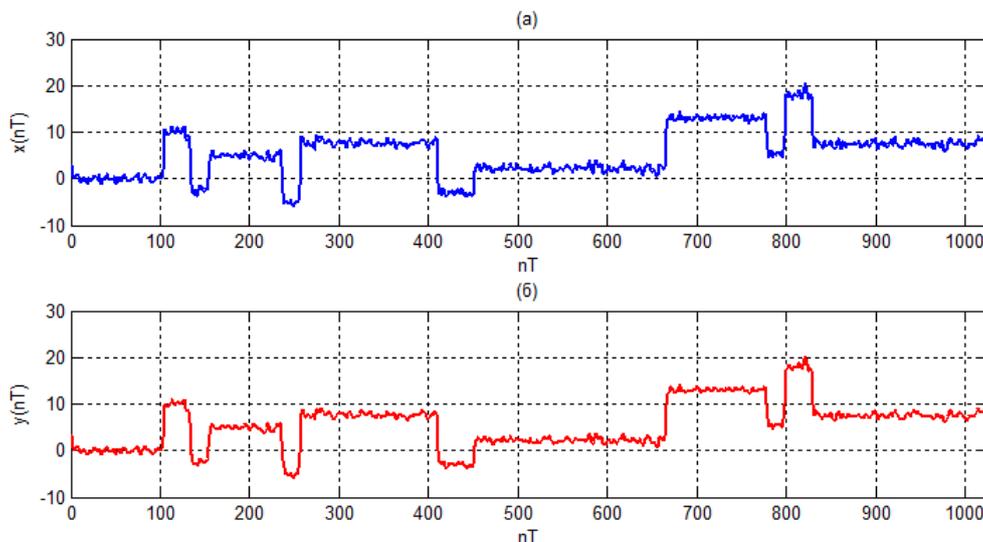


Рис. 4. Исходный (а) и восстановленный (б) сигналы
(при использовании вейвлета Хаара)

Таким образом, при процедуре вейвлет-сжатия сигналов может быть использован микроконтроллер со сверхнизким потреблением энергии MSP430G2553. Скорость выполнения данного алгоритма позволяет применять его на практике при реализации устройства вейвлет-сжатия сигналов.

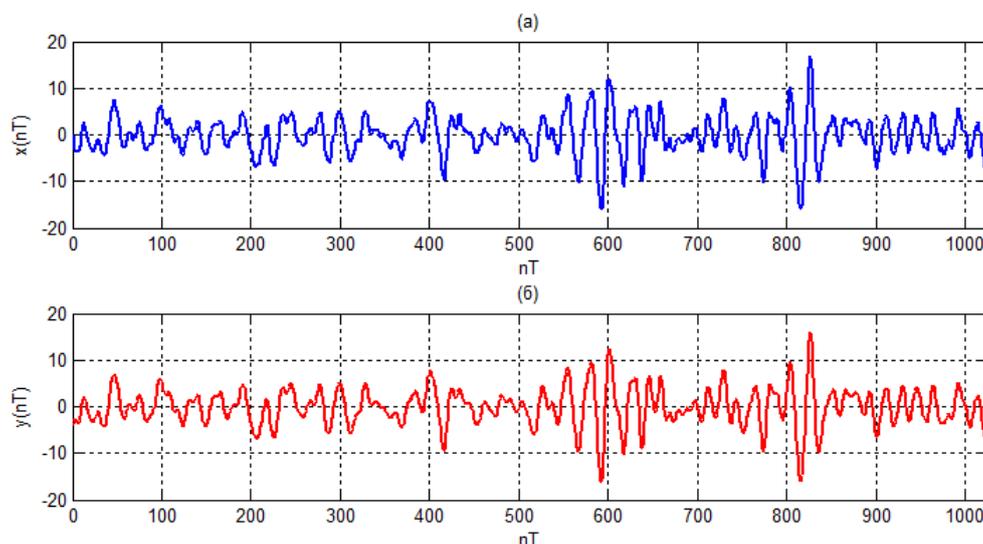


Рис. 5. Исходный (а) и восстановленный (б) сигналы
(при использовании вейвлета Добеши 4)

Дальнейшее направление исследований может быть направлено на уменьшение порядка цифрового фильтра, что позволит увеличить скорость выполнения алгоритма и снизит требования к элементной базе.

Список используемых источников

1. Смоленцев Н. К. Основы теории введение. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК-Пресс.
2. Stepanov A. B. The Application of Neural Network and Spline Wavelet Models in the Electroencephalogram Analysis Automation Process / FRUCT Conf., Apr. 2016, pp. 321–327.
3. Stepanov A. B. Neural Network Model of Wavelets for the Continuous Wavelet Transform / ICSTPEA Conf., Jun.-Jul. 2014, pp. 177–178.
4. Витязев В. В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001.
5. Blatter C. Wavelets – Eine Einfuhrung. A.K. Peters, Ltd., 1998.
6. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. SIAM, 1992.
7. 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.
8. Stepanov A. B. On the Use of Splines for Wavelet Construction for Solving the Problem of Biomedical Signal Analysis Process Automation // In Proc. FRUCT Conf., Apr. 2015. pp. 216–221.

УДК 654.165
ГРНТИ 49.43.29

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕТЕЙ 6G

А. С. Степичев, А. Н. Степутин

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

Внедрение шестого поколения мобильной связи предполагается во второй половине 2020-х – 2030-е годы. Ожидается, что помимо всевозможных улучшений и нововведений сети мобильной связи 6G будут предоставлять абонентам групповые скорости передачи данных на уровне 1 Тбит/с. Для достижения таких показателей пропускной способности будут применены различные сочетания таких технологий как mMIMO, агрегирование несущих частот, модуляционно-кодирующие схемы высоких порядков и использование частотного спектра в субтерагерцовом диапазоне. Также немаловажную роль в обеспечении скоростных показателей играет используемый в сети метод множественного доступа. В сетях мобильной связи четвертого и пятого поколений используется OFDM модуляция, обеспечивающая достаточную для данных сетей спектральную эффективность. Но при этом уже сейчас существуют альтернативные методы цифровой модуляции, такие как N-OFDM.

Целью данной работы является изучение методов модуляции OFDM и N-OFDM и определение технологических решений и требуемой полосы частот для обеспечения пропускной способности сети 6G в 1 Тбит/с.

6G, сети 2030, мобильные сети, Network 2030, OFDM, N-OFDM.

1. Ключевые особенности OFDM. Преимущества и недостатки

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) – это цифровая схема модуляции с несколькими несущими, которая расширяет концепцию модуляции одной поднесущей за счет использования нескольких поднесущих в одном и том же канале. Вместо того, чтобы передавать высокоскоростной поток данных с одной поднесущей, OFDM использует большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих, которые передаются параллельно. Каждая поднесущая модулируется с помощью обычной схемы цифровой модуляции (такой как QPSK, 16QAM и т. д.) с низкой скоростью передачи символов. Однако комбинация многих поднесущих обеспечивает скорость передачи данных, аналогичную традиционным схемам модуляции с одной несущей, в эквивалентных полосах пропускания [1].

Чтобы увидеть, как работает OFDM, необходимо посмотреть на приемник. Он действует как банк демодуляторов, преобразуя каждую несущую в постоянный ток. Результирующий сигнал интегрируется по периоду символа для восстановления данных из этой несущей. Тот же демодулятор обрабатывает и другие несущие. Поскольку расстояние между несущими, равное обратной величине периода символа, означает, что они будут иметь целое число циклов в периоде символа, и их вклад в сумме будет равен нулю, другими словами, вклад помех отсутствует [2]. На рисунке 1 изображен частотный спектр OFDM сигнала.

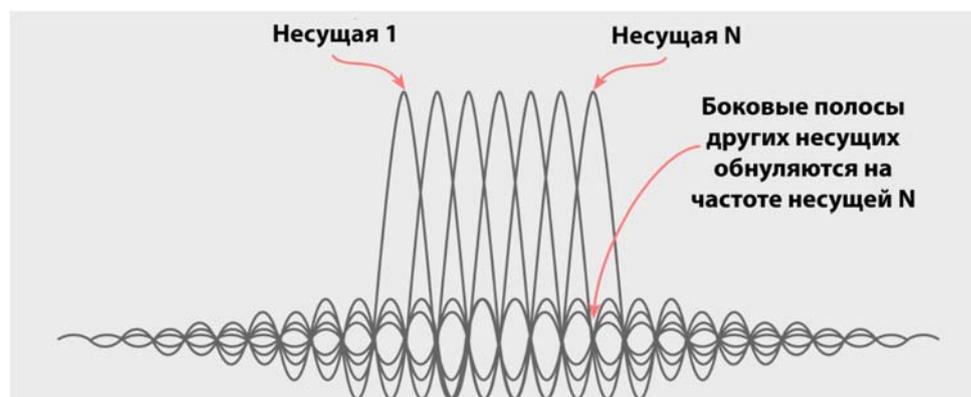


Рис. 1. Частотный спектр OFDM сигнала

OFDM использовался во многих беспроводных системах с высокой скоростью передачи данных из-за множества преимуществ, которые он предоставляет. В таблицу 1 сведены преимущества и недостатки OFDM [2].

ТАБЛИЦА 1. Преимущества и недостатки OFDM

Преимущества	Недостатки
Невосприимчивость к избирательным замираниям	Высокое отношение пиковой мощности к средней. Что влияет на эффективность РЧ-усилителя
Устойчивость к интерференции	
Эффективное использование спектра	
Устойчивость к межсимвольным и межкадровым помехам	Чувствительность к смещению и дрейфу несущей частоты
Устойчивость к узкополосным воздействиям	
Упрощенная коррекция каналов	

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением заняло значительное место на рынке беспроводной связи. Сочетание высокой пропускной способности, высокой спектральной эффективности и устойчивости к помехам в результате эффектов многолучевости означает, что он идеально подходит для приложений с большими объемами данных, которые оказывают значительное влияние на рынок телекоммуникаций.

2. N-OFDM

Ожидается, что мультиплексирование с неортогональным частотным разделением (Non-Orthogonal Frequency Division Multiplexing, N-OFDM) значительно повысит спектральную эффективность по сравнению с OFDM. Для достижения такого улучшения занимаемая полоса пропускания в N-OFDM упаковывается более компактно, чем в OFDM, за счет уменьшения разнеса поднесущих. Это показано на рис. 2, где схемы поднесущих OFDM и N-OFDM сравниваются в частотной области, когда в обеих системах используется одинаковое количество поднесущих N . Параметр $\alpha < 1$ является коэффициентом сжатия, который определяет отношение разнеса поднесущих в N-OFDM к таковому в OFDM [3].

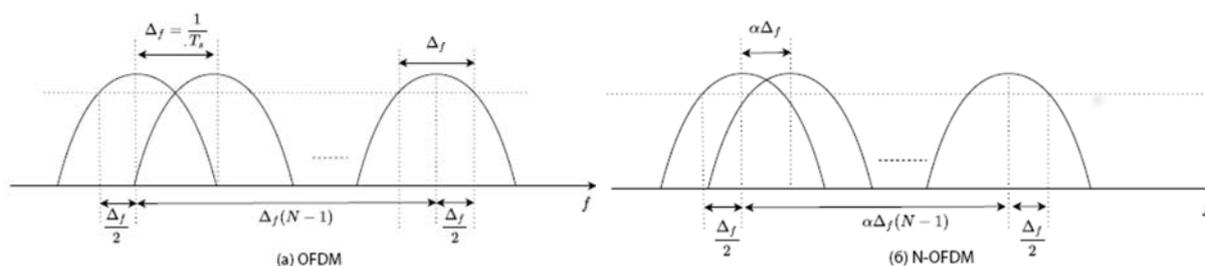


Рис. 2. Сравнение разнеса поднесущих в OFDM и N-OFDM.

Метод модуляции N-OFDM до сих пор не приобрел массовое применение в связи со сложностью демодуляции сигнала на приемной стороне. Ожидается, что данная проблема будет решена в ближайшие годы и N-OFDM модуляция станет важнейшим фактором повышения спектральной эффективности в сетях мобильной связи шестого поколения.

3. Методика расчета требуемой полосы частот

Расчет требуемой полосы частот для обеспечения групповой скорости в 1 Тбит/с будем осуществлять следующим образом [4]:

1) Определяем целевую скорость на одну антенну:

$$R_1 = 1 \text{ Тбит/с} / N_{\text{MIMO}},$$

где N_{MIMO} – порядок MIMO системы. Также примем условность $R_{\text{код}} = 1$;

2) Определим требуемую символьную скорость:

$$R_{\text{симв}} = R_1 / (R_{\text{код}} * \log_2 M),$$

где M – порядок модуляционно кодирующей схемы QAM;

3) Определим требуемое количество кадров/с и субкадров/с:

$$N_f = R_{\text{симв}} * (10 * 10^{-3})$$

$$N_{sf} = N_f / 10$$

4) Определим количество ресурсных элементов в одном ресурсном блоке, отведенных под передачу полезного трафика:

$$N_{\text{РЭ}_\Pi} = N_{\text{РЭ}} - N_{\text{РЭ}_{\text{PDCH}}} - N_{\text{РЭ}_{\text{MIMO}}},$$

где $N_{\text{РЭ}} = 168$ – количество РЭ в одном OFDM РБ, $N_{\text{РЭ}_{\text{PDCH}}}$ – количество РЭ на канал PDCH, $N_{\text{РЭ}_{\text{MIMO}}}$ – количество РЭ на опорные символы MIMO;

5) Определение требуемого количества РБ:

$$N_{\text{РБ}} = N_{sf} / N_{\text{РЭ}_\Pi}.$$

6) Определим требуемый спектральный ресурс, исходя из условия, что 1 МГц частотного спектра вмещает в себя 5 РБ:

$$B_{\text{треб}} = N_{\text{РБ}} / 5.$$

4. Результаты расчетов

Результаты расчетов требуемой полосы частот в зависимости от выбранной модуляционно кодирующей схемы QAM и порядка MIMO сведены в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2. Требуемая для обеспечения групповой скорости в 1 Тбит/с ширина полосы частот в ГГц

		Модуляционно кодирующая схема QAM			
		16	64	256	1024
Порядок ММО	ММО 4x4	97,7	65,1	48,8	39,1
	ММО 8x8	55,8	37,2	27,9	22,3
	ММО 16x16	27,9	18,6	14,0	11,2
	ММО 32x32	14,0	9,3	7,0	5,6
	ММО 64x64	7,0	4,7	3,5	2,8

На рис. 3 представлены гистограммы, построенные на основании полученных данных.

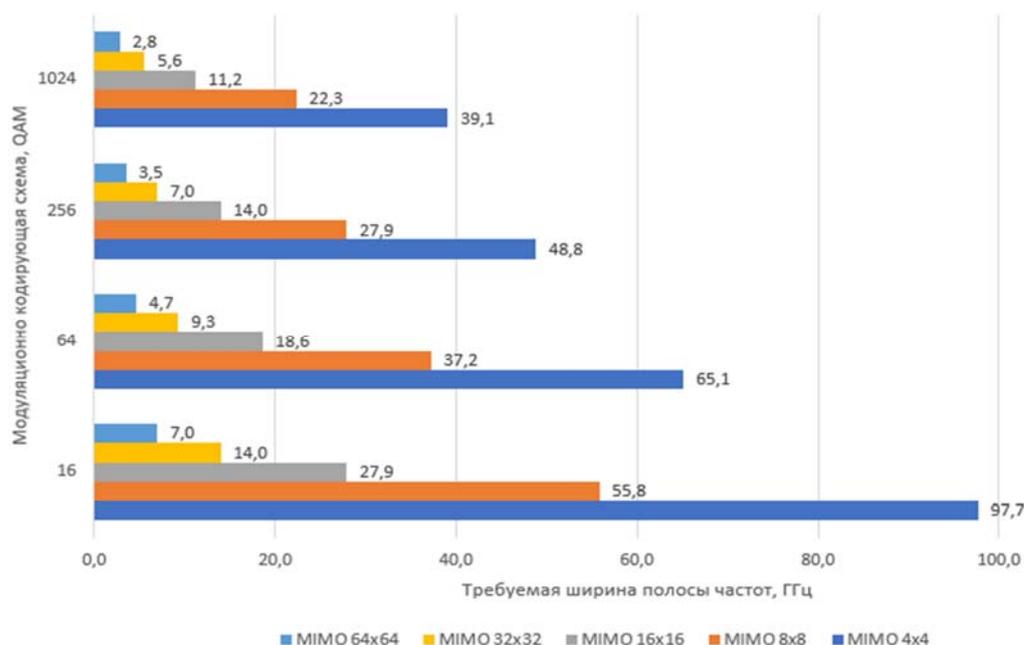


Рис. 3. Зависимость требуемой полосы частот для обеспечения групповой скорости в 1Тбит/с от порядка ММО и модуляционно кодирующей схемы QAM

На рис. 4 изображены графики зависимости требуемой полосы частот для OFDM и N-OFDM при ММО 64X64 и различных модуляционно кодирующих схемах QAM. Коэффициент уплотнения $\alpha = 0,5$.

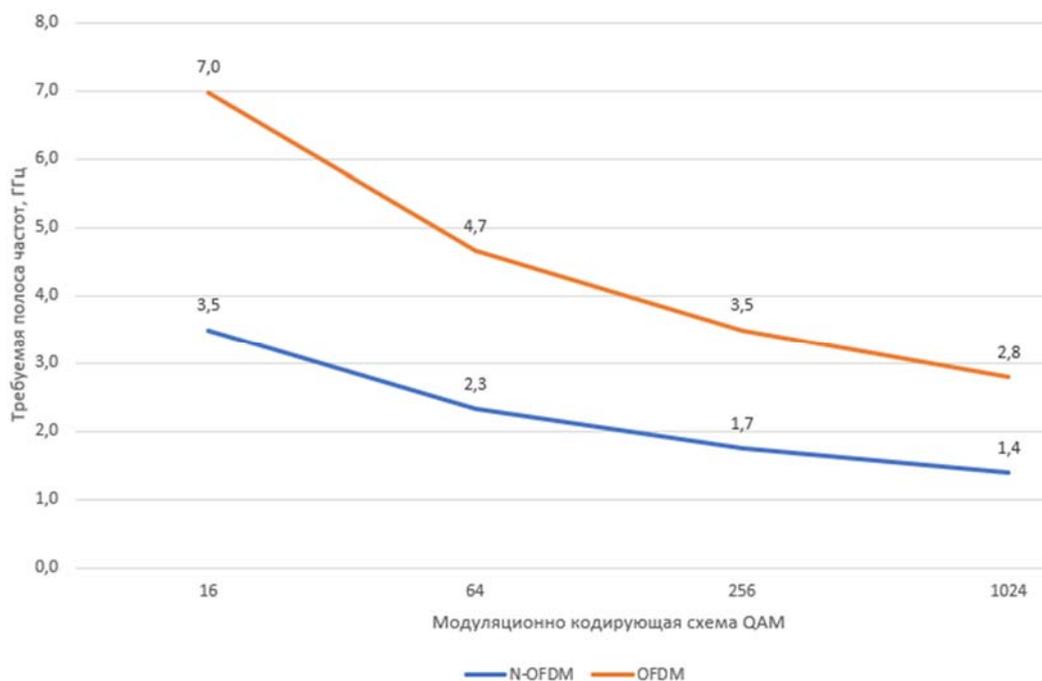


Рис. 4. Сравнение требуемой полосы частот для обеспечения групповой скорости в 1 Тбит/с для OFDM и N-OFDM

Заключение

Частотный ресурс – золото XXI века. Для обеспечения высоких групповых скоростей в 1 Тбит/с в сетях мобильной связи 6G потребуется широкий диапазон спектрального ресурса. Важнейшим фактором повышения эффективности использования частотного спектра может послужить применение N-OFDM, что, согласно проведенным расчетам, позволит значительно сократить требуемую ширину полосы частот.

Список используемых источников

1. Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN. URL: https://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm (дата обращения: 27.01.2022)
2. What is OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-orthogonal-frequency-division-multiplexing-what-is-tutorial-basics.php> (дата обращения: 27.01.2022)
3. Nghia H. Nguyen. Non-orthogonal Frequency Division Multiplexing with Index Modulation. Saskatoon, Saskatchewan, Canada. January, 2021.
4. Рыжков А. Е., Сиверс М. А., Воробьев В. О., Гусаров А. С., Слышков А. С., Шуньков Р. В. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. СПб.: Линк, 2012. 226 с.

УДК 621.397.132
ГРНТИ 47.51.39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДРЕСНЫХ СВЕТОДИОДОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕНЕРАТИВНОЙ ГРАФИКИ

Д. А. Татаренков

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

В последние годы значительно увеличился интерес к формированию единой композиции сценического пространства с использованием светотехнических устройств. Тщательное планирование художественного оформления света, техническое обустройство сценической среды позволяют добиться большей вовлечённости зрителя, дают возможность актёрам лучше раскрыть характер персонажей. Сценография представляет собой симбиоз большого числа профессий, среди которых важное место занимает художник по свету. Статья посвящена анализу средств визуального оформления сцены. Предложен метод дополнения светового оформления адресными светодиодными лентами и панелями. Реализована установка формирования генеративной графики и передачи её на светодиодные устройства.

генеративная графика, иммерсивность, адресные светодиоды, LED.

Основными факторами целостного восприятия сцены (её образа) являются пропорции и формы конструкций, наличие или отсутствие декораций а также их окраски и типа материала, использование проекций изображений и форма освещения. Задача художника-постановщика - получить целостный результат, точно передающий сюжет и настроение представления. Важно соблюдать единый стиль не только при оформлении сцены, но и согласовать это с ритмом повествования, музыкальным сопровождением. Причём сценография существует не в двумерном пространстве, а в трёхмерном, и кроме того может подвергаться трансформации во времени.

Важнейшим выразительным средством в сценографии является свет. Именно свет во многом создает нужный психологический «климат» в спектакле, освещает место действия, изображает эффекты погоды, корректирует внешность актёра [1].

Освещение сцены производится при помощи различных источников света. Среди них особое назначение имеет диффузное освещение, которое предназначено для заполнения всей сцены (или большой её части) при помощи рампы и софитов. Такое освещение характеризуется мягкими (не резкими) тенями. В зависимости от расположения источников рассеянного освещения свет может быть как равномерным по всей площади сцены, так и иметь некоторый градиент яркости.

В противоположность диффузному лучевой свет и сноповый свет предназначены для освещения ограниченной области сцены. Причём, граница этой области чётко обозначена резким переходом - границей. Особенно чёткая граница у лучевого источника, который часто называют направленным. Тени, отбрасываемые объектами при таком освещении, имеют чёткие (резкие) границы, практически полностью отсутствуют полутени и рефлексии.

Использование в декорациях специальных материалов или окрасок с содержанием люминисцентных примесей позволяет использовать ультрафиолетовые источники света для достижения свечения объектов или их частей. Достигается такой эффект благодаря тому, что человеческое зрение не чувствительно к инфракрасной области электромагнитного спектра. Однако для его достижения сама сцена должна быть слабо освещена или вообще не освещена другими типами источников.

Динамический свет даёт движущееся свечение, с заданной траекторией свечения и скоростью. Большое разнообразие световых приборов со сканирующим зеркалом позволяет художникам по свету формировать динамические сцены. Такие приборы имеют подвижную часть в корпусе - зеркало, которое позволяет задавать необходимое направление освещения. Причём, траектория движения светового луча может быть как запрограммирована заранее, так и формироваться в реальном времени вручную или при помощи сигналов управления встроенным двигателям. В последние годы к световым управляемым динамическим приборам добавились интеллектуальные приборы. Также сюда относят и лазерные приборы, твердотельные лазерные проекторы «YAG», «DPSS». Стоит отметить, что для использования таких систем требуется достаточно мощное лазерное излучение. В случае небольших закрытых помещений для визуального восприятия будет достаточно источника излучения до 1 Вт, однако на практике чаще используются лазеры мощностью в диапазоне 3 - 10 Вт. А в случае открытых уличных пространств мощность может достигать 20 Вт и более.

Стоит также учитывать такой параметр человеческого зрения, как кривая видности глаза, которая характеризует наибольшую чувствительность к диапазону видимой части спектра в районе 555 нм, чему соответствует зелёный цвет. Поэтому луч красного цвета от источника в 3 Вт будет по яркости визуально соответствовать зелёному лучу, излучаемому источником с мощностью 1 Вт.

Симбиоз «классического» освещения сцены и использование средств визуализации позволяют расширить вариативность получаемых образов, а также усилить иммерсивность происходящего на сцене. Кроме того использование средств визуализации позволяют добавить в качестве инструмента выразительности генеративную графику. Генеративное искусство относится к любой художественной практике, где программист-художник со-

здает процесс, например, процедурное устройство, которое затем запускается в действие с определенным уровнем автономии, и в итоге создает произведение искусства.

Таким образом, можно сказать, что это искусство, созданное с помощью программного кода с одной отличительной чертой: оно в той или иной мере включает в себя саморегулируемую или автономную систему. Автономная система независимо определяет особенности произведения искусства.

В качестве средств визуализации могут использоваться видеопроекционные системы и видеопроекторы. Их делят на группы прямого, рир-проецирования, проецирования на сетчатую поверхность, проекцию на водяно-паровые (дымные) поверхности. Безусловным достоинством является высокое разрешение проектора и его способность проецировать изображение на любую поверхность (маппинг). Применение светосильных черных экранов, мощных ламп в проекторах позволяет повысить контрастность изображения, однако при дневном освещении проекционные системы использовать практически невозможно.

Другим способом попиксельного вывода видеoinформации является использование светодиодных адресных лент и панелей. Светодиодная RGB-лента без адресации (возможности доступа к каждому отдельному светодиоду) позволяет задавать цвет излучения, но это излучение будет одинаковым по всей длине ленты. Управление широкоимпульсной модуляцией (ШИМ) происходит в контроллере. Адресная же RGB-лента оснащена количеством ШИМ-контроллеров, соответствующем количеству светодиодов в ленте, что позволяет задавать параметр свечения (яркость каждого из компонент - красного, зелёного и синего) для каждого диода независимо.

Диодная лента состоит из последовательно расположенных микросхем и диодов, поэтому для управления каждым из них сигнал может поступать только через вход, а значит адресация должна быть закодирована при помощи импульсно-кодовой модуляции (ИКМ), где импульсы при помощи скважности, кодируют 1 или 0 для каждого бита информации. Такой сигнал может иметь частоту, равную 400 МГц или 800 МГц. Первая микросхема в цепочке обрабатывает 24 бита информации: каждые 8 бит осуществляют управление яркостью соответствующего канала (красного, зелёного и синего) и позволяют изменять её от 0 (отсутствие свечения) до 255 (максимальная яркость свечения). Оставшиеся поступившие импульсы проходят далее на выходную шину. Следующие импульсы, содержащие 24 бита информации, управляют второй ШИМ-микросхемой и т.д. Лента может содержать до 1024 ШИМ-микросхем. Частота обновления значений может достигать 30 Гц. В случае прихода импульса сбрасывания длиной 50 мс, происходит сбрасывание состояния ленты и обработка импульсов начинается опять с первой микросхемы в цепочке.

Сейчас популярны два вида ленты: на чипах WS2812b и WS2811. Чип WS2812 размещён внутри светодиода, таким образом один чип управляет цветом одного диода, а питание ленты – 5 Вольт. Чип WS2811 размещён отдельно, и от него питаются сразу 3 светодиода, таким образом можно управлять цветом сегментов по 3 диода в каждом. А вот питание у ленты на WS2811 составляет 12 вольт. Адресная лента WS2812B поделена на сегменты, в каждом из которых расположен светодиод и конденсатор (для повышения помехоустойчивости). Относительно напряжения питания все они между собой подключены параллельно, т.е. +5V будет присутствовать на каждом сегменте. Передача данных осуществляется последовательно: от предыдущего сегмента к последующему, поэтому при выходе из строя одного из светодиодов цепи – все последующие сегменты не функционируют. Каждый элемент WS2812B состоит из 3 светодиодов (синего, красного, зелёного), для управления его свечением требуется 3 байта. В свою очередь, каждый байт может принимать значение от 0 до 255, в результате чего можно задать более 16,5 млн оттенков. Размер скетча будет равен количеству светодиодных сегментов, умноженному на 3. Передача данных происходит следующим образом: ШИМ-драйвер WS2812B первого сегмента забирает из посылки первые 3 байта, пропуская остальные данные на выход DO. Далее следует пауза длиной до 50 мкс, означающая, что второй по счёту драйвер должен принять следующие 3 байта. И так далее. Длительность паузы больше 50 мкс означает конец передачи и повторение цикла.

Общепринято для вывода видеоданных использовать библиотеки FastLED и Adafruit NeoPixel, реализованных для Arduino-совместимых плат разработки [2]. Внутри каждой библиотеки есть готовые скетчи, на основе которых несложно самостоятельно создавать новые световые эффекты. Чтобы скетч заработал с первого раза, необходимо в заголовке указать количество светодиодов в ленте или панели (NUM_LEDS) и номер порта для передачи данных (PIN). Однако, использование Arduino для вывода генеративной графики, производимой персональным компьютером невозможна, т.к. связь организована посредством USB-интерфейса с эмуляцией UART. Что в итоге позволяет передавать информацию со скоростью не более 128 Кбит/с.

Адресные светодиоды обычно получают данные из потока данных с фиксированной частотой 800 кГц (за исключением пикселей Flora «V1», которые используют 400 кГц). Таким образом, для каждого бита данных требуется $1/800\,000$ с — 1,25 микросекунды. На один пиксель требуется 24 бита (по 8 бит на красный, зелёный и синий) — 30 микросекунд. После выдачи данных последнего пикселя поток должен остановиться как минимум на 50 микросекунд, чтобы новые цвета «зафиксировались». Для полосы в 100 пикселей это $(100 * 30) + 50$ или 3050 микросекунд. $1\,000\,000 / 3\,050 = 328$ обновлений в секунду.

Для управления световыми лентами и панелями выбраны платы ESP32 и Teensy 3.4. Первая позволяет получать данные через канал Wi-Fi по UDP протоколу, а вторая имеет полноскоростной USB интерфейс ввода-вывода, позволяющий передавать видеoinформацию в реальном времени. Автором статьи проведена работа по формированию выходного сигнала на устройство ESP32 из программы для создания генеративной Touchdesigner.

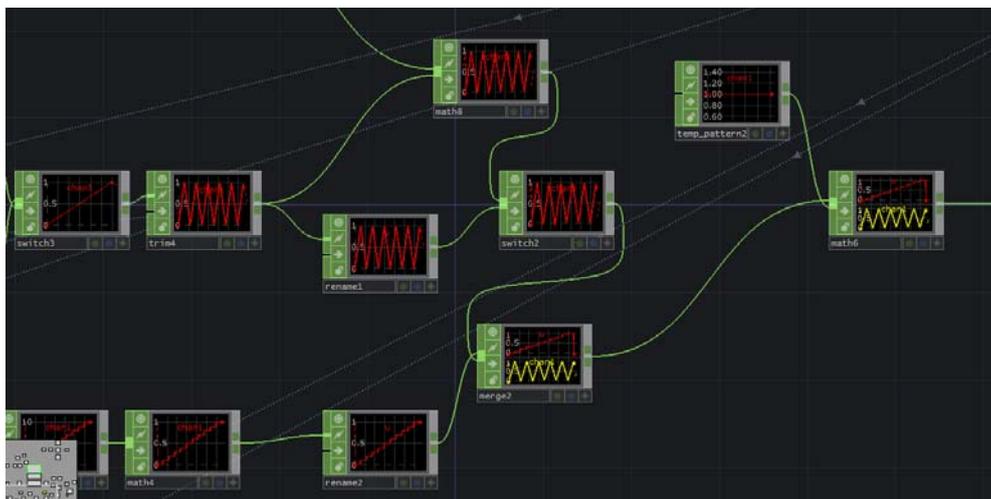


Рисунок. Нодовая реализация развёртки в Touchdesigner

Для этого в программы реализованы ноды формирования развёртки изображения и патч (рис.), формирующий и отправляющий пакеты по UDP протоколу. Конечное устройство ESP32 использует библиотеку NeoPixels для назначения каждому диоду соответствующего состояния.

Предложенная концепция показала устойчивые результаты визуального воспроизведения генеративной графики как на светодиодных лентах, так и совокупности панелей. Следующим шагом в исследовании данной методики вывода является пространственное расположение и ориентирование панелей для вписывания их в общее сценическое пространство при помощи средств моделирования.

Список используемых источников

1. Санникова Л. И. Художественный образ в сценографии : учебное пособие. 3-е изд. Санкт-Петербург : Планета музыки, 2017. 144 с.
2. AdaFruit NeoPixel Library. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_NeoPixel (дата обращения: 17.12.2013).

Статья представлена заведующим кафедрой ТвМ СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Фёдоровым.

УДК 004.946
ГРНТИ 28.17.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ UNREAL ENGINE ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д. А. Татаренков

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

В последние годы технологии смешанной и виртуальной реальности приобрели большую популярность. Количество выпускаемых устройств постоянно растет. Улучшаются основные параметры головных устройств: разрешение, скорость обновления дисплея, угол обзора, производительность видеопроцессоров. В настоящее время особенно остро встает вопрос о наличии большого количества ресурсов, пригодного для использования в промышленности. Особое место здесь занимает формирование атмосферы и встраивание эмоций в ощущения, в том числе аватары, в метавселенные. Статья посвящена методике создания лабораторного комплекса работ для магистрантов, развитию навыков 3D-моделирования объектов, случайных особенностей и переноса их в виртуальные пространства.

виртуальная реальность, 3D-моделирование, смешанная реальность.

За последние несколько десятилетий виртуальная реальность (VR) широко использовалась во многих различных областях, включая развлечения, образование и обучение, производство, медицину и реабилитацию. Ожидается, что образование и обучение станут одним из ведущих секторов в ближайшие 5 лет. Технология VR должна не только предоставлять иммерсивную стереоскопическую визуальную и аудиальную среду, но и позволять пользователю возможность взаимодействия с объектами и самой средой с помощью тактильной обратной связи. Независимо от того, какое применение виртуальной реальности реализовано, эффект визуализации и компьютерная графика имеют решающее значение для повышения вовлеченности участников и, таким образом, повышения эффективности обучения и тренировки [1]. Тем не менее, повышение визуального реализма в виртуальной реальности – непростая задача, это связано не только с наличием таланта художника у инженера-проектировщика, но и с недостаточной с высокими вычислительными требованиями к оборудованию для обеспечения взаимодействия в реальном времени в виртуальной реальности.

Методы 3D-моделирования и компьютерной графики разрабатывались в течение нескольких десятилетий. Методы 3D-моделирования и компью-

терной графики получают взрывной рост и приобретают решающее значение в последние годы, они применяются не только в разработке виртуальных моделей для компьютерного моделирования, виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR), смешанной реальности (MR) и т. д., но также могут применяться во многих различных приложениях, таких как искусственный интеллект. (ИИ), аналитика больших данных и др. [2].

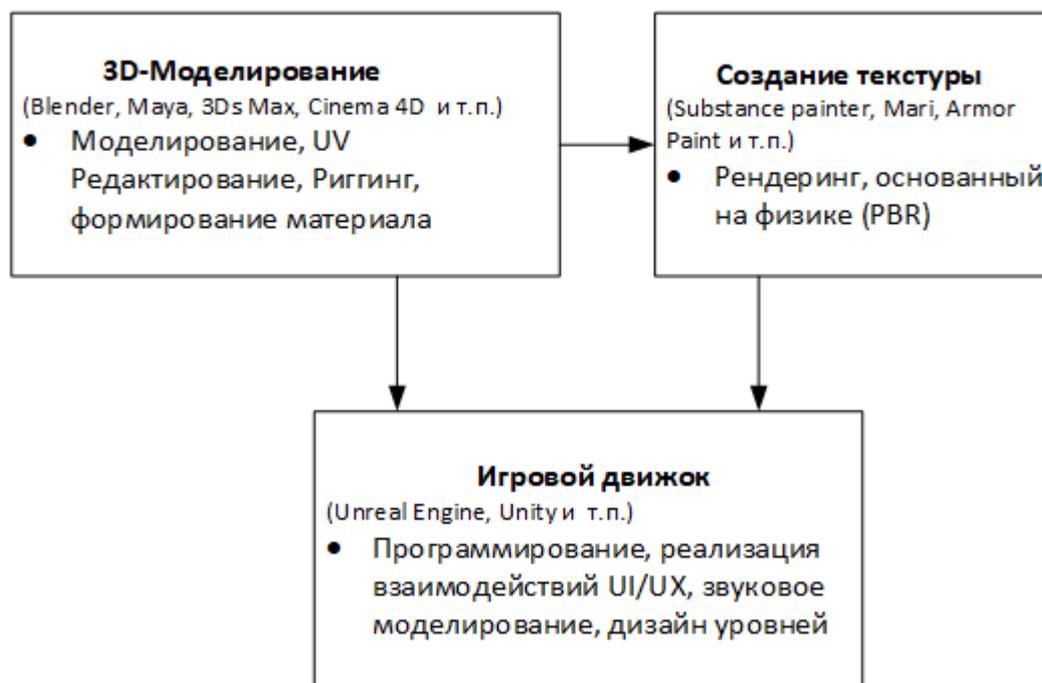


Рис. 1. Схема разработки VR приложения

Разработка моделей VR делится на несколько ключевых процедур. Модели VR используются для создания виртуальных сцен, используемых в программе VR. На рис. 1 представлена блок-схема разработки программы VR. В целом процесс разработки состоит из трех основных этапов, включая моделирование, рисование текстур и программирование виртуальной реальности. Виртуальные модели сначала моделируются с использованием инструментов 3D-моделирования для создания 3D-геометрии объекта. После завершения процесса 3D-моделирования модели визуализируются с использованием методов компьютерной графики, включая рисование материалов, наложение текстуры и т.д. Этот процесс можно выполнить непосредственно в программном обеспечении для 3D-моделирования. Затем 3D-модели, включая соответствующие графические карты UV-текстур, необходимо импортировать в игровой движок для разработки компьютерной программы виртуальной реальности. В качестве альтернативы процессы рисования текстуры и рендеринга могут выполняться отдельным профессиональным про-

граммным обеспечением. 3D-модели и файлы текстур можно экспортировать в файлы различных форматов в зависимости от совместимости программного обеспечения. Некоторыми из наиболее часто используемых форматов файлов 3D-моделей являются FBX, OBJ, STL и т. д. FBX (Filmbox) — это проприетарный формат файлов (.fbx), разработанный Autodesk и используемый для обеспечения взаимодействия между приложениями для создания цифрового контента. FBX обычно используется в составе игровых продуктов и рекомендуется при разработке программы виртуальной реальности [3].

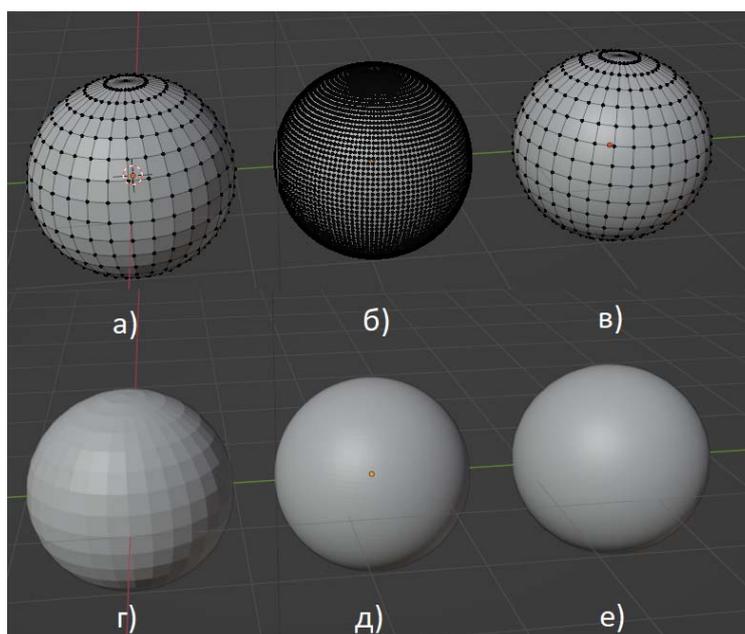


Рис. 2. Методы сглаживания формы: а) меш без сглаживания, б) меш с применением модификатора уплотнения рёбер, в) меш с применением шейдера сглаживания, г) объект без сглаживания, д) объект с применением модификатора уплотнения рёбер, е) объект с применением шейдера сглаживания

В настоящее время существует ряд инструментов 3D-моделирования, таких как ZBrush, Blender, SketchUp, AutoCAD, SolidWorks, 3Ds Max, Maya, Rhino3D, CATIA и т. д. Большинство широко используемых инструментов моделирования являются профессиональными и используются для промышленного применения. Эти инструменты используются не только в автоматизированном проектировании (САПР), но также предоставляют некоторые расширенные функции, такие как автоматизированное проектирование (computer-aided engineering, CAE) для выполнения анализа[4], дополнительного производства (additional manufacturing, AM) и 3D-печати [5].

Помимо 3D-моделирования, важным шагом для улучшения визуальных эффектов и повышения реалистичности виртуальных сред является рисование текстур. Большая часть программного обеспечения для 3D-моделирования, такого как Blender, 3Ds Max, ZBrush, предоставляет функции

рисования текстур и конвейеры (шейдеры) для 3D-рендеринга, которых достаточно для большей части производства виртуальной реальности. Альтернативное профессиональное программное обеспечение для рисования 3D-текстур, например, Substance Painter, Mari, Armor Paint, Quixel Mixer и т.п. могут иметь большой набор инструментов, и некоторые из них даже используются в производстве фильмов. Однако для работы с программным обеспечением может потребоваться больше профессиональных навыков и опыта.

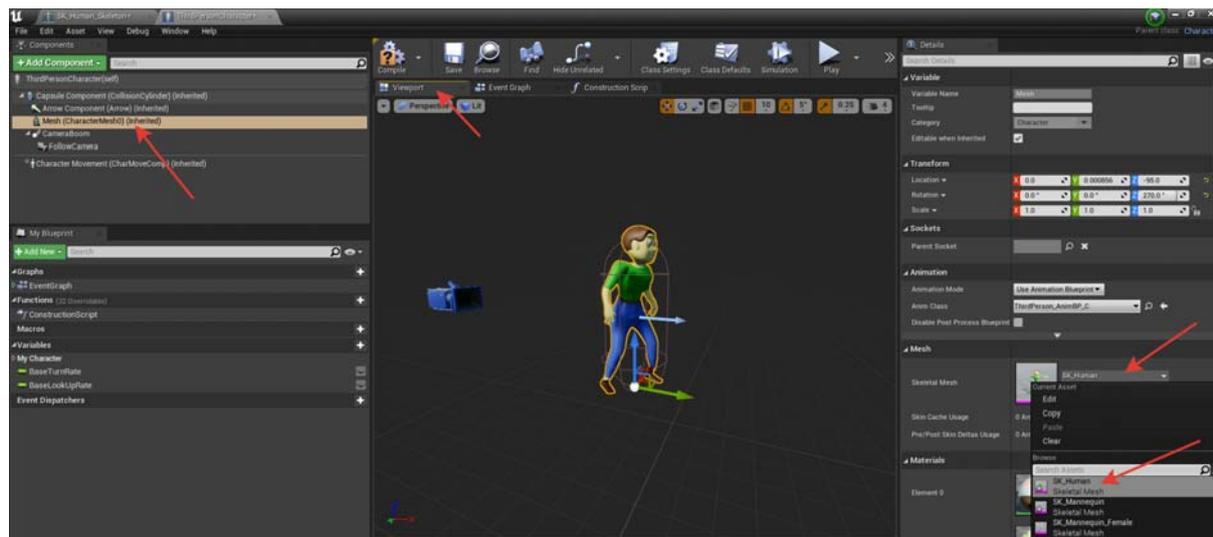


Рис. 3. Привязка 3D-модели из Blender к персонажу в среде Unreal Engine

Одним из подходов к созданию 3D-моделей в виртуальной реальности для взаимодействия в реальном времени является оптимизация для снижения сложности за счет минимизации размера сетки моделей. Однако существенным недостатком этого подхода является то, что может быть нарушен визуальный реализм моделей.

Есть несколько фундаментальных методов, которые необходимо понимать, чтобы создавать хорошие модели. Шейдинг – один из ключевых приемов 3D-моделирования. Как видно на рисунке 2, большинство моделей представлены полигонами, а действительно искривленные объекты часто аппроксимируются полигональными сетками [6]. При рендеринге моделей эти многоугольники выглядят как набор маленьких плоских граней (рис. 2а). Чтобы создать желаемый эффект, для сглаживания модели можно применить традиционное разделение краев и поверхность подразделения (рис. 2б). Однако это увеличит количество граней и вершин моделей, поэтому его сложность нежелательна в приложениях виртуальной реальности. Самый простой способ создать визуально сглаженную модель – применить шейдер автоматического сглаживания, чтобы быстро и легко изменить способ сглаживания. Такой способ не изменяет геометрию модели, он просто

меняет способ шейдинга путем расчета по поверхностям, создавая иллюзию гладкой поверхности (рис. 2е).

В лабораторном комплексе реализована подготовка помещения для виртуальной реальности, подготовка персонажа с применением риггинга (привязкой к скелету) и экспортирование моделей из Blender в среду Unreal Engine 4 (рис. 3), где при помощи построения логических связей реализуется взаимодействие с объектами сцены.

Список используемых источников

1. Ragan E. D., Bowman D. A., Kopper R., Stinson C., Scerbo S., McMahan R.P. Effects of Field of View and Visual Complexity on Virtual Reality Training Effectiveness for a Visual Scanning Task//IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2015. Vol. 21, No. 7. pp. 794–807.
2. Tang Y., Au K., Leung Y. Comprehending products with mixed reality: Geometric relationships and creativity//International Journal of Engineering Business Management, 2018, Vol. 10. Comprehending products with mixed reality. P. 184797901880959.
3. Wolfartsberger J., Zenisek J., Sievi C., Silmbroth M. A virtual reality supported 3D environment for engineering design review // 2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM) 2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM). Dublin: IEEE, 2017. pp. 1–8.
4. Tang Y. M., Zhou A. F., Hui K. C. Comparison of FEM and BEM for interactive object simulation // Computer-Aided Design. 2006. Vol. 38. No. 8. pp. 874–886.
5. Stadler S., Hirz M. A knowledge-based framework for integration of computer aided styling and computer aided engineering // Computer-Aided Design and Applications. 2016. Vol. 13. No. 4. pp. 558–569.
6. Structure – Blender Manual. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/3.1/modeling/meshes/structure.html> (дата обращения: 01.04.2022).

*Статья представлена заведующий кафедрой ТВиМ СПбГУТ,
кандидатом технических наук, доцентом С. Л. Фёдоровым.*

УДК 62.5
ГРНТИ 49.45.01

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ HDR В ТЕЛЕВИЗИОННОМ ВЕЩАНИИ

О. В. Украинский

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

Качество изображения в телевидении постоянно повышается при увеличении четкости, при использовании техники 3D и, в основном, при улучшении передачи яркости и цвета, что удается реализовать с помощью технологии HDR. Разработки ведущих производителей в этой области – Apple, Samsung и других – оказались достаточно разнообразными и привели к необходимости появления соответствующих стандартов. В докладе приводится краткая аннотация разработок ведущих фирм и новых стандартов, определяющих тенденции развития современного рынка телевизионной техники.

динамический диапазон, гамма-характеристика, яркость, битовая глубина.

Качество изображения в телевизионном (ТВ) вещании постоянно улучшается благодаря развитию технологии и росту потребностей общества. Согласно этой тенденции, расширение динамического диапазона ТВ изображения (HDR – High Dynamic Range) повышает его реалистичность, удовольствие от просмотра, а также вполне обоснованно считается очередным шагом в развитии техники ТВ вещания [1].

В работе приводится краткий анализ развития техники передачи таких изображений в вещательном телевидении, приводятся сведения об особенностях ТВ приемников для воспроизведения изображений формата HDR, а также о новых стандартах передачи таких изображений и требованиях к качеству воспроизведения на экранах бытовых телевизоров.

Необходимым условием развития и применения техники HDR является улучшение качественных показателей устройств воспроизведения.

Технология HDR не имеет единого стандарта, но многими специалистами рассматривается как одна из составляющих общей тенденции развития систем ультравысокой четкости (UHDTV), к которой относятся повышение яркости и размеров экрана, расширение динамического диапазона изображения и расширение цветовой гаммы. Среди методов ТВ передачи изображений HDR можно выделить три направления, которые называют форматами представления данных при ТВ передаче изображений HDR. Это Adobe Vision, HDR10 и HDR10+. При различии их возможностей и характеристик общим назначением является воспроизведение изображения с наиболее широкой гаммой полутонов [2–7]. Впервые технология HDR

была продемонстрирована на выставке бытовой электроники в 2014 году, последующие разработки были связаны, в основном, с развитием технологии дисплеев, т.к. воспроизводящее устройство является ключевым элементом для передачи изображений HDR.

Возможности передать изображение с широким динамическим диапазоном и способы построения ТВ системы для такой передачи достаточно подробно описаны в литературе [2–4], отдельно и весьма остро стоит вопрос о разработке дисплеев для техники HDR [8, 9], однако проникновение технологии HDR в область бытовой электроники ощущается обществом достаточно остро и вызывает дискуссии. Для воспроизведения фильмов и другой видеопродукции в домашних условиях популярны новые модели плееров, также поддерживающие технологии UHD и HDR. Такие изделия обозначаются логотипом «4K Ultra HD» и по данным сайта [10] имеют постоянно увеличивающийся ассортимент (рис. 1).

Плеер UHD Blu-Ray с HDR
Все современные плееры UHD Blu-Ray поддерживают HDR10, однако лишь два из них «справляются» с Dolby Vision

	Приблизительная цена, рублей	4K UHD Blu-Ray	HDR10	Dolby Vision (в разрезе ботке)
LG UP970	21 000	●	●	●
Оppo UDP-203	70 000	●	●	●
Panasonic DMP-UB704EGK	24 000	●	●	○
Samsung UBD-K8500	18 000	●	●	○
Sony UBP-X800	29 000	●	●	○

● Да ○ Нет

Рис. 1. Бытовые источники ТВ контента с возможностью поддержки форматов изображения HDR. Стоимость указана приблизительно поданным на 2018 год

В качестве HDR-варианта в 4K Blu-Ray плеерах в настоящее время применяется исключительно технология HDR10. На январской выставке бытовой электроники CES 2017 кинокомпании Warner, Lionsgate и Universal анонсировали появление бытовой аппаратуры с применением технологии HDR.

Сравнение форматов HDR по их характеристикам достаточно полно представлено на сайте канадской лаборатории, специализирующейся на независимом тестировании бытовой электроники [9]. Основные характеристики показаны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение характеристик форматов HDR

Характеристика изображения	HDR10	HDR10	Dolby Vision
Битовая глубина	10	10	12
Максимальная яркость	1000 – 4000	1000 – 4000	4000 – 10000
Передача цвета	1,07 миллиарда цветов	1,07 миллиарда цветов	68,7 миллиардов цветов
Метаданные	статические	динамические	динамические
Поддержка формата (совместимость)	есть	есть	ограничения
Доступность контента	есть	ограничения	ограничения
Доступность стандарта и возможность применения	Свободно для применения	ограничения	собственность компании Dolby Vision

Большая часть контента, ориентированного на технологию Dolby Vision, в настоящее время воспроизводится с яркостью экрана 4 000 кд/м². Контент HDR10 и HDR10+ может воспроизводиться с яркостью от 1 000 до 4 000 кд/м² в зависимости от применяемого дисплея.

Все три стандарта обеспечивают заявленное качество изображения при яркости экрана до 10 000 кд/м², хотя в настоящее время ни один дисплей не может достичь этого уровня. Таким образом, между форматами практически нет реальной разницы, поскольку, как правило, они применяются с дисплеями, яркость которых не выше 4 000 кд/м².

Метаданные, указанные в таблице 1, представляют собой дополнительную информацию об изображении, которая одновременно передается для определения режима работы приемника. Метаданные можно рассматривать как своего рода инструкцию, описывающую различные особенности контента для определения режима работы дисплея. Согласно правилам работы приемника стандарта HDR10, он получает только статические метаданные. При использовании статических метаданных границы яркости задаются один раз для всей ТВ передачи или всего фильма и определяются путем фиксации диапазона яркости для самой яркой сцены. Форматы Dolby Vision и HDR10+ улучшают эту работу с метаданными за счет использования так называемых динамических метаданных, которые позволяют сообщить телевизору, как следует применять тональное отображение для каждой сцены или даже для каждого кадра [9].

Важной характеристикой различных форматов HDR является также возможность поддержки ими стриминговых сервисов и различных

устройств (табл. 2). По данным лаборатории тестирования [9], результаты проверки показывают явное преимущество формата HDR10:

ТАБЛИЦА 2.

Название сервиса	HDR10	HDR10+	Dolby Vision
UHD Blu-Ray	+	+	+
Netflix	+	-	+
Amazon Video	+	+	+
Vudu	+	-	+
NVIDIA Shield	+	-	+
Fire TV Stick 4k	+	+	+
Apple TV 4k	+	-	+
Chromecast Ultra	+	-	+
NVIDIA GTX 900 Series and up	+	-	+
AMD Radeon RX and up	+	-	-
iPhone 8	+	-	+
iPhone X	+	-	+
iPhone XS	+	-	+
LG G6	+	-	+
Galaxy S10	+	+	-
Huawei P20	+	-	-

Хотя все еще ограничено, но большинство смартфонов теперь поддерживают технологию HDR (табл. 2). Большинство телефонов Samsung поддерживают HDR10+, включая новые модели S10, S10e и S10+. Смартфоны Apple iPhone поддерживает Dolby Vision, начиная с iPhone 8. Однако только iPhone X, XS и XS Max имеют экраны, способные воспроизвести контент HDR.

Мониторы в незначительном составе моделей поддерживают технологию HDR. Однако ситуация начинает меняться и появляются мониторы с поддержкой стандарта HDR10. Группа VESA инициирует появление новых стандартов HDR для мониторов, которые обычно не могут обеспечить уровни яркости, необходимые для отличного качества HDR. По состоянию на 2020 г. ни один монитор не поддерживал HDR10+ или Dolby Vision, хотя уже было выпущено несколько ноутбуков с поддержкой Dolby Vision [9].

Можно сделать вывод о том, что процесс внедрения технологии HDR в ТВ вещание развивается по мере роста технических и экономических условий. По состоянию развития каждой из рассмотренных технологий HDR можно примерно проследить их достоинства, недостатки и перспективы развития.

Список используемых источников

1. Pointon Ch., Digital Video and HD Algorithms and Interfaces. Sec.ed., 2012, p707
2. Григорьев М., Очарование 4K HDR // Телеспутник. 2017. № 11. С. 64.
3. Быструшкин К. Второе дыхание DVB // Телеспутник. 2017. № 11. С. 56.
4. Красносельский И. Н., Шавдия Ю. Д., Будущее цифрового телевизионного вещания: 4K, 8K, HEVC, HDR, далее везде // Электросвязь. 2020. № 1. С. 58.
5. Barsotti J., Schulte T., HDR Demystified. V.1.0. SpectraCal, 2016, March, p. 22.
6. Recommendation ITU-R BT.2100-2 (07/2018) Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange.
7. ST 2084: 2014 - Стандарт SMPTE - Электрооптическая передаточная функция с расширенным динамическим диапазоном для освоения эталонных дисплеев.
8. Сайт ассоциации производителей дисплеев. URL: <https://tftcentral.co.uk>
<https://www.rtings.com/tv/learn/hdr10-vs-dolby-vision>
9. Сайт канадской лаборатории тестирования. URL: <https://www.rtings.com/tv/learn/hdr10-vs-dolby-vision>
10. Сайт «iCHIP.ru» – интернет-ресурс, посвященный современным гаджетам, компьютерной и бытовой технике. URL: <https://ichip.ru/tekhnologii/4k-televizor-bez-hdr-est-li-smysl-114342>

УДК 629.058
ГРНТИ 47.49.31

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ GNSS

И. Г. Ушкова, Г. А. Фокин

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

Вопросы позиционирования устройств в современных и перспективных сетях подвижной радиосвязи неотъемлемо связаны с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS – Global Navigation Satellite System) в условиях наличия прямой видимости. Точность позиционирования устройств в системах ГНСС помимо прочих условий, определяется, в первую очередь, корреляционными свойствами используемых сигналов. Потенциальная в благоприятных условиях функционирования может достигать единиц сантиметров. В настоящей работе рассматривается процедура определения спутников в условиях прямой видимости с наземным приемным устройством GNSS, а также и предварительная оценка корреляционных свойств используемого сигнала.

GNSS, доплеровская частота, фаза кода, корреляционная функция, кросс-корреляционная функция, шум.

Вопросам позиционирования устройств с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS – Global Navigation

Satellite System) посвящено достаточное количество фундаментальных отечественных [1] и зарубежных [2] работ. Совместное использование ГНСС с радиотехническими системами наземного сетевого позиционирования [3–5] в перспективе позволит добиться к сантиметровой точности [4, 5] в различных сценариях [6–8] функционирования устройств в составе сетей пятого и последующих поколений [9, 10]. Анализ эволюции технологий сетевого позиционирования [13–19] показал, что точность позиционирования устройств помимо прочих условий, определяется, в первую очередь, корреляционными свойствами используемых сигналов.

Целью настоящей работы является анализ корреляционных свойств сигналов, используемых в системах GPS (Global Positioning System) с использованием материалов [2].

Принимаемый наземным устройством сигнал GNSS с учетом задержки распространения τ_p можно представить выражением

$$r_{RF}(t) = \sqrt{2P_R}c_b(t - \tau_p)d(t - \tau_p)\cos(2\pi f_{RF}t - 2\pi \frac{D}{\lambda_{RF}} + \varphi_{RF}) \quad (1)$$

где $c_b = c(t)s_b(t)$ – сигнал который включает в себя как псевдослучайный (PRN – Pseudorandom Noise) код $c(t)$ и поднесущую $s_b(t)$, P_R – принятая мощность, f_{RF} – радиочастотная несущая, D – расстояние между антеннами спутника и пользователем терминала, от которого зависит задержка.

Из-за относительного движения между спутником и пользовательским терминалом расстояние и, следовательно, задержка распространения изменяются со временем. Также вследствие этого появляется эффект Доплера, поэтому принятую несущую частоту можно записать как

$$f_{RF,d} = f_{RF} + f_d \quad (2)$$

где $f_d = \frac{1}{\lambda_{RF}} \frac{d}{dt} D$ – доплеровское смещение частоты. Тогда принятый сигнал в (1) с учетом (2) можно представить выражением

$$r_{RF}(t) = \sqrt{2P_R}c_b(t - \tau_p)d(t - \tau_p)\cos(2\pi(f_{RF} + f_d)t + \varphi_{RF}) \quad (3)$$

Радиоприемник ГНСС обычно состоит из двух основных частей, соединенных аналого-цифровым преобразователем (АЦП), как показывает рис. 1.

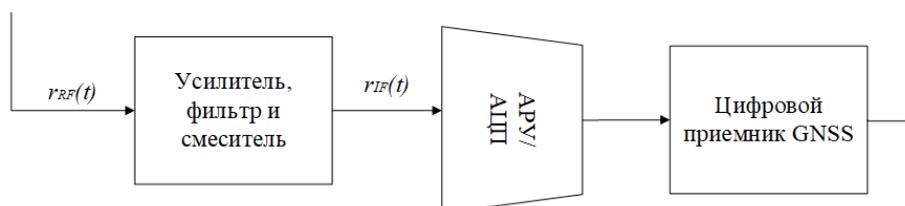


Рис. 1. Структурная схема приемника ГНСС

Основной задачей первого блока является преобразование сигнала, принимаемого антенной, из радиочастотного диапазона (Radio Frequency – RF), в диапазон промежуточных частот (ПЧ, Intermedia Frequency – IF). Второй блок генерирует последовательность выборок с интервалом

$$T_s = 1/f_s, \quad (4)$$

где f_s – частота дискретизации. Третий блок извлекает данные, несущие информацию о положении, скорости и времени (PVT – Position, Velocity and Time) из принятого сигнала. Первым шагом обработке является получение сигнала: обнаруживаются спутники, находящиеся в поле зрения приемника, затем выполняется первая приближительная оценка доплеровского сдвига и фазы кода. Определение фазы доплеровской частоты и фазы кода соответствует максимизации корреляции между входным сигналом и локальным кодом [2]. Рассмотрим код длиной 20 чип.

$$c_{loc}(t) = \sum_{i=0}^{19} \alpha_i r(t - iT_c), \quad (5)$$

где $\alpha_i = \{1 - 1 1 - 1 - 1 - 1 - 1 1 - 1 1 - 1 - 1 - 1 1 - 1 - 1 1 1 - 1\}$; $r(t)$ – унитарная амплитудная прямоугольная функция; T_c – ширина чипа, обратная частоте кода $R_c = 0,5$ МГц. Выражение (5) описывает собой локальный код, используемый терминалом при получении сигнала $c_{in}(t)$.

Одно из свойств функции автокорреляции последовательностей PRN состоит в наличии максимума, когда два кода идеально выравнены. В нашем случае максимум ожидается, когда $c_{loc}(t)$ точно выровнен с одним периодом $c_{in}(t)$. После выборки PRN с требуемой частотой дискретизации можно оценить корреляционную функцию по формуле:

$$R(l) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N c_{loc}(n)c_{in}(l+n), \quad (6)$$

где $l = 0, \dots, N-1$, $c_{in}(t)$ – входящий сигнал. На рис. 2 представлен пример вычисления автокорреляции для кода в выражении (5), а на рис. 3 – пример корреляции принятого сигнала $c_{in}(t)$ с локальной копией $c_{loc}(t)$.

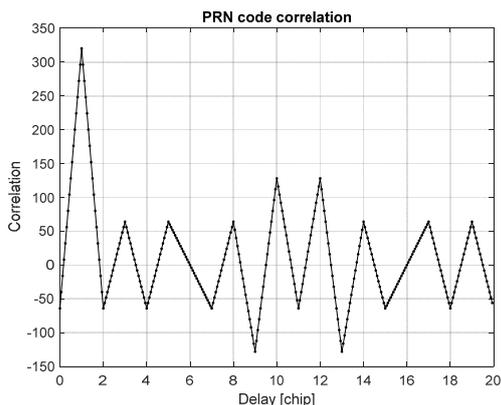


Рис. 2. Функция корреляции кода PRN

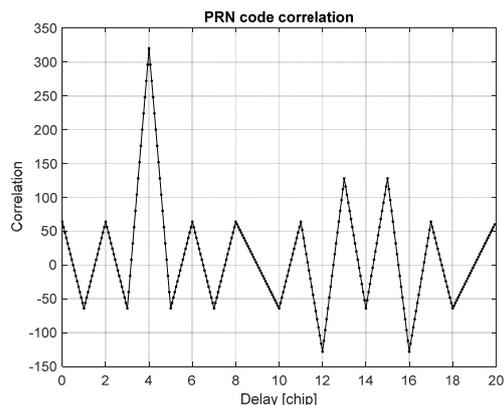


Рис. 3. Функция корреляции локального и входящего кодов

Теперь рассмотрим влияние аддитивного белого гауссовского шума (AWGN) на корреляционные функции. Рис. 4 и 5 иллюстрируют функцию корреляции при условии добавления шума с нормированным среднеквадратическим отклонением (СКО), равным 2,5 и 12 соответственно.

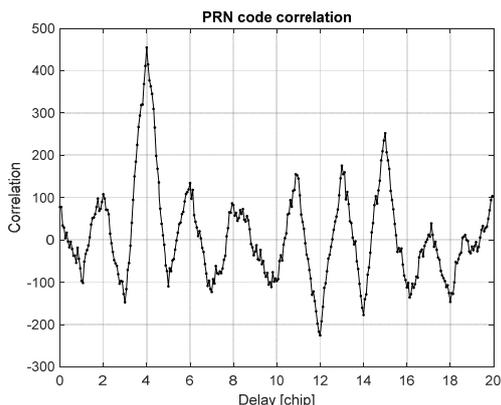


Рис. 4. Функция корреляции кода при нормированном СКО шума 2,5

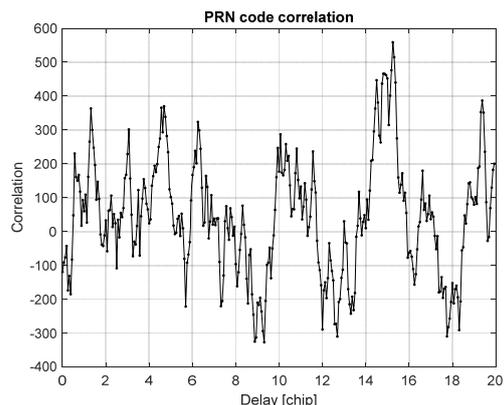


Рис. 5. Функция корреляции кода при нормированном СКО шума 12

Как видно из рис. 4, реальный фазовый сдвиг кода составляет 4 чипа при СКО шума 2,5; максимум можно обнаружить, но с погрешностью по расчетному коду – фазовому сдвигу, равному 1 интервалу выборки. А при СКО 12 (рис. 5) корреляционный пик приводит в ошибочной оценке.

Так как максимизация корреляции не является достаточной, применяется функция неопределенности по времени и частоте (CAF – Cross Ambiguity Function). CAF – функция двух переменных, т. е. сдвига фазы кода и несущей частоты. Максимум CAF обнаруживается, когда локальный код выровнен с входящим. Также для каждой пары значений вычисляется новая корреляция, таким образом, алгоритм обрабатывает новую реализацию шума каждый раз, когда ему приходится вычислять новую производную, что приводит, в среднем, к снижению вклада шума. Как показано на

рис. 6, в случае кросс-корреляции максимум соответствует 4 чипам, но все-таки стоит брать в учет погрешность, равную одной выборке, так как полностью извлечь шумы на данный момент не представляется возможным.

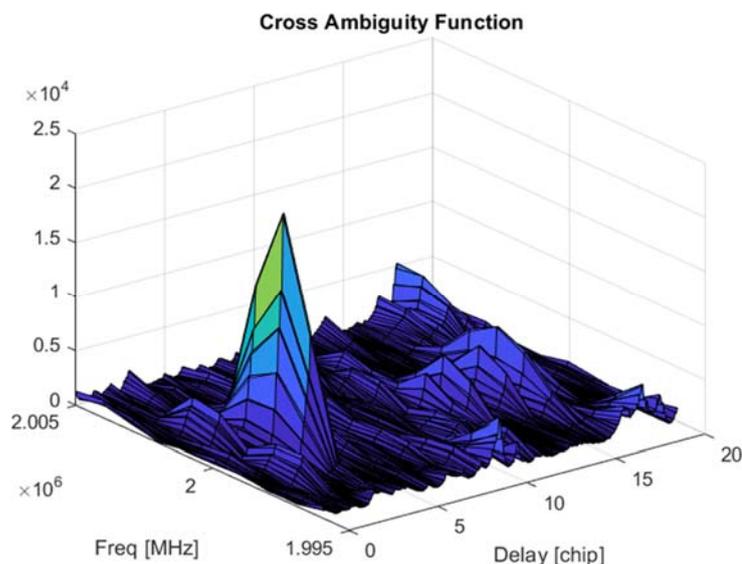


Рис. 6. САФ выровненных локального и входящего кодов

Список используемых источников

1. Шебшаевич В. С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. Под ред. В. С. Шебшаевича. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Радио и связь, 1993. 408 с.
2. Andrews A. P., Bartone C. G., Grewal M. S. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration, 4th Edition. John Wiley & Sons, 2020. 608 p.
3. Zekavat R., Buehrer R.M. Handbook of position location: Theory, practice and advances. John Wiley & Sons, 2019. 1376 p.
4. Campos R. S., Lovisolo L. RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools. Artech House, 2015. 369 p.
5. Sand S., Dammann A., Mensing C. Positioning in Wireless Communications Systems. Wiley, 2014. 276 p.
6. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования. Санкт-Петербург, СПбГУТ, 2020. 558 с.
7. Фокин Г. А. Технологии сетевого позиционирования 5G. М. : Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
8. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 2. С. 3–9.
9. Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2020. № 3. С. 13–21.
10. Лазарев В. О., Фокин Г. А. Сценарии позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G // 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. 268–273.

11. Фокин Г. А., Кучерявый А. Е. Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
12. Фокин Г. А. Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
13. Фокин Г. А. Эволюция технологий позиционирования в сетях подвижной радиосвязи. Точность // 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. 376–382.
14. 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.
15. Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 1 // Первая миля. 2020. № 2 (87). С. 32–39.
16. Фокин Г. Эволюция технологий позиционирования в сетях 2G-4G. Часть 2 // Первая миля. 2020. № 3 (88). С. 30–35.
17. Фокин Г. Эволюция сетевой архитектуры позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Первая миля. 2020. № 5 (90). С. 24–29.
18. Фокин Г. А. Эволюция радиointерфейсов позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 2. С. 77–91.
19. Фокин Г. А. Эволюция процедур позиционирования в сетях подвижной радиосвязи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 76–89.

СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 621.39
ГРНТИ 49.01.75

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

В. В. Анисимов¹, О. М. Лепешкин², М. А. Остроумов¹, О. А. Остроумов¹

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Одним из основных требований, предъявляемых к сложным системам, таким как системы связи и системы управления, является устойчивость. Устойчивость функционирования систем достигается обеспечением требуемой живучести и надежности, однако при выполнении этих требований система может не выполнять своих функций. Для обеспечения выполнения каждой функции решаются задачи в системе с использованием имеющегося ресурса. В работе предлагается подход обеспечения выполнения целевого предназначения системы и ее функциональной устойчивости за счет маневра не только ресурсами, но и задачами, и функциями системы. При этом, в первую очередь, необходимо обеспечивать функционирование критически важных объектов и объектов критической информационно-инфраструктуры.

критическая информационная инфраструктура, критически важный объект, безопасность информации, система связи, система управления.

Достижения современной науки, техники, промышленности в области связи привели к возможности получения любым человеком доступа к информации и знаниям в любой момент. Традиционно системы связи являются элементами любой системы управления и представляют собой, как и системы управления, сложные функционально-динамические образования, имеющие в своем составе большое количество элементов. Они также могут быть сложными объектами. Развитие и совершенствование средств управления открывает новые возможности перед потребителями, эксплуа-

тирующими эти средства, возможности их растут с каждым годом. Первоначально телефон использовался только для ведения переговоров, потом появилась возможность передачи изображений. Сейчас телефон является устройством, имеющим много функций, помимо ведения переговоров и передачи изображений. Можно сказать, что называть телефоном его неправильно, это уже давно многофункциональное устройство коммуникаций. Появление новых функций с одной стороны существенно упрощает жизнь, представляет новые возможности, увеличивает мобильность человека, скорость обмена данными, но с другой стороны становится нашим уязвимым местом. Что произойдет при отсутствии возможности воспользоваться новыми функциями, какие убытки понесет человек, организация, государство. Нарушение выполнения функционирования систем, объектов может привести к тяжелым последствиям, и чем больше систем и объектов зависят от их правильного функционирования, в том числе чем больше их возможности, тем хуже могут быть эти последствия. Объекты приобретают критически важное значение.

Современные государства существенно зависят от информации, объектов и технологий обеспечивающих доступ к информации и обмен ее. Увеличение значения влияния на нашу жизнь информации, доступ к ней больших масс населения, доступ к ЭВМ, а также деятельность различных организаций в информационном пространстве способствовали проработки государствами вопросов обеспечения безопасности и устойчивости функционирования объектов информационной инфраструктуры. Появились понятия критически важный объект и критическая информационная инфраструктура [1, 2].

Критически важный объект – это объект, нарушение или прекращение функционирования, которого приведет к потере управления экономикой Российской Федерации, субъекта Российской Федерации или административно-территориальной единицы субъекта Российской Федерации, ее необратимому негативному изменению (разрушению) либо существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения.

Критически важный объект инфраструктуры Российской Федерации – объект, нарушение (или прекращение) функционирования которого приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны, субъекта Российской Федерации либо административно-территориальной единицы или существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный срок.

Критическая информационная инфраструктура Российской Федерации – совокупность автоматизированных систем управления КВО и обеспечивающих их взаимодействие информационно-телекоммуникационных сетей, предназначенных для решения задач государственного управления,

обеспечения обороноспособности, безопасности и правопорядка, нарушение (или прекращение) функционирования которых может стать причиной наступления тяжких последствий.

Критичность определяется через последствия нарушения или прекращения функционирования объекта, при воздействии природных и техногенных факторов, на экономику РФ и ее население.

Федеральным законом 187 от 2017 года вводится понятие КИИ и ее объектов. К объектам КИИ отнесены автоматизированные системы управления, информационные системы и информационно-телекоммуникационные сети и система связи, обеспечивающая их взаимодействие.

Вопросом обеспечения устойчивого и безопасного функционирования объектов КИИ уделяется много внимания [3, 4, 5, 6]. Обеспечение устойчивого функционирования государства и его систем подразумевает устойчивое функционирование критически важных объектов. В соответствии с ГОСТ 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования, под устойчивостью функционирования системы связи понимается выполнение ее своих функций в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Система считается устойчивой, если выполняются для нее требования по надежности и живучести. При этом количественно и качественно оценка функций системы не производится. Вероятностная оценка устойчивости функционирования систем на сегодняшний день не приемлема. Динамика изменения состояний системы и неопределенность воздействия различных факторов обуславливает необходимость рассмотрения систем в режиме реального времени.

На основе искусственного интеллекта и анализа состояний предыдущих состояний системы возможно прогнозирование изменения текущего состояния системы, их величину. необходимо разработка подхода, позволяющего в кратчайшие сроки осуществлять максимально быстро восстановление функционирования системы. В теории функциональной устойчивости сложных систем основным способом обеспечения устойчивого функционирования системы является маневр ее ресурсами [7, 8].

Для обеспечения эффективного управления ресурсами системы система управления должна в любой момент времени знать точное состояние своих элементов, а также свою обеспеченность ресурсом. Кроме маневра ресурсом. При рассмотрении сложных функционально-динамических систем возможно использование маневра задачами и функциями системы. Возникновение новых задач и функций, обусловленное изменением обстановки функционирования системы и воздействием на нее различных дестабилизирующих факторов, создает условия для необходимости выполнения новых задач и функций без обеспечения их необходимым ресурсом. При осуществлении маневра ресурсами, задачами и функциями системы должно

обеспечиваться выполнение целевого предназначения системы при условии выполнения требований, предъявляемых к ней [9, 10].

Список используемых источников

1. Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 N 127 «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».
3. Климов С. М., Поликарпов С. В., Рыжов Б. С., Тихонов Р. И., Шпырня И. В. Методика обеспечения устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры в условиях информационных воздействий // Вопросы кибербезопасности. 2019. № 6. С. 37–48.
4. Груздев Д. А., Закалкин П. В., Кузнецов С. И., Тесля С. П. Мониторинг информационно-телекоммуникационных сетей // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 4. С. 46–50.
5. Шостак Р. К., Лепешкин О. М., Новиков П. А., Худайназаров Ю. К. Концептуальное описание модели системы сетевого мониторинга систем связи специального назначения, реализованной в среде радикалов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119-120). С. 66–73.
6. Лепешкин О. М., Харечкин П. В. Анализ моделей разграничения доступа, реализованных в современных социотехнических системах // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. № 2. С. 91–93.
7. Петренко С.А. Концепция поддержания работоспособности киберсистем в условиях информационно-технических воздействий // Труды ИСА РАН, Т.41. 2009. С. 175–193.
8. Дурняк Б. В., Машков О. А., Усаченко Л. М., Сабат В. И. Методология обеспечения функциональной устойчивости иерархических организационных систем управления // Сборник научных статей: Институт проблем моделирования в энергетике, НАН Украины, В. 48, 2008. С. 3–21.
9. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Синюк А. Д. Систематизация основ методологии синтеза критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Военная мысль. 2021. № 8. С. 109–114.
10. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Савищенко Н. В. Выполнение регламента процесса управления – критерий определения критичности системы // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции. Анапа, 2021. С. 625–634.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.25.33.31**ПОЛЕВЫЕ СРЕДСТВА РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ****М. В. Башкинцева¹, О. Л. Мальцева¹, П. П. Карпенко²**¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича²Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Ключевым звеном многочисленных систем связи различного назначения являются средства радиорелейной связи. Заметное развитие этих средств и систем происходило на протяжении последних шестидесяти лет. Спустя такой промежуток времени совместными усилиями отечественных и зарубежных специалистов было разработано и произведено огромное количество образцов радиорелейных станций военного, специального и коммерческого назначения. Весь представленный материал отражает хронологический анализ характеристик отечественных станций радиорелейной связи специального назначения. Так же представлен краткий обзор исторических этапов создания и развития отечественных радиорелейных станций для сетей связи специального (военного) назначения.

радиорелейная связь, радиорелейные станции, проводная связь, радиосвязь, радиорелейные линии.

Радиорелейные линии (РРЛ) являются одним из основных наземных средств передачи сигналов телефонной связи, программ звукового и телевизионного вещания (ТВ), цифровых данных и других сообщений на большие расстояния. Ширина полосы частот сигналов многоканальной телефонии и ТВ составляет несколько десятков мегагерц, поэтому для их передачи практически могут быть использованы диапазоны только дециметровых и сантиметровых волн, общая ширина спектра которых составляет 30 ГГц [1].

Радиорелейная связь как самостоятельный род военной связи возникла в дополнение к проводной и радиосвязи из необходимости существенно увеличить число каналов радио, что можно было осуществить за счет использования более емких диапазонов радиоволн (метровых, дециметровых, миллиметровых). А это, в свою очередь, потребовало (по условиям распространения радиоволн) для обеспечения необходимой дальности связи устанавливать промежуточные, ретрансляционные станции.

Так, в армии США уже перед началом, а затем и в ходе Второй мировой войны было создано несколько типов мобильных радиорелейных (РР) станций ANTRC-1, а затем ANTRC-5, 6, 8. В Германии также были разработаны

«Михаэль» (ДМГ-5А и ДМГ-7А), а в ходе войны еще «Рудольф» и «Штутгарт».

Сразу после окончания Великой Отечественной войны в СССР начались работы в области радиорелейной связи.

Первоначально была организована опытная эксплуатация радиорелейной линии на базе трофейных станций «Михаэль».

Эта станция метрового диапазона была создана в Германии еще до войны в качестве одноканальной и обеспечивала на одном интервале связь на 40–50 км (до 150 км при 3–4 ретрансляциях). После модернизации уже в ходе войны она стала двухканальной и успешно применялась немцами на фронте.

Опыт экспериментальных исследований радиорелейной линии «Михаэль» показал перспективность этого рода связи.

В начале 1946 года руководство войск связи поставило перед НИИ задачу обосновать роль и место радиорелейной связи в общей системе управления войсками и определить основные требования к аппаратуре военного назначения такой связи.

Ориентировка на временное разделение каналов вместо частотного (как это применялось в проводной связи и, в основном, за рубежом) была вызвана необходимостью выделения части каналов на любой промежуточной станции без доведения остальных каналов до тональной частоты.

Временное разделение каналов (ВРК, TDM (*Time Division Multiplexing*)) – метод разделения каналов на одной несущей частоте, при котором требуется, чтобы сигналы от разных источников информации передавались в строго определённые перекрывающиеся моменты времени. Адресным признаком абонента является номер закреплённого за ним временного интервала [4].

В 1946 году решением Правительства НИИ совместно с промышленностью было поручено провести разработку аванпроекта подвижной многоканальной радиорелейной станции.

По результатам рассмотрения вариантов аванпроекта в 1947 году было принято решение о разработке единого технического проекта «Диск – Рубин».

Головной организацией по созданию радиорелейной станции был определен НИИ – 20 промышленности (в последующем НИИ-244, НИИ-129 и МНИРТИ). Главным конструктором разработки был назначен Ф. П. Липсман (впоследствии главный инженер МНИРТИ), заместителем главного конструктора – В. Н. Сосунов. Проектирование приемопередающих устройств, фидерных трактов и мачт поручалось институту, а импульсной и низкочастотной аппаратуры, а также антенн параболического типа – промышленности.

К концу 1947 года были уже разработаны и частично испытаны вариант антенно-фидерного тракта, 20-метровая антенная опора оригинальной конструкции с лифтовым подъемником (в обиходе она получила название «УНЖА»), приемное устройство с автопоиском и автоподстройкой, а также передатчик с использованием СВЧ триодов металло-керамического типа. Пришлось решать целый ряд совершенно новых проблем и задач, таких как освоение дециметровых волн, временное разделение импульсных каналов, методы фазово-импульсной модуляции.

В результате были разработаны конструктивные макеты приемопередающих устройств и антенно-фидерного тракта (в НИИ-20 – соответственно импульсных и НЧ устройств), проведены испытания макетов и выполнена вся конструкторская документация, по которой на опытном заводе НИИ-20 были созданы три опытные образца шестиканальной радиорелейной станции, которая именовалась РРЛ-6.

Станция была размещена на 3-х автомобилях (аппаратная с двумя полуккомплектами аппаратуры, силовая и антенная с мачтой, фидерами и антеннами параболического типа). Заранее были сформированы команды станций, обученные сотрудниками института, и сформирован батальон связи, который базировался в Муроме, а затем в Орехово-Зуеве.

После проведения многочисленных натуральных и полевых испытаний (в основном на трассе Мытищи – деревня Рязанцы, 50 км), были проведены государственные испытания, совмещенные с учениями войск (район Винница, Умань). Встал вопрос о запуске станции в серию. В связи с тем, что завод НИИ-20 был маломощным, руководство войск связи с руководством промышленности приняли решение серийный выпуск проводить на мощном заводе «Электроаппарат» в Ростове-на-Дону.

При корректировке документации применительно к технологии завода по предложению института были произведены некоторые доработки, улучшающие характеристики станции. С целью облегчения при выборе трасс высота мачт была увеличена до 30 метров без изменения конструкции. В целях уменьшения парусности четыре параболические антенны были заменены на две за счет развязки передачи и приема по поляризации.

К концу 1949 года завод выпустил 6 комплектов опытной серии станции РРЛ-6.

Руководством войск связи было принято решение в 1950 году провести всестороннюю проверку нового средства в самых различных условиях на специальных войсковых испытаниях в Крыму, где можно было образовать самые разные трассы горного, равнинного, приморского характера. Руководителем испытаний был назначен начальник кафедры связи Академии им. М. И. Фрунзе генерал-майор войск связи Н. М. Курочкин. Техническое руководство осуществлял начальник отдела института В. Е. Клиnger.

На каждой станции, кроме штатного персонала, были закреплены ответственные научные сотрудники института. Станции размещались в самых разных условиях (горы, равнина, берег моря), образуя протяженную радиолинию в пять интервалов.

Следует отметить наиболее запомнившийся эпизод. Это связь между станцией, установленной на самой высокой точке Крыма горе Авинда, и станцией, развернутой на корабле Черноморского флота, который уходил вглубь моря. Дело в том, что устойчивая связь на этом участке (а, следовательно, и на всей РР линии) осуществлялось на расстоянии до 260 км (по ТЗ интервал 50 км). С корабля через всю цепочку станций, через главную станцию, установленную около узла связи округа (Симферополь), затем через проключенный канал госсети состоялся разговор с НВС маршалом И. Т. Пересыпкиным, а затем с министром связи СССР Н. Д. Псурцевым, которые высоко оценили качество связи и возможности сопряжения нового рода военной связи с госсетью [2].

Испытания в Крыму прошли весьма успешно. Станция РРЛ-6 в 1950 году была принята на вооружение под шифром Р-400 и начала поступать в войска, а разработка была удостоена Государственной премии.

При внедрении станции в войска очень важным вопросом оказалось время развертывания. По техническому заданию время развертывания было определено 2,5 часа. Реально, как правило, оно было меньше, но это время существенно зависело от правильности выбора трасс, обеспечивающих прямую видимость между антеннами соседних станций. Для облегчения этой задачи были разработаны для войск связи специальные бланки с параболическими сетками для построения с помощью карт профилей радиорелейных трасс.

Войска получили возможность с помощью радиорелейных станций обеспечивать многоканальную связь на значительные расстояния. При этом оказалось, что на строительство и эксплуатацию радиорелейных линий требуется значительно меньше личного состава и материальных средств, чем для постоянных воздушных или кабельных линий связи такой же протяженности.

Надёжность радиорелейной связи достигается использованием нескольких стволов связи, применением систем резервирования, когда из общего числа используемых стволов связи выделяются резервные, автоматически включающиеся в работу в случае выхода из строя одного из основных стволов. Переключение осуществляется по сигналу, передаваемому по каналам телеуправления – телесигнализации, либо в групповом спектре или в спектре промежуточных частот. Система резервирования охватывает не только радиотехническое оборудование, но и устройства энергоснабжения [3].

И все же ряд руководителей-связистов стали высказывать мнение, что привычный способ дальней связи на шестовых проводных линиях с аппаратурой В-3 или П-310 более удобен и требует меньше времени. В этих условиях маршал И. Т. Пересыпкин приказал провести сравнительные испытания. Соревнование проводилось на трассе Киев – Умань между отдельным линейно-строительным батальоном и радиорелейной ротой в составе шести станций Р-400. Радиопроводная линия была построена на несколько часов быстрее проводной. Этот результат был доведен до войск связи и способствовал более широкому использованию Р-400 в войсках, и не только в Сухопутных, но и в других видах Вооруженных Сил.

В первые годы эксплуатации Р-400 было обнаружено, что заданная в ТЗ протяженность линии 500 км (10 станций в линии) значительно превышалась при достаточно высоком качестве связи. С другой стороны, и сама жизнь диктовала повышение протяженности линий. В 1952 году проводилось учение силами войск Московского, Ленинградского и Белорусского округов. На этих учениях в качестве наблюдателей участвовали представители Военной академии связи полковники А. И. Белов и Н. Г. Коржик. Учения подтвердили реальную возможность строительства Р-400 протяженностью 1000 км, и во всех последующих документах (инструкциях по эксплуатации, ТЗ на модернизацию и созданию станций этого класса) была заложена протяженность 1000 км.

Учения дали очень большой материал, связанный с управлением дальними РР линиями (создание ротных и батальонных участков управления, введение в штат станций УКВ радиостанций), а также целый ряд предложений по совершенствованию самих станций, из которых следует отметить следующие:

- замена ненадежных силовых агрегатов (одного из основных причин в перерывах связи) на более устойчивый двигатель от «Москвича-401»;
- уменьшение вдвое числа антенных фидеров за счет создания дополнительных устройств развязки между передающим и приемным трактами, так называемыми дуплексерами;
- введение в состав резервных фидеров однопроводной линии передачи ОЛП.

В ходе учений возникли еще два принципиальных предложения. В связи с тем, что на многих промежуточных станциях нет необходимости ответвлять каналы, было предложено, кроме обычных станций Р-400, разработать и выпускать укороченный вариант станций, осуществляющий сквозную ретрансляцию сигнала. Здесь же возникла идея увеличить число каналов РР станции с 6 до 12 за счет реализации ряда технических решений, возникших у представителей института и разработчиков от промышленности.

После испытания на длинной линии в 1954 году станция Р-400 подверглась еще одной серьезной проверке на прочность, на учениях войск в Южно-Уральском военном округе с применением реального атомного оружия. Станции были развернуты вокруг ожидаемого центра взрыва кольцевой линией с 18 интервалами и линией к руководству и аэродрому. Были приняты некоторые предупредительные меры: открыты окна и двери, мачты развешивались на различные высоты, часть машин была заглублена. В результате испытаний было выявлено, что во время взрыва связь практически не нарушалась, были только кратковременный щелчок в ТЧ каналах и сбой в телеграфных каналах. Вся же аппаратура осталась целой, были разбиты лишь несколько окон. Руководитель учений Маршал Советского Союза Г. К. Жуков дал высокую оценку прочности аппаратуры и качеству радиорелейной связи.

Опыт эксплуатации Р-400 и Р-402 и исследования, проведенные на учениях, все более подтверждали возможность дальнейшего совершенствования этих станций.

Модернизации коснулись следующие элементы и характеристики станций Р-400:

- увеличение числа каналов с 6 до 12;
- расширение диапазона радиочастот с 1550–1850 до 1550–2000 МГц и более чем вдвое увеличение фиксированных частот связи;
- улучшение качества ТЧ каналов (расширение полосы частот с 300–2700 Гц до 300–3400 Гц);
- введение в качестве резервного фидера ОЛП, уменьшение количества фидеров за счет создания дуплексера;
- фиксирование протяженности радиолинии 1000 км.

В связи с усилением роли РР связи, а также появлением средств передачи данных, стали возрастать и требования к РР линиям. Возникла задача увеличения числа каналов, создания не только ТЧ каналов, но и широкополосных. В результате были найдены технические решения (на основе принципов, заложенных в Р-400 и Р-400М) по увеличению числа каналов ТЧ до 24 и созданию за счет 3-х каналов ТЧ широкополосного канала 12 кГц. К этому времени была разработана новая оригинальная опора «Сосна» телескопического типа, отличающаяся высокой маневренностью, тоже высотой 30 м, рекомендованная для радиорелейной и тропосферной связи.

После успешных испытаний станция была принята на вооружение в 1961 году под шифром Р-404, пошла в серию на том же Ростовском заводе «Электроаппарат» и выпускалась более чем 20 лет.

Станция Р-404, благодаря своим высоким ТТХ, стала основным средством радиорелейной связи в оперативном звене управления Сухопутных войск и нашла широкое применение в армиях стран-участников Варшав-

ского договора, а также в народном хозяйстве (например, на нефте- и газопроводах). На одном из учений войск («Размах-65») на станциях Р-404 была развернута и хорошо работала линия Москва – Киев – Львов – Вюнсдорф (Германия) протяженностью 3000 км.

Эксплуатация различных РР станций в системе связи все настойчивее ставила задачу сопряжения РРЛ с кабельными магистралями, оборудованными многоканальными системами с частотным разделением каналов (до 60 ТЧ каналов), причем сопряжения не только и не столько по низкой частоте, сколько по групповому спектру. Поэтому в станции Р-414, помимо 24-х каналов ИФМ и цифрового канала 480 кбит/с, было предусмотрено сопряжение (или внешнее уплотнение) с системами типа «Азур» («Топаз»).

В ходе серийного производства станции была произведена основательная ее модернизация: более широкое внедрение полупроводников, повышение чувствительности, а также обеспечение цифровой передачи не только 480 кбит/с, но также и 2048 кбит/с (Р-414М). Повышение скорости передачи связано с появлением в войсках новой цифровой аппаратуры первичного уплотнения «Импульс» (шифр П-331, П-331М), в которой для образования цифровых каналов 16, 32, 48 кбит/с использовалась адаптивная дельта-модуляция.

В результате в войска стали поступать станции с новой аппаратурой уплотнения и расширенным кроссово-коммутационным полем (повысилась помехозащищенность, улучшились условия эксплуатации, появилась возможность использовать станцию в качестве кросса на армейских узлах связи).

До сих пор речь шла о многоканальных радиорелейных станциях, предназначенных для оперативных и стратегических звеньев управления (в первые годы их создания они носили название «тяжелые» РРС). Наряду с многоканальными станциями были созданы малоканальные станции (раньше – «легкие» РРС) для оперативно-тактических звеньев управления.

После проведения различных, в том числе и государственных, испытаний в 1954 году первая отечественная малоканальная радиорелейная станция была принята на вооружение под шифром Р-401, запущена в производство и эксплуатацию в оперативно-тактическом звене.

Созданный парк малоканальных станций пользовался в войсках большой популярностью, однако чувствовался недостаток числа волн. И тогда была поставлена работа в промышленности по созданию РР станции, где в дополнение к имеющемуся диапазону (60–70 МГц) создан еще один блок дециметрового диапазона (390–420 МГц), увеличив при этом число фиксированных частот почти вдвое. Станция была принята на вооружение в 1959 году под шифром Р-405 и выпускалась до 1984 года.

В этой РР станции уже были применены полупроводниковые приборы и печатный монтаж. Станция нашла широкое применение как в наших Вооруженных Силах, так и в армиях стран-участниц Варшавского договора. При этом аппаратура станции устанавливалась в различных командно-штабных машинах, на судах, поездах, а также использовалась в стационарных условиях. Впоследствии станция была модернизирована и принята на вооружение в 1968 году под шифром Р-405М.

Малоканальные радиорелейные станции широко применялись и в народном хозяйстве. Семейство первого поколения малоканальных станций в 1961 году было дополнено малогабаритной одноканальной станцией

Р-407. Связь устанавливалась без поиска и перестройки на интервалах до 20–25 км. С ее помощью возможна организация радиорелейной линии до 60 км (с 1–2 переприемными пунктами).

В 1967 году под шифром Р-409 была принята на вооружение. При разработке станции большое внимание было уделено вопросам передачи цифровой информации. При этом значительную роль сыграли теоретические и экспериментальные исследования помехозащищенности каналов. В последующем станция Р-409 прошла несколько этапов модернизации – Р-409М1, Р-409М2, Р-409МА, Р-409МБ (на бронебазе). Станции класса Р-409 сыграли решающую роль в организации радиорелейных линий в оперативно-тактическом звене управления, ответвления каналов от многоканальных радиорелейных, тропосферных и кабельных линий, а также для передачи сигналов автоматизированных систем управления.

Широкое распространение радиорелейных станций Р-409 и ее модификаций частично решило проблему чрезмерной загрузки диапазона, но не сняло этот вопрос с повестки дня. Продолжали возрастать требования по объему передаваемой информации, в том числе и цифровой, более простого взаимодействия различных родов связи (в частности, радиорелейной и проводной). Встала задача создания многонаправленных РР станций, а также внедрения РР связи в тактическое звено. Все это свидетельствовало о необходимости создания 4-го поколения средств РР связи.

В результате многолетних усилий войска связи получили радиорелейные средства, позволяющие устанавливать непосредственную связь между пунктами управления, строить линии большой протяженности и создавать разветвленные многоканальные сети в любых условиях боевых действий.

Использование радиорелейных средств в оперативном и тактическом звеньях управления значительно повысило устойчивость связи в целом.

Список используемых источников

1. Величко В. В., Катунин Г. П., Шувалов В. П. Основы инфокоммуникационных технологий : учебное пособие для вузов / под ред. профессора В. П. Шувалова. М. : Горячая линия – Телеком, 2009. 712 с.: ил.

2. Мизеров В. В., Миронов А. Г., Шестак К. В. Создание и развитие отечественных средств многоканальной радиосвязи специального назначения : научно-исторический труд. Орел : Виктори Медиа, 2015. – 640 с. : цв. ил.

3. Долматов А. В., Ломакин П. И., Мальцев А. Д., Чепраков Е. П. Направления совершенствования средств спутниковой, радиорелейной и тропосферной связи Министерства связи Российской Федерации. СПб. : ВАС, 1994. 152 с.

4. Средства и комплексы радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи : методические рекомендации курсантам по изучению учебной дисциплины / Под ред. О. В. Латышева; Новочеркасское высшее военное командное училище связи. Новочеркасск, 2010. 101 с.

УДК 621.396.4

ГРНТИ 50.37.03

ЗАДАЧИ И СПЕЦИФИКА ЭТАПОВ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А. С. Башкирцев, Е. С. Крюкова, Н. В. Михайличенко, И. Б. Парашук

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

Рассмотрены особенности этапов создания методики анализа качества центров обработки данных и электронных библиотек в условиях неопределенности, сформулированы элементы структуры и содержание таких исследований с учетом различных показателей качества, многообразия типов и аспектов неопределенности, влияющей на процедуры анализа и оперативного управления структурой, параметрами и режимами работы систем такого класса. Приведен вариант формулировки прямых и обратных задач анализа качества центров обработки данных и электронных библиотек.

анализ качества, методика, центр обработки данных, электронная библиотека, неопределенность, показатель качества, модель, требования.

Предметом пристального профессионального внимания создателей современных и перспективных информационно-поисковых и информационно-справочных систем, например, таких как электронные библиотеки (ЭБ), а также систем, средств и комплексов обработки и хранения больших объемов информации, таких как центры обработки данных (ЦОД), являются алгоритмы оптимального управления этими сложными организационными и техническими объектами [1, 2]. Сложность таких алгоритмов

обуславливается, наряду с прочим, наличием одной из характерных черт организационной системы – присутствием в контуре управления ЦОД или ЭБ лица, принимающего решения (ЛПР). Это понятие традиционно определяет должностное лицо или группу лиц, обязанных проводить постоянный анализ состояния ЦОД и ЭБ, своевременно вырабатывать управленческие решения и, главное, нести личную ответственность за качество функционирования систем такого класса.

Поэтому, на наш взгляд, очевидна объективная необходимость детального исследования и совершенствования ключевого этапа оперативного управления ЦОД и ЭБ – этапа анализа качества их функционирования. Характерной чертой этого этапа является высокий уровень неопределенности информации, недостаток конкретных исходных данных и слабые возможности должностных лиц по их оперативной обработке, что вынуждает ЛПР оценивать качество функционирования ЦОД и ЭБ на основе упрощенных представлений о реальной ситуации. При этом практическая реализуемость процедуры анализа качества ЦОД и ЭБ связана с рядом обстоятельств [3]: наличием внутри объекта групп лиц, имеющих свои цели, не всегда совпадающие с целью, поставленной перед ЦОД и ЭБ; многообразием связей объекта анализа со сложной средой, что требует оценки качества функционирования ЦОД и ЭБ, как многоцелевых систем; наличием неопределенностей и условий риска, обусловленных как внешней средой функционирования ЦОД и ЭБ, так и внутрисистемными факторами.

Все эти обстоятельства требуют при формулировке моделей процесса функционирования ЦОД и ЭБ и синтезе алгоритмов оценивания их качества использовать математические методы поддержки принятия решений в условиях неопределенности [3]. В этой связи проблема разработки методики анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности приобретает особую актуальность, а специфика данной проблемы характеризуется множеством и разнообразием особенностей этапов ее решения, а также содержанием этих этапов. В частности, начальный этап создания методики анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности, должен быть, безусловно, посвящен анализу условий функционирования ЦОД и ЭБ.

Он должен включать анализ самих объектов исследования – ЦОД и ЭБ, с точки зрения истории их появления, терминов и определений, описывающих эти объекты, целей, задач, специфических функций, свойств, преимуществ и существующих проблем их функционирования и совершенствования с учетом различного рода неопределенности, возникающей при анализе и оперативном управлении структурой, параметрами и режимами работы систем такого класса. Важным элементом начального этапа является анализ существующих подходов к оценке качества сложных автоматизированных

информационных систем в условиях неопределенности, а также анализ существующих математических моделей для аналитического описания процессов смены состояний показателей качества таких систем в динамике [4].

Закономерным итогом начального этапа создания методики анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности, является формальная математическая формулировка научной задачи многокритериального анализа качества таких систем, определение целей и критериев их достижения. При этом специфичным является именно учет различных типов и аспектов неопределенности, влияющей на процедуры анализа и оперативного управления структурой, параметрами и режимами работы ЦОД и ЭБ.

Очередной этап создания методики анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности, на наш взгляд, должен быть связан с обоснованием метода оценивания показателей качества этих объектов. При этом важное место отводится выбору и обоснованию объема и номенклатуры системы показателей качества ЦОД и ЭБ [5]. Сформулированные показатели качества, в свою очередь, являются необходимым элементом для разработки математической модели процесса функционирования ЦОД и ЭБ, причем отдельно в модели учитываются аспекты неопределенности и математические методы (методы теории нечетких множеств, нейронные и нейронечеткие сети, методы теории интервальных средних, гранулярные вычисления и др.), позволяющие учесть и нейтрализовать эту неопределенность в интересах достоверного анализа и адекватного оперативного управления структурой, параметрами и режимами работы дата-центров и цифровых библиотек.

Следующим этапом может и должен быть этап разработки частных алгоритмов и программных средств (комплекса программ) анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности.

Завершает процесс создания методики анализа качества в условиях неопределенности проверка конструктивности разработанного методологического инструмента – анализа вероятностно-временных характеристик ЦОД и ЭБ и выработка предложений по их совершенствованию. Здесь должны быть приведены основные результаты вероятностно-временного анализа показателей качества функционирования ЦОД и ЭБ, должны быть сформулированы направления дальнейших исследований, т. е. пути повышения достоверности анализа качества таких систем при их проектировании, построении и функционировании, а также предложения по технической реализации алгоритмов анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности в рамках систем поддержки принятия решений по управлению ими.

Прямые и обратные задачи анализа качества центров обработки данных и электронных библиотек в условиях неопределенности иллюстрирует рис.

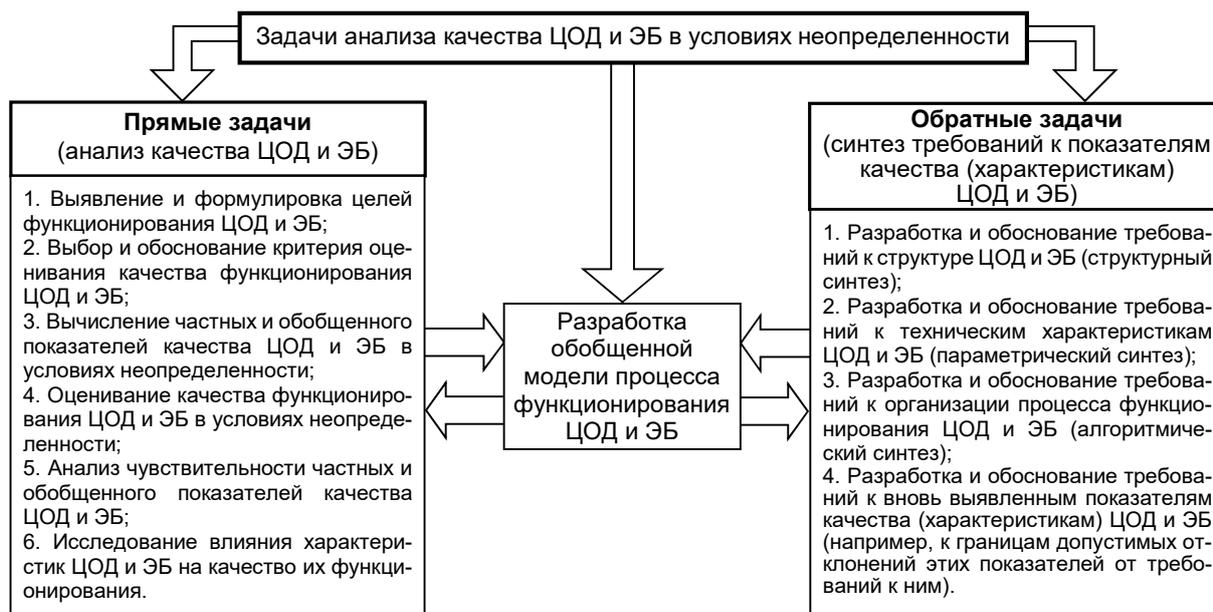


Рисунок. Вариант формулировки прямых и обратных задач анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности

Результаты решения этих задач позволяют:

1. Принимать решения относительно допустимости практического использования анализируемых ЦОД и ЭБ в условиях неопределенных характеристик внешних и внутренних угроз и иных внешних воздействий.

2. Выявлять вклад различных факторов (качества процессов функционирования элементов ЦОД и ЭБ, качества самих элементов ЦОД и ЭБ, отклонений показателей качества ЦОД и ЭБ от требований и др.) в общее качество ЦОД и ЭБ.

3. Находить пути повышения качества процесса функционирования ЦОД и ЭБ.

4. Выявлять функциональные возможности средств ЦОД и ЭБ и возможности по управлению этими системами.

5. Сравнивать альтернативные варианты построения и функционирования ЦОД и ЭБ, ранжировать их по уровням качества и давать обоснованные рекомендации по их применению.

Таким образом, рассмотрены особенности этапов решения проблемы разработки методики анализа качества ЦОД и ЭБ в условиях неопределенности, сформулированы элементы структуры и очередность стадий таких исследований с учетом различных показателей качества, многообразия типов и аспектов неопределенности, влияющей на процедуры анализа и оперативного управления структурой, параметрами и режимами работы систем такого класса. Приведен пример (вариант) формулировки прямых и обратных задач анализа качества центров обработки данных и электронных библиотек.

Список используемых источников

1. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 58811 – 2020. Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Стадии создания. М. : Стандартинформ, 2020. 17 с.
2. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 7.0.96 – 2016. Электронные библиотеки. Основные виды. Структура. Технология формирования. М. : Стандартинформ, 2016. 13 с.
3. Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности : правила и предубеждения. Харьков : Издательство Института прикладной психологии «Гуманитарный Центр», 2005. 632 с.
4. Паращук И. Б., Михайличенко Н. В. Особенности применения нейро-нечетких моделей для систем поддержки принятия решений в задачах оценки эффективности функционирования специализированных дата-центров // Информация и космос. 2019. № 1. С. 84–88.
5. Паращук И. Б., Михайличенко Н. В., Шестаков Е. О. Показатели качества функционирования современных центров обработки данных // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: материалы V межрегиональной научно-практической конференции. Севастополь, 24–28 сентября 2019 г., Севастопольский государственный университет, науч. ред. Б. В. Соколов. Севастополь: СевГУ, 2019. С. 37–38.

УДК 004.431, 004.056.55
ГРНТИ 50.05.09, 50.41.15

ФОРМИРОВАНИЕ КРИПТОТУННЕЛЕЙ IPSEC В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ASTRA LINUX

Д. Л. Беляев, И. И. Дадаев

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

В статье предложен алгоритм настройки протоколов IPSec при помощи разработки и использования bash-скрипта, позволяющего сгенерировать ключи и создать политики IPSec стандартными средствами операционной системы Astra Linux. В статье учтены особенности терминальных команд Linux, применяемых для автоматизации процедур управления ключами и создания политик IPSec.

операционная система Astra Linux, компьютерная сеть, криптотуннель IPSec, генерация случайных чисел.

Использование компьютерных систем с учётом требований по безопасности информации приводит к необходимости разработки систем, обеспечивающих защиту передаваемой информации, сведений об информационной системе и её элементах. Защита информации в компьютерных сетях

может быть реализована на основе протоколов IPSec, поддержка которого присутствует в современных коммуникационных средствах и операционных системах. В связи с тенденцией отказа от иностранных операционных систем (*Windows*) и перехода к отечественным (*Astra Linux* и др.) в ведомственных и государственных информационных системах важное значение приобретают вопросы администрирования компонент защиты в них.

В большинстве *Linux*-систем для настройки IPSec применяются специализированные пакеты, такие как LibreSWAN, StrongSWAN или Raccoon. Однако в дистрибутивах Astra Linux CE, доступных для скачивания с официального сервера производителя, отсутствуют пакеты, предназначенные для конфигурирования IPSec, что значительно затрудняет создание защищённых туннелей.

Возможными способами решения данной проблемы являются:

Загрузка и установка пакетов из репозитория debian.

Настройка IPSec без использования непроверенных пакетов, скачиваемых из сомнительных источников.

Более предпочтительным и более безопасным способом настройки является использование встроенных возможностей, поэтому в данной работе рассматривается именно этот способ. Конфиденциальный информационный обмен между ПЭВМ, функционирующими на основе операционной системы Astra Linux, может быть реализован на основе функций обеспечения безопасности, встроенных в ядро операционной системы Astra Linux.

Настройку политик и ассоциаций безопасности IPSec в Astra Linux можно реализовать с помощью набора команд IP XFRM, при этом используя заранее сгенерированные случайные последовательности в качестве ключевой информации. Основные этапы формирования туннелей представлены на рис. 1.

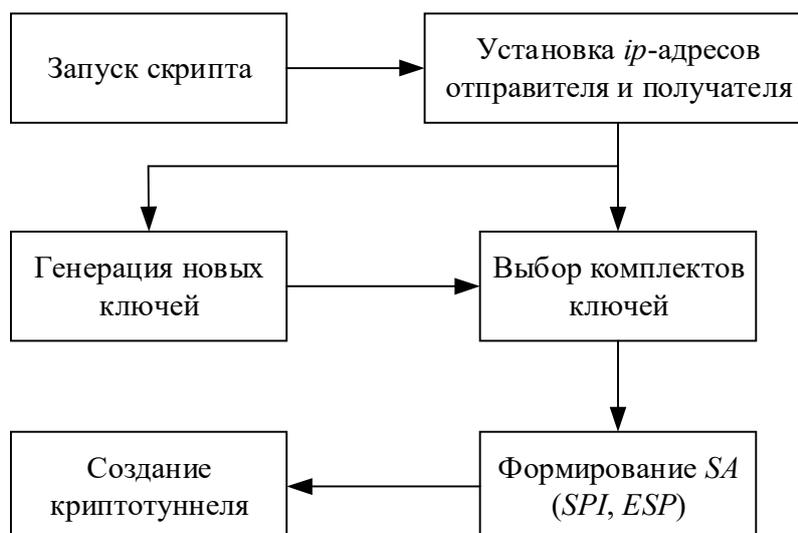


Рис. 1. Основные этапы формирования криптотуннелей на основе протоколов IPSec в ОС Astra Linux

Получение случайных данных в операционных системах Astra Linux возможно при помощи специальных символьных псевдоустройств `/dev/random` или `/dev/urandom`. Они предоставляют интерфейс к системному генератору случайных чисел, который выводит шум из драйверов устройств и других источников в «хаотичный» пул [1].

Протоколы IPsec в Astra Linux поддерживают криптографические алгоритмы AES и SHA256 с длиной ключа 256 бит. Числовые значения, получаемые от генератора случайных чисел, должны преобразовываться в шестнадцатеричный формат в виде фрагментов, состоящих из 32 октетов. Для этих целей удобно воспользоваться утилитами `XXD` и `SED` [1], позволяющими получить четыре случайные последовательности, конвертировать их и сохранить в текущем файле. Фрагмент `bash`-скрипта для генерации случайных последовательностей показан на рис. 2.

```
55 for i in {1..4}; do
56     keys[i]=$(xxd -p -l 32 -c 32 /dev/random)
57     sed -i $((i+27)) 's/./KEY['$i']='$keys[$i]'/ ' $0
58 done
```

Рис. 2. Способ создания случайных последовательностей, используемых в качестве ключей для алгоритмов AES и SHA-256

В начало каждой сгенерированной последовательности должны быть добавлены символы «0x», после чего любые две из этих последовательности могут быть использованы в качестве ключей шифрования для алгоритма AES в направлениях туда и обратно, а две другие – для имитозащиты в соответствии с алгоритмом SHA 256. Полученные ключи должны быть доставлены по защищённому каналу до обоих участников информационного взаимодействия.

Для активации IPsec в операционной системе Astra Linux используется набор команд “`ip xfrm`”. Набор команд для создания двух туннелей IPsec (в прямом и обратном направлениях) представлен на рис. 3.

```
78 ip xfrm state add ${SDIR} proto esp spi ${SPI[1]} reqid ${SPI[1]} \
79     mode transport auth sha256 ${SHAKEKEY[1]} enc aes ${AESKEY[1]}
80 ip xfrm state add ${DDIR} proto esp spi ${SPI[2]} reqid ${SPI[2]} \
81     mode transport auth sha256 ${SHAKEKEY[2]} enc aes ${AESKEY[2]}
82
83 ip xfrm policy add ${SDIR} dir out priority 0 \
84     tmpl ${SDIR} proto esp reqid ${SPI[1]} mode transport
85 ip xfrm policy add ${DDIR} dir in priority 0 \
86     tmpl ${DDIR} proto esp reqid ${SPI[2]} mode transport
```

Рис. 3. Способ создания туннеля IPsec

Команды `ip xfrm state add` служат для создания двух ассоциаций Security Association (SA), которые определяется следующими параметрами:

ip-адресами отправителя и получателя (SDIR, DDIR);
заранее сгенерированным индексом параметров безопасности (SPI [1] или SPI [2]);
протоколом инкапсуляции (esp);
с помощью параметра mode указывается режим (*mode transport* – транспортный режим);
алгоритмы имитозащиты и шифрования задаются параметрами auth sha256 и enc aes соответственно, а ключи хэширования и шифрования считываются из переменных SHAKEY [1], SHAKEY [2], AESKEY [1], AESKEY [2].

Команда `ip xfrm policy add` служит для соотнесения входящих IP-пакетов с правилами обработки для них. Записи в ней состоят из двух полей. В первом хранятся характерные признаки пакетов, по которым можно выделить тот или иной поток информации. Как показано на рисунке 3, признаком является ip-адрес отправителя и получателя (SDIR, DDIR). Во втором поле указывается политика защиты, соответствующая данному потоку пакетов. Она определяется параметром `tmpl` и состоит из параметров защищенного соединения SA. Так как соединение осуществляется в двух направлениях, команды записываются два раза в обе стороны.

Таким образом, на базе встроенных компонент операционной системы Astra Linux, возможно создание криптотуннелей, обеспечивающих защиту сетевого трафика посредством протоколов IPSec. Разработанные предложения реализованы в виде программы для ЭВМ [2].

Направлением дальнейшего исследования является разработка механизма аутентификации сторон, участвующих в информационном взаимодействии и разработка системы управления ключами, обеспечивающей их доставку и смену в соответствии с требованиями безопасности.

Список используемых источников

1. How to generate a secure random string. URL: <https://therootcompany.com/blog/how-to-generate-secure-random-strings/> (дата обращения 26.02.2022).
2. Беляев Д. Л., Дадаев И. И. Программа установки соединения IPSec в ОС Astra Linux с фиксированным комплектом ключей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610056. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10 января 2022 г.

УДК 004.432.2, 004.773.3
ГРНТИ 49.37.29

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ОПЕРАТИВНЫХ СООБЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ CRYPTOAPI

Д. Л. Беляев, Е. Г. Шорохов

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

В статье предлагается алгоритм создания защищенной системы обмена сообщениями с использованием разработки программного интерфейса CryptoAPI. В этой статье описан способ управления контейнером ключей для обмена открытыми ключами и использования их для защиты мгновенных сообщений.

CryptoAPI, поставщик криптосервисов, экспорт, импорт.

Удовлетворению потребностей пользователей в передаче и получении сообщений и документов от других пользователей со своего рабочего места способствуют инфокоммуникационные службы электронной почты и обмена мгновенными сообщениями. Безопасность систем электронной почты может быть обеспечена средствами S/MIME или PGP. Данные средства совмещают достоинства симметричных криптоалгоритмов с достоинствами управления ключевой информацией на основе открытых ключей. Но они не предоставляют возможности получения мгновенных сообщений, а также возможность видеть статус присутствия абонента в сети.

Системы обмена мгновенными сообщениями в корпоративных сетях получают наибольшее предпочтение благодаря своему удобству и своевременности. Однако большинство существующих систем либо вообще не обеспечивают никакой защиты сообщений, либо имеют криптографическую защиту, в которой функции генерации и распределения ключей выполняются на стороне сервера, что создаёт серьёзную угрозу раскрытия информации.

На сегодняшний день проблема заключается в создании системы обмена оперативными сообщениями, позволяющей обеспечить надёжную криптографическую защиту сообщений между абонентами. Такая система может быть разработана на языке программирования высокого уровня на основе интерфейса прикладного программирования CryptoAPI для реализации криптографической защиты и сетевых компонент Internet Direct (Indy), доступных в среде программирования C++Builder.

Для встраивания криптографической защиты в прикладные программы предназначены криптопровайдеры. Они являются программными подключаемыми модулями, реализующими криптографические операции. Одни криптопровайдеры встроены в современные операционные системы по умолчанию, другие могут устанавливаться дополнительно. Некоторые отечественные криптопровайдеры известных производителей являются сертифицированными средствами криптографической защиты информации. Функции криптопровайдеров позволяют обеспечить все необходимые действия от генерации случайных чисел и шифрования до форматирования данных в соответствии со стандартами PKCS.

Система защиты на основе криптопровайдеров строится по классической схеме использования сеансового ключа для симметричного шифрования и пары асимметричных ключей для обмена. Сеансовый ключ служит для зашифрования сообщений пользователя и вложений к нему и должен быть передан второму абоненту для расшифрования информации. Безопасная передача сеансового ключа обеспечивается его шифрованием на открытом ключе получателя [1].

Асимметричные ключи должны создаваться самими пользователями, а для их долговременного хранения и использования в криптопровайдерах предназначены ключевые контейнеры, создаваемые в операционной системе. Возможности создания и удаления ключевых контейнеров, генерации ключевой пары, а также экспорт и импорт открытого ключа реализованы в [2] на основе интерфейса программирования CryptoAPI.

Работа с ключевыми контейнерами строится следующим образом. В одном ключевом контейнере могут храниться либо пары ключей текущего пользователя (для электронной подписи и обмена ключами) или только открытые ключи, полученные от других пользователей. Каждый контейнер имеет название, задаваемое посредством указателя на строку типа LPCTSTR.

В первую очередь всегда вызывается функция CryptAcquireContext для инициализации криптопровайдера. При вызове этой функции с указанием в качестве двух последних аргументов типа криптопровайдера, например, PROV_RSA_FULL, PROV_RSA_AES или PROV_GOST_2012_256 и флага 0 происходит получение ссылки на дескриптор криптопровайдера по умолчанию. А при вызове её же с флагом CRYPT_NEWKEYSET или CRYPT_DELETEKEYSET вместо 0 происходит создание нового или удаление существующего ключевого контейнера.

Для просмотра списка существующих контейнеров и их названий используется функция CryptGetProvParam. Данная функция должна быть вызвана дважды: первый раз она вызывается с двумя флагами: PP_ENUMCONTAINERS и CRYPT_FIRST. При этом будет получена ссылка на название первого контейнера. Второй раз данная функция должна

быть вызвана с флагами `PP_ENUMCONTAINERS` и `CRYPT_NEXT` в цикле `while`, с помощью которого будет получен массив байт, содержащий названия ключевых контейнеров. Фрагмент исходного кода для получения списка ключевых контейнеров из операционной системы Windows представлен на рис. 1.

Для создания ключей используется функция `CryptGenKey`, при этом указывается ключевой контейнер, в котором будет создана ключевая пара и идентификатор криптоалгоритма. Для создания пары ключей обмена должны быть указаны флаги `AT_KEYEXCHANGE` и `CRYPT_EXPORTABLE`. В результате должен быть получен адрес в памяти, по которому ключи будут доступны для их использования.

```
if (!CryptGetProvParam(hProv, PP_ENUMCONTAINERS, NULL, &cbContainerName,
CRYPT_FIRST))
    return;
auto i = 0;
while (CryptGetProvParam(hProv, PP_ENUMCONTAINERS,
(BYTE*)pbContainerName, &cbContainerName, CRYPT_FIRST)) {
    ListBox1->Items->Add(pbContainerName);
    dwFlags = CRYPT_NEXT;
    Container_List->Add(String(pbContainerName));
    i++;
}
```

Рис. 1. Пример реализации получения списка существующих ключевых контейнеров

Чтобы реализовать экспорт открытого ключа используются большой двоичный объект (BLOB) и две функции `CryptGetUserKey` и `CryptExportKey`. Открытый ключ экспортируется с указанием `PUBLICKEYBLOB` в три этапа: сначала определяется размер, затем выделяется память, после чего непосредственно выполняется экспорт. Фрагмент исходного кода для экспорта открытого ключа на языках C/C++ представлен на рис. 2.

```
if (!CryptGetUserKey(hProv, AT_KEYEXCHANGE, &hKey))
    return;
if (!CryptExportKey(hKey, 0, PUBLICKEYBLOB, 0, NULL, &pbKeyBlobLen))
    return;
pbKeyBlob = (BYTE*)malloc(pbKeyBlobLen);
if (!CryptExportKey(hKey, 0, PUBLICKEYBLOB, 0, pbKeyBlob, &pbKeyBlobLen))
    return;
```

Рис. 2. Пример реализации экспорта открытого ключа

Импорт открытого ключа выполняется аналогично экспорту, используется функция `CryptImportKey`, получающая ключ из буфера, в котором содержится ключевой BLOB. Обмен открытыми ключами между пользователями позволяет обеспечить защиту сеансовых ключей и, соответственно,

защиту пользовательских данных на всём пути следования пользовательских сообщений.

Сетевое взаимодействие между пользователями, а также между пользователями и сервером системы обмена мгновенными сообщениями может быть разработано на основе компонент C++ Builder IdTCPClient и IdTCPSTServer. В качестве необходимых параметров на стороне сервера указывается номер порта, к которому устанавливаются соединения, а на стороне клиента в переменные Host и Port задаются IP-адрес сервера и номер порта, используемые для установки соединений.

Для того чтобы была возможность передачи файлов-вложений между клиентами реализуется обработчик ввода/вывода IOHandler. На передающей стороне с помощью OpenDialog1 должен быть получен путь к передаваемому файлу. Наименование файла заносится в компонент IdTCPClient через свойство WriteLn. Далее создаётся поток для чтения файла, считывается размер файла, считывается и передаётся его содержимое через буфер передачи.

```
if (OpenDialog1->Execute()) {
    IdTCPClient1->IOHandler->WriteLn(OpenDialog1->FileName);
    TFileStream *f = new TFileStream(OpenDialog1->FileName,
        fmOpenRead);
    IdTCPClient1->IOHandler->WriteBufferOpen();
    IdTCPClient1->IOHandler->Write(f, f->Size, true);
    IdTCPClient1->IOHandler->WriteBufferClose();
    delete f;
}
```

Рис. 3. Пример реализации передачи файла

На стороне получателя с помощью функции FileCreate создаётся файл с названием, полученным по сети. Далее определяется размер файла через свойство ReadInt32() и с помощью свойства ReadStream считывается информация из приёмного буфера.

```
C_Path = "C:" + ExtractFileName
(AContext->Connection->IOHandler->ReadLn());

if (!FileExists(C_Path)) {
    FileCreate(C_Path);
}

int size;
size = AContext->Connection->IOHandler->ReadInt32();
TFileStream *f = new TFileStream(C_Path, fmOpenWrite);
AContext->Connection->IOHandler->ReadStream(f, size, true);
delete f;
```

Рис. 4. Пример реализации приема файла

Направлением дальнейших исследований является совместное использование функций CryptEncrypt и CryptDecrypt с функциями приёма и передачи данных для обеспечения безопасности информационного обмена, а также разработка модуля контроля доступности абонентов в компьютерной сети и автоматизированного получения их открытых ключей.

Список используемых источников

1. Комашинский В. В. Методика применения криптопровайдеров для защиты прикладного программного обеспечения. Орёл : Академия ФСО России, 2010. 182 с.
2. Беляев Д. Л., Шорохов Е. Г. Программа управления ключевыми контейнерами в ОС Windows. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665084. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 ноября 2021 г.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

ОЦЕНИВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ДАТА-ЦЕНТРОВ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СМЕНЫ СОСТОЯНИЙ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

Г. С. Боголепов, А. В. Михайличенко, И. Б. Парашук, А. В. Селезнев

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

Рассмотрены возможные подходы к выбору и обоснованию применения математических моделей различного типа для задач моделирования процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности, характеризующих в комплексе надежность современных мобильных дата-центров. Проведен анализ достоинств и классификационных признаков математических моделей, применимых для решения задач такого класса.

математическая модель, мобильный дата-центр, надежность, параметр, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, оценивание, прогнозирование.

Построение моделей процессов, в частности, моделей смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности мобильных дата-центров (МДЦ), является начальным этапом теоретического исследования (в нашем случае – оценивания и прогнозирования) технической

надежности современных систем такого класса. При этом под надежностью МДЦ понимается состояние данной системы, при котором она обладает и реализует способность продолжать функционировать независимо от функционирования отдельных элементов и узлов МДЦ, а также должна обладать средствами восстановления после отказа.

Важность этого этапа, в рамках оценивания и прогнозирования надежности МДЦ на стадии их проектирования и разработки, обусловлена объективной необходимостью аналитического, алгоритмического либо физического представления исследуемых свойств данного процесса (процесса смены состояний параметров, характеризующих ключевые аспекты надежности – параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ) на выбранном уровне их детализации [1]. Причем, это представление должно быть согласовано с требованиями к адекватности (изоморфности) отражения свойств данного процесса, свойств самих параметров надежности, должно быть согласовано с допустимыми техническими и программными средствами их реализации, с предполагаемыми методами оценивания и прогнозирования надежности сложных информационных систем. Главное – это представление должно служить получению новых сведений о динамике смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ в интересах оперативного и достоверного анализа их технической надежности [2].

Более того, качество выбранной модели процесса смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ во многом определяет возможность получения новых знаний об объекте оценивания и прогнозирования – надежности систем такого класса в целом.

При этом к параметрам безотказности можно отнести, например, среднее время безотказной работы элементов МДЦ или дата-центра в целом и вероятность безотказной работы на отведенном промежутке времени. К параметрам долговечности МДЦ можно отнести среднее время работы (средний технический ресурс) до капитального ремонта и средний либо предельный срок службы (до списания) элементов МДЦ или дата-центра в целом. К параметрам ремонтпригодности можно отнести вероятность восстановления работоспособного состояния (вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превысит заданного); среднее время восстановления работоспособного состояния (математическое ожидание времени восстановления) и интенсивность восстановления.

Особого внимания при выборе модели процесса смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ, на наш взгляд, заслуживает взаимосвязь и функционально-логическая противоречивость понятий «состояние надежности» и «надежность МДЦ», поскольку системы, находящиеся в различных состояниях могут обладать одинаковой надежностью. С точки зрения оценивания и прогнозирования

надежности МДЦ на стадии их проектирования и разработки, под состоянием надежности дата-центров понимается вектор значений параметров их безотказности, долговечности и ремонтпригодности в конкретный момент времени (либо за определенный промежуток времени) [2, 3].

Оценивание и прогнозирование надежности МДЦ – получение текущей или прогностической точечной либо интервальной оценки, т. е., числовой характеристика параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности системы, получаемой путем моделирования, измерений или вычислений с использованием модели (правила, метода) оценивания и прогнозирования [4]. Оценивание и прогнозирование надежности МДЦ – процесс принятия решения об его текущем или прогностическом состоянии с точки зрения технической надежности. Это процедура получения оценок состояния надежности – вектора оценочных значений параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности системы в данный момент времени или в перспективе. И процедура оценивания, и процедура прогнозирования надежности МДЦ реализуются в два этапа, на первом этапе производится моделирование или измерение показателей, характеризующих надежность, т. е. определение значений параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности, а на втором – собственно оценивание и прогнозирование надежности МДЦ по принятому критерию.

Причем измерение предполагает определение меры оцениваемого параметра, характеризующего техническую надежность МДЦ, в соответствии с некоторой эталонной мерой, т. е., количественное оценивание значения конкретного параметра безотказности, долговечности или ремонтпригодности дата-центра, осуществляемое путем сравнения конкретного параметра измеряемой характеристики (аспекта, свойства) надежности со шкалой, проградуированной в определенных единицах измерения безотказности, долговечности или ремонтпригодности. Шкала для надежности МДЦ – пространство мер состояний параметров безотказности, долговечности или ремонтпригодности, причем, как и шкалы для измерения качества сложных систем, шкалы для оценивания и прогнозирования надежности МДЦ могут быть порядковыми (ранговыми), метрическими, линейными, многомерными, степенными, экспоненциальными, логарифмическими, балльными, номинальными, семантическими, интервальными, шкалами отношения, шкалами разности и др.

Детальный анализ работ [1–5], посвященных решению задач моделирования сложных информационных систем, подобных МДЦ и процессов, реализуемых ими, позволил выделить ряд базовых принципов моделирования, обеспечивающих выполнение требований, предъявляемых к современным моделям смены состояний параметров безотказности, долговечности и ре-

монтопригодности дата-центров: принцип минимальной сложности при заданной точности; принцип иерархичности и модульности (разнообразия); принцип стохастичности и динамичности.

Проведенный анализ сделал возможным выполнение условной систематизации (типизации, группирования) и построение варианта классификации существующих в настоящее время моделей, пригодных для описания функционирования и адекватного математического моделирования процессов смены состояний параметров сложных информационных систем, например, параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ. Разработан вариант классификации математических моделей для описания процесса смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности, характеризующих надежность МДЦ в целом. Базовыми признаками классификации моделей процессов смены состояний параметров надежности (безотказности, долговечности и ремонтпригодности) МДЦ, на наш взгляд, являются: характер отображаемых свойств этих процессов; вид представления; уровень рассмотрения свойств процессов смены состояний параметров надежности; характер используемых для описания свойств процессов переменных и функций (линейные – нелинейные, дискретные – непрерывные, статические – динамические, детерминированные – вероятностные, стационарные – нестационарные).

Основу аналитических моделей процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ, составляет описание исследуемых свойств этих процессов в математических терминах и на базе математических процедур (выражений) и функций.

При этом анализ показывает, что общим и достаточно адекватным математическим языком описания процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ в интересах оценивания и прогнозирования надежности дата-центров, может и должен быть язык теории множеств и функциональных пространств, основными операндами которого являются элементы (термины): множество, отображение (функция перехода), метрика, пространство, состояние, возмущение, траектория и т. д. [2, 5, 6].

Анализ показывает, что рассмотренные элементы (термины, понятия) теории систем, вводимые для математического описания стохастических процессов, реализуемых в рамках оценивания и прогнозирования надежности, позволяют достаточно подробно рассмотреть особенности аналитического представления различного класса исследуемых случайных процессов, таких как процессы смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ.

Иными словами, предлагается подход к аналитическому моделированию процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности

и ремонтпригодности, реализуемых в рамках оценивания и прогнозирования надежности МДЦ, как к формализованному описанию движения объекта моделирования (контролируемого параметра) в пространстве состояний. При этом движение конкретного параметра безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ в пространстве его состояний является функцией непрерывного (или дискретного) времени.

В этой связи большим, но не всегда востребованным потенциалом, на наш взгляд, обладают модели смены состояний параметров надежности МДЦ, основанные на управляемых цепях Маркова. Здесь под пространством состояний в общем случае динамического, вероятностного, нелинейного и нестационарного процесса смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ, реализуемого в рамках оценивания и прогнозирования надежности в целом, будем понимать метрическое пространство X . При этом каждый элемент X является конечномерным вектором переменных состояния $\vec{x}(k) \in X$, включающим минимальную совокупность параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ, содержащую на текущий момент времени $t(k)$ всю информацию о предыстории процесса смены их состояний $t^- \leq t (n \leq k)$, необходимую для полного описания выходных параметров этого процесса в будущем $t^+ > t (s > k)$, т. е. на следующем шаге оценивания и прогнозирования надежности МДЦ.

Известно, что изменение большинства параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности сложных технических систем, подлежащих контролю в интересах оценивания и прогнозирования надежности объектов такого класса, можно классифицировать, как случайные процессы. Это обуславливает тот проблемный для исследователей факт (известный как «проклятие размерности»), что математическое описание любого динамического, вероятностного, нелинейного и нестационарного процесса из совокупности процессов, реализуемых в рамках оценивания и прогнозирования надежности МДЦ, неразрывно связано с заданием многомерных функций $F(\vec{x}; \vec{\lambda}; t_0, \dots, t_k, \dots, t_K)$ или плотностей $W(\vec{x}; \vec{\lambda}; t_0, \dots, t_k, \dots, t_K)$ распределения вероятностей значений параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности на интервале оценивания и прогнозирования надежности МДЦ $(t_0 - t_K)$.

Эту проблемную ситуацию можно разрешить, используя марковские модели процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ, т. к. модели такого типа обеспечивают возможность ввода ограничений на последствие (память) математического описания данных процессов.

Таким образом, можно с достаточной долей уверенности утверждать, что, с учетом оговоренных ограничений, описание динамики стохастических управляемых процессов смены состояний параметров безотказности, долговечности и ремонтпригодности МДЦ рационально осуществлять в рамках марковских моделей. Марковские модели процессов обладают высокой универсальностью, а сочетание теории марковских процессов с теорией переменных состояния обуславливает априори успешные теоретические и практические научные походы к достоверному и оперативному оцениванию и прогнозированию надежности современных мобильных дата-центров.

Список используемых источников

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 400 с.
2. Андреев А. В., Яковлев В. В., Короткая Т. Ю. Теоретические основы надежности технических систем : учебное пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 164 с.
3. Паращук И. Б., Михайличенко А. В., Крюкова Е. С. Анализ зашумленных и неоднородных данных о значениях параметров надежности дата-центров // Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики : сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. С. 74–77.
4. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении, пер. с англ. под ред. Б. Р. Левина. М. : Связь, 1976. 496 с.
5. Плотников С. А., Семенов Д. М., Фрадков А. Л. Математическое моделирование систем управления. СПб. : Университет ИТМО, 2021. 193 с.
6. Крюкова Е. С., Паращук И. Б. Математическая модель, предназначенная для оценки качества электронной библиотеки: синтез числа градаций пространства состояний // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. 2020. № 1 (49). С. 121–131.

УДК 623.611
ГРНИ 49.43.29

СПЕЦИФИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ НА МОРСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Д. С. Ванюгин, В. А. Гриднев, А. В. Глушко

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

Арктическая зона в силу своей специфики оказывает значительное влияние на организацию радиосвязи за счёт условий распространения радиоволн различных диапазонов частот, большого пространственного размаха территории, включая морскую часть, занимаемую островами и континентальной сушей. В статье изложены конкретные предложения по применению средств связи различных диапазонов для организации управления арктическими территориями.

арктическая зона, морское пространство, радиосвязь, диапазон частот.

Арктическая зона – территория непрекращающихся межгосударственных конфликтов и притязаний, острота которых с большой вероятностью будет нарастать, поэтому ожидаемое усиление промышленного, транспортного и иного освоения этой зоны российскими хозяйствующими субъектами должно быть сопряжено с вынужденным наращиванием оборонного потенциала территории в целях ее защиты от возможной агрессии и экономических претензий со стороны других государств (в том числе неарктических), заинтересованных в пространственных и природных ресурсах арктического макрорегиона. По соотношению военно-морских сил, российская группировка, дислоцированная в акваториях Северного Ледовитого океана, отстает от совокупного потенциала стран НАТО – по количеству кораблей почти на порядок [1].

Реализация стратегических задач развития Арктической зоны России во многом зависит от состояния ее информационного пространства, которое должно стать единым и способным осуществлять надежную и бесперебойную связь всех объектов хозяйственной и транспортно-инфраструктурной деятельности и всех без исключения населенных пунктов постоянного и временного (вахтового, экспедиционного) нахождения людей. Должна быть решена и проблема создания современных геоинформационных основ управления арктическими территориями, включая разработку средств для решения задач обороны и безопасности [2].

Одним из ключевых направлений развития Арктической зоны РФ является формирование эффективной инфраструктуры Северного морского пути. Важным элементом в развитии инфраструктуры является развитие телекоммуникационной подсистемы.

Телекоммуникационная подсистема – связь в УКВ- и КВ-диапазонах, спутниковой, метеорной и тропосферной связи, создание и внедрение единой платформы цифровых сервисов, предоставляемых в акватории Северного морского пути

В Арктической зоне, где значительная часть пространства занята морями и Северным ледовитым океаном, для обеспечения связи с надводными судами и подводными аппаратами организуются радиолинии. Для связи с надводными судами развёртываются радиосети и радионаправления в КВ и УКВ диапазоне частот.

Основные требования к организации сети радиосвязи вытекают из принятой системы управления и принципов её построения с учётом особенностей Арктической зоны. С учётом этого должно быть обеспечено гарантированное доведение в режиме времени, близком к реальному, приказов, сигналов до различных звеньев управления с заданными вероятностно-временными характеристиками (с вероятностью не хуже 0,95) во всей Арктической зоне Российской Федерации;

Для увеличения дальности связи могут использоваться воздушные и наземные ретрансляционные пункты. В качестве воздушных ретрансляторов связи могут использоваться БЛА [3], которые позволяют увеличить дальность связи в КВ и УКВ диапазонах с надводными судами, находящимися на значительных расстояниях от пунктов постоянной дислокации (приписки) (рис. 1)

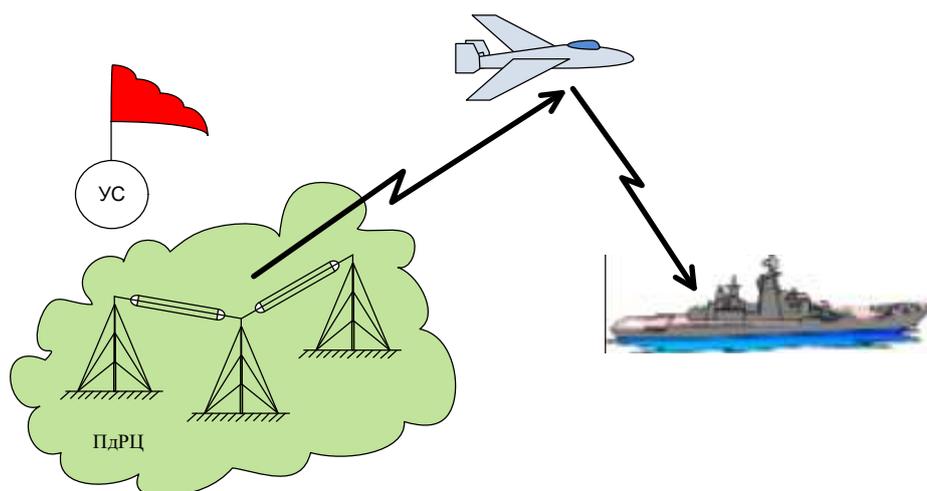


Рис. 1. Ретранслятор связи на БЛА

Для организации радиосвязи на стационарных радиоцентрах используются передатчики средней и большой мощности КВ диапазона, а в особых

условиях для доведения, спецсигналов, сигналов боевого управления (СБУ), распоряжений и оперативной информации могут задействоваться радиосредства СДВ диапазона.

Радиосвязь между надводными судами организуется на радиосредствах КВ и УКВ диапазонах непосредственно поверхностной (земной) волной на дальностях до 30–150 км, а пространственной (ионосферной) может достигать более 3 000 км в зависимости от вида (связи) передаваемого сигнала.

На надводных судах устанавливаются радиоприёмные устройства Р-170П, Р-260П, ПТ-100-ПРМ; трансиверы ПТ-500, ПТ-1000; радиопередающие устройства средней мощности.

Связь с подводными аппаратами, когда они находятся в погружённом состоянии – достаточно серьёзная техническая задача. Основная проблема состоит в том, что электромагнитные волны с частотами, используемыми в традиционной радиосвязи, сильно ослабляются при прохождении через толстый слой проводящего материала, которым является солёная вода.

Важная особенность распространения на КНЧ заключается в том, что имеется только один тип распространяющейся волны – ТЕМ (поперечная волна). Все другие типы волн являются затухающими и они почти не обнаруживаются на расстояниях свыше 1 000 км. В дальней зоне волна ТЕМ имеет вертикальную поляризацию вектора электрического поля и горизонтальную вектора магнитного поля, которые перпендикулярны направлению распространения и не имеют продольных составляющих.

Утечка энергии из этой волны в океан создает плоскую волну, распространяющуюся вниз, и именно эта волна принимается приемником подводной лодки (рис. 2).

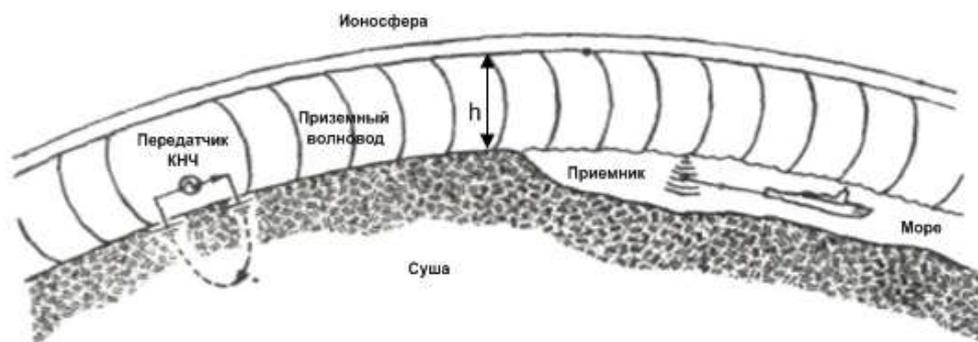


Рис. 2. На КНЧ и их прием на подводной лодке

Если передающая антенна КНЧ диапазона представляет собой короткий по сравнению с длиной волны горизонтальный провод длиной L , несущий синусоидальный ток $I \cos \omega t$, то эта простая модель дает в дальней зоне горизонтальное магнитное поле сигнала, приходящего по кратчайшей дуге большого круга между передатчиком и приемником [4].

Приемная антенна, будучи так же, как и передающая антенна с горизонтальным вибратором, имеет такую же диаграмму направленности в форме восьмерки. К сожалению, реализация всенаправленной диаграммы направленности в случае приемной антенны не так проста, как в случае передающей. Наиболее приемлемым является применение спиральной антенны в виде длинной соленоидальной обмотки, заключенной в кабельную оболочку.

Ввиду очень высокой стоимости передающего комплекса чрезвычайно важно иметь приемник, для которого потребуется минимально возможная мощность передатчика. Приемник должен обеспечить компенсацию влияния океана, нелинейную обработку шумов, когерентное детектирование и последовательное декодирование.

Излучаемый передатчиком КНЧ сигнал может пройти длинный путь, поскольку коэффициент затухания на КНЧ очень мал (обычно 1,5 дБ на 1 000 км). Достижимую скорость передачи информации определяет не только интенсивность сигнала, но и уровень электромагнитных помех. Для того, чтобы наилучшим образом использовать отношение сигнал/шум, необходимы эффективные методы модуляции и кодирования, например, сверточное кодирование, последовательное декодирование и т. д. При удалении от передатчика на 10 000 км такой приемник обеспечит прием со скоростью 1 бит/с.

В случае, когда подводный аппарат находится на глубине в подводном положении, имеются два важных шумовых эффекта, связанных с глубиной погружения приемных антенн. Один из них заключается в том, что при распространении в глубь океана атмосферные помехи затухают в той же степени, что и сигнал. Поэтому отношение сигнал/шум не зависит от глубины погружения до точки, в которой атмосферные помехи уже нельзя считать большими по сравнению с локальными шумами (помехами, шумами антенны и приемника). Таким образом, за увеличение глубины приема нет необходимости платить повышением мощности передатчика. С равной эффективностью уменьшаются локальные шумы.

Второй эффект заключается в том, что электрически океан ведет себя как дисперсионный фильтр, сглаживающий во времени атмосферные импульсные помехи.

Крайне низкие и сверхнизкие частоты имеют особую значимость для обеспечения дальней радиосвязи с объектами, находящимися на океанских и морских глубинах (в погруженном состоянии) и выполняющих задачи.

Радиоволны очень низкого диапазона (ОНЧ, VLF, 3–30 кГц) могут проникать в морскую воду на глубины до 20 метров. Значит, подводный аппарат, находящаяся на небольшой глубине, может использовать этот диапазон для связи.

Преимуществом радиоволн КНЧ и СНЧ является и то, что они способны проникать в морскую воду на глубину до 200 метров, тем самым, обеспечивая связь с подводным аппаратом под водой без всплытия. Актуальным является применение ретрансляторов связи – наземных и на летно-подъёмных средствах.

Решение проблемы качественного управления арктическими территориями в условиях непрекращающихся межгосударственных конфликтов и притязаний, острота которых с большой вероятностью будет нарастать, возможно, только через создание современных геоинформационных основ управления этими территориями. Решение проблемы управления арктическими территориями

– на техническом уровне связано с разработкой средств связи нового поколения, которые позволят выполнить задачи по обороне и безопасности в данном регионе используя современные и эффективные методы модуляции и кодирования,

– на организационном уровне с комплексными методами организации связи с различными пунктами управления в различных звеньях управления с требуемым качеством, надежностью, оперативностью, устойчивостью, и безопасностью.

Список используемых источников

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, утвержденная Президентом РФ 8 февраля 2013 г.

2. Ивантер В. В. Лексин В. Н. Порфирьев Б. Н. Арктический мегапроект в системе государственных интересов и государственного управления // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. Теория. Практика. Методология. 2014. Т. 7. № 6 (38), С. 6–24.

3. Лукьянчик В. Н., Мельник В. Н., Мосеев В. И. Особенности построения системы связи специального назначения в Арктической зоне Российской Федерации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2017. С. 483–488.

4. Сороцкий В. А. Теория и методы расчёта оконечных каскадов радиопередающих устройств перспективных радиолиний диапазонов КНЧ, СНЧ: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.12.04 / Сороцкий, Владимир Александрович. СПб., 2011. 34 с.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

МОДЕЛЬ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Д. Н. Васильев, Р. В. Гордийчук, А. К. Сагдеев, В. А. Слюсарь

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

Процессы функционирования интегрированной ИТКС ВН, как объекта контроля защищенности от ТКР, могут быть представлены моделью или их взаимоувязанной совокупностью. Данная модель объекта исследования предназначена для формирования исходного набора данных, характеризующих конфликтную ситуацию. Цель моделирования - получить набор статистических значений ИП объектов управления по параметрам интегрированной ИТКС ВН с учетом требуемого качества ее работы.

защита информации, информационно-телекоммуникационная сеть, контроль, система связи.

Тенденции интеграции системы военной связи (СВС) с сетью связи общего пользования (ССОП) позволяют делать выводы, что традиционные модели СВС становятся малопригодными и не применимыми.

Следовательно, известные традиционные методы моделирования СВС не могут быть полностью применены для моделирования интегрированной ИТКС ВН.

Предлагаемая модель интегрированной ИТКС ВН, как объекта управления, учитывает динамику изменения условий эксплуатации на относительно коротком временном интервале, в отличие от традиционных моделей СВС, предполагавших их неизменность.

Система управления войсками (СУВ) представляет собой совокупность функционально связанных между собой органов управления, пунктов управления и техническую основу системы управления [1].

В свою очередь, техническая база системы управления включает средства связи и автоматизированную систему управления, технические средства скрытого управления войсками, обработки и расчета информации, оформления и размножения. Обмен информацией в системах управления осуществляется посредством коммуникации.

СВС являются основным средством и материально-технической базой управления войсками (силами и средствами).

Основу сети связи военного округа составляют: стационарные узлы связи повседневных пунктов управления объединений и соединений; стационарные, опорные и гарнизонные узлы связи; стационарные волоконно-оптические, проводные, радиорелейные и тропосферные линии связи; центры коммутации; радиоцентры, центры (станции) спутниковой связи; арендуемые каналы (тракты) и услуги связи у оператора ЕСЭ России, а также средства связи пунктов радиодоступа [2].

Под структурой системы связи понимается ее структура, отражающая состав, количество, расположение и взаимосвязь ее составных частей. Элементы традиционной системы связи представлены на рис.

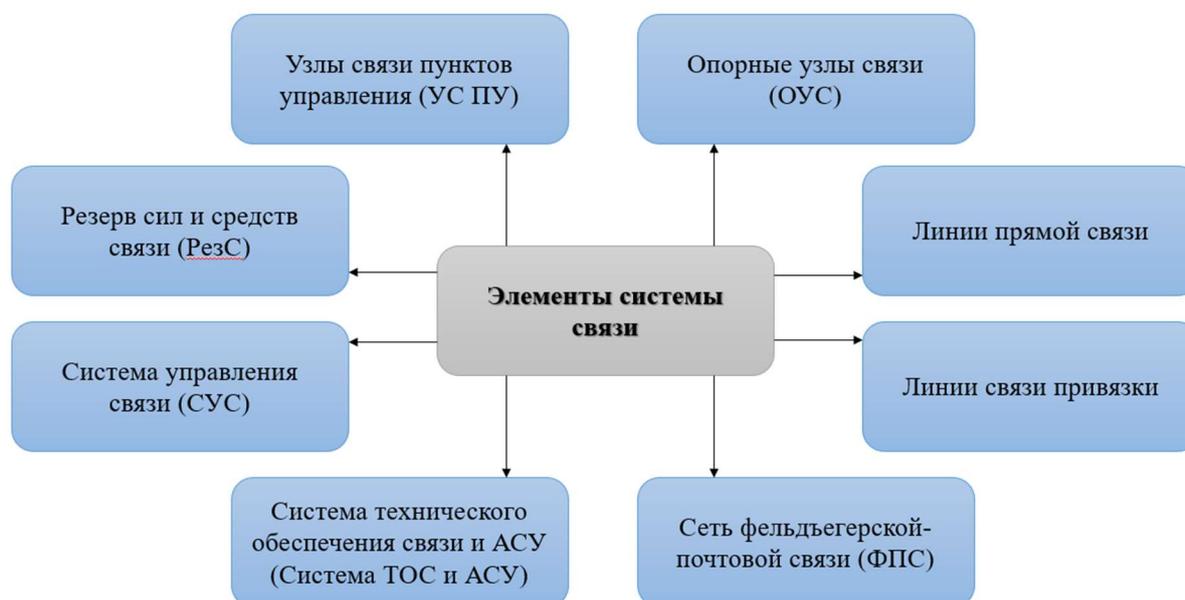


Рисунок. Элементы системы связи

В настоящее время завершается создание единой (взаимосвязанной) системы государственно-военного контроля Российской Федерации, которая должна обеспечивать комплексное эффективное управление объединениями, соединениями, частями и подразделениями Сухопутных войск в режиме реального времени, принимая во внимание изменение военно-политической и оперативно-тактической обстановки.

Перспективная система связи должна состоять из:

- узлов связи пунктов управления модульного типа, объединенных интегрированной цифровой транспортной сетью связи;
- линий связи привязки транспортной сети связи соединения к вышестоящей системе связи и стационарным узлам связи ЕСЭ России;
- системы технического обеспечения связи и автоматизации;
- автоматизированной системы управления связью;
- резерва сил и средств связи;
- сети ФПС.

В свою очередь, транспортная сеть связи будет включать сети: радиосвязи, широкополосной радиосвязи, зонной радиорелейной связи; линии прямой радиорелейной связи и распределенной сети проводной связи.

Модульный полевой узел связи обеспечит доступ к транспортной сети и телекоммуникационным услугам, а также обеспечит сопряжение различных элементов системы связи. Устройство системы связи на пунктах управления должно быть реализовано через мультисервисные сети [3].

Линии связи привязки развертываются между УС ПУ и УС ЕСЭ РФ для передачи типовых каналов связи (цифровых потоков), образованных ССОП ЕСЭ РФ на УС ПУ (по паролю «Узор»).

Топологическое размещение УС ПУ заданной СУВ моделируется на основе материалов проведенных учений, а также с учетом действующих или исследуемых параметров по взаимному размещению и перемещению.

Будущее «поле боя» будет характеризоваться малой плотностью сил и средств, большим пространственным размахом и высокой степенью решительности в достижении поставленных целей каждой из противоборствующих сторон [4].

Сообщения, передаваемые в ЕСЭ РФ в реальном масштабе времени, в зависимости от степени важности содержащейся в них информации, подразделяются на три класса. Класс важности сообщения требует определенной степени надежности соединения при передаче этого сообщения. Для передачи сообщений I класса должна обеспечиваться организация трех независимых путей между сетевыми узлами (узлами привязки), к которым подключается арендатор каналов. Для передачи сообщений II класса необходимо иметь два независимых пути между узлами привязки либо один путь с использованием системы резервирования. Для передачи сообщений III класса достаточно одного пути между узлами привязки. Сообщения, передаваемые по коммутируемым сетям ОП, относятся к III классу.

При моделировании фрагмента ССОП ЕСЭ РФ необходимо учитывать тот факт, что развернутые на территории РФ ССОП характеризуется значительной неоднородностью по заданным параметрам, связанной, как правило, с различным экономическим потенциалом регионов [5, 6].

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. 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 научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.

3. Дробяскин А. Н., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Янбулатова К. И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 125–129.

4. 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.

5. Одоевский С. М., Григорчук А. Н., Кочешков А. К., Ермаков А. В., Ясинский С. А. Обоснование требований и пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ведомственной сети передачи данных // Информация и космос. 2019. № 2. С. 29–34.

6. Ганиев А. Н., Серебряков Ю. Н., Григорчук А. Н. Модель комплексного контроля воздушного пространства многопозиционной активно-пассивной радиолокационной системой // Телекоммуникационные технологии. 2016. № 15. С. 24.

УДК 654.1
ГРНТИ 49.01.11

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ ВИДЕОТРАНСЛЯЦИИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ МОБИЛЬНОГО ПРОТИВОПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ (МПСК-МИ)

В. М. Величко, М. С. Проценко, А. К. Сагдеев, Е. Н. Сидоренко

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

При проведении аварийно-спасательных работ необходимо осуществлять видеотрансляцию между аварийно-спасательной группой и командиром аварийно-спасательной группы для осуществления контроля за деятельностью и документальной фиксации происходящего. Реализации механизмов видеотрансляции в сложных условиях распространения радиосигнала посвящена данная статья.

мобильный комплекс связи, аварийно-спасательные работы, мобильный противопожарно-спасательный комплекс, видеотрансляция.

При разработке мобильного комплекса связи мобильного противопожарно-спасательного комплекса модульного исполнения (МПСК-МИ), осуществляемого акционерным обществом «Флаг Альфа» и СПбГУТ с учетом технического задания и составом комплекса «МПСК-МИ» было выделено две технические подсистемы: подсистема связи и подсистема видеотрансляции.

Это обусловлено:

1. Наличием в комплексе средств связи, не позволяющих организовать одностороннюю передачу потоков видеоинформации с высокой пропускной способностью.

2. Организация передачи видеоинформации в реальном масштабе времени с высоким разрешением от каждого из членов личного состава АСГ требует организации высокоскоростной беспроводной радиосети.

3. Доведение видеоинформации от АСГ до рабочего места командира АСГ в режиме реального времени.

4. Особенности распространения радиоволн в экранированных пространствах (наличие палубных надстроек, внутренних помещений корабля, отсеков подводных лодок) требует организации транспортной сети с большой пропускной способностью.

5. Документирование действий л/с (в большей степени видеоинформации) требует наличие высокопроизводительного ПЭВМ с соответствующим объемом хранилища.

Построение подсистемы видеотрансляции (ВТ) рассматривалось на базе спектра средств беспроводных широкополосных сетей, имеющих на рынке, исходя из экономической целесообразности.

Основной трудностью в организации транспортной сети является то, что среда распространения радиоволн представляют собой совокупность множества экранирующих замкнутых объемов, проникновение (распространение) ЭМВ между которыми осуществляется за счет: огибания, многократного отражения, прохождения через материал с высокой поглощающей способностью, что делает невозможным организацию универсальной транспортной сети [1].

Таким образом, конфигурация транспортной сети должна учитывать:

1. Наличие коридоров, канализирующих ЭМП.
2. Множество поворотов.
3. Переборки.
4. Разноуровневые палубы.

Варианты структурных схем построения подсистем ВТ представлены на рис.1.

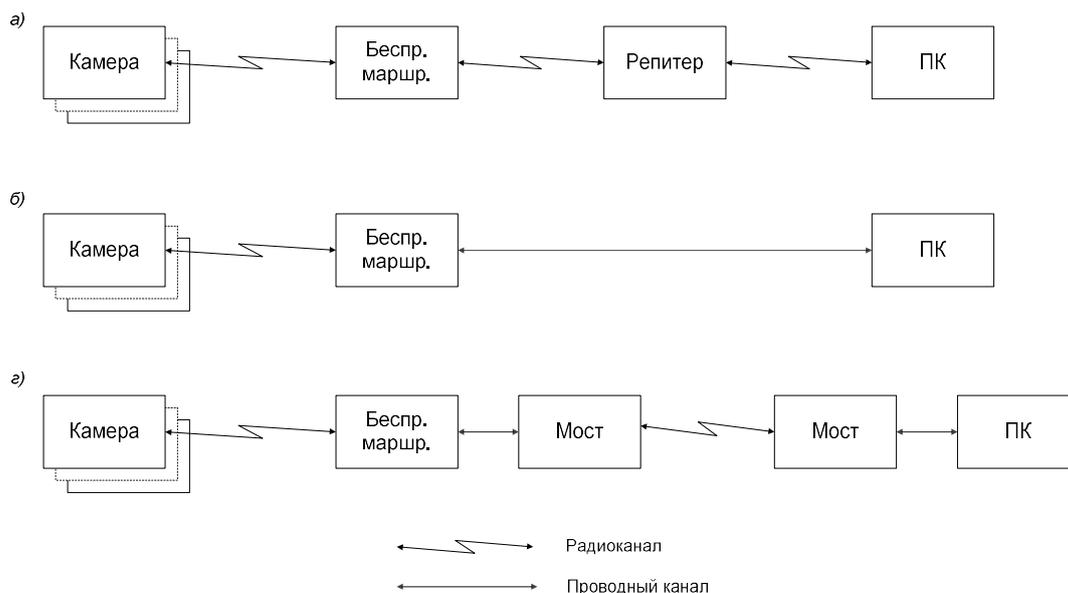


Рис. 1. Варианты структурных схем построения подсистемы видеотрансляции

Все предложенные варианты содержат:

- беспроводную широкополосную сеть, организованную на основе беспроводного маршрутизатора (роутера), размещенную в зоне действия АСГ и клиентских видеокамер, оснащенных модулями Wi-Fi (идентичную для всех вариантов);
- транспортную сеть:
 - построенную на основе беспроводных ретрансляторов (репитеров);
 - проводную линию связи (кабель *Ethernet*, *RG 45*);
 - радиомост (возможность построения высокоскоростных р/каналов с большой дальностью);
- рабочее место командира АСГ, оснащенное высокопроизводительными ПЭВМ, с соответствующим программно-аппаратным обеспечением, позволяет выполнять задачи контроля, записи и хранения видеoinформации, поступающей от АСГ.

Таким образом, можно выделить следующие варианты применения схем.

Вариант 1. (рис. 1, а).

Беспроводную сеть широкополосного доступа предлагается строить на основе беспроводного маршрутизатора, находящегося в зоне действия клиентских камер личного состава АСГ. Транспортная сеть строится на основе беспроводных ретрансляторов, которые обеспечивают несколько интервалов переприема. Данное техническое решение целесообразно применять, когда между командиром АСГ и ее личным составом отсутствует прямая радиовидимость (командир АСГ и ее личный состав находятся

на разных палубах, между ними большое количество переборок). При реализации данной схемы личный состав АСГ должен обеспечивать размещение ретрансляторов (репитеров) в зоне прямой радиовидимости, что накладывает необходимость снаряжать АСГ несколькими ретрансляторами.

Вариант 2. (рис. 1, б).

Беспроводную сеть широкополосного доступа предлагается строить на основе беспроводного маршрутизатора, находящегося в зоне действия клиентских камер личного состава АСГ. Транспортная сеть строится на основе проводной линии между ПЭВМ командира АСГ и беспроводным маршрутизатором. Данное техническое решение целесообразно применять в сложных условиях распространения электромагнитных волн, но на небольшие расстояния, обусловленные длиной кабельной линии. Необходимо учитывать, что наличие катушки кабеля снижает энерговооруженность АСГ и ее маневренность.

Вариант 3. (рис. 1, в).

Беспроводную сеть широкополосного доступа предлагается строить на основе беспроводного маршрутизатора, находящегося в зоне действия клиентских камер личного состава АСГ. Транспортная сеть строится на основе радиомостов, которые позволяют передавать большие объемы информации без использования проводных средств связи. Данное техническое решение целесообразно применять, когда между командиром АСГ и ее личным составом большие расстояния и **обязательно** присутствует условие прямой радиовидимости, например, прямые без поворотов коридоры, палуба. Также данный способ возможен для организации связи между кораблями (командир АСГ находится на отдельном судне от личного состава АСГ).

Функциональная схема подсистемы видеотрансляции представлена на рис. 2.

На функциональной схеме представлены варианты организации связи:

- по проводному каналу связи;
- с помощью радиомоста;
- с помощью беспроводных репитеров.

Подсистему служебной связи предложено организовать в радиосети, образованной средствами портативных радиостанций.

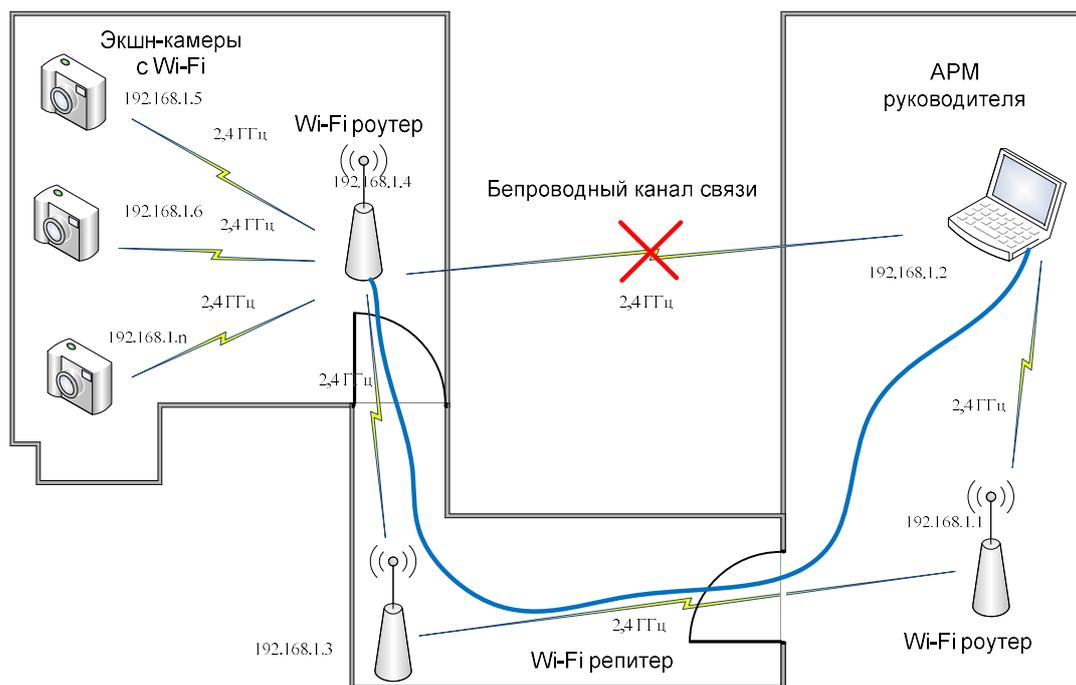


Рис. 2. Функциональная схема подсистемы видеотрансляции

Проведенные исследования показали, что мобильный комплекс связи обеспечивает:

- устойчивую передачу радио (8 чел.) и видеосигнала (4 чел.) от л/с АСГ на месте проведения АСР (в условиях: палубных надстроек и внутренних помещений (палуб) кораблей, внутренних отсеков подводных лодок и т.д. на расстояние не менее 300 м), на рабочее место командира АСГ (1 чел.);

- длину линии связи между внешним и внутренним оборудованием, м:
 - при работе через кабель до 50,
 - при работе по радиоканалу до 300;
- приём и запись видеосигнала от л/с АСГ на рабочем месте командира АСГ в течение 4 часов;

- организацию двухсторонней радиосвязи между личным составом АСГ, оператором модуля МАП и командиром АСГ.

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 ВМ // 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.

УДК 004.451
ГРНТИ 81.93.29

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВ ИМЁН NETWORK NAMESPACE В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ GNU/LINUX

С. Г. Вьюгов, С. В. Козлов

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

Одним из ключевых элементов операционной системы GNU/Linux является изоляция процессов. Внутренний механизм пространств имён, реализованный в данной операционной системе, позволяет изолировать процессы на уровне ядра. Дерево процесса Network, имеет собственный набор таблиц маршрутизации. Появляется возможность туннелировать трафик отдельных приложений и создавать модели виртуальных сетей с заданными качественными характеристиками канала связи.

пространство имен, физический стек, виртуальный стек, характеристики канала связи.

В наше время сфера сетевых технологий является наиболее перспективным направлением, так как возрастает необходимость моделирования распределенных сетей с последующей возможностью анализа характеристик каналов связи при различных уровнях нагрузки сетевого трафика. С точки зрения информационной безопасности сетевых технологий, возникает потребность туннелирования трафика для отдельных приложений операционной системы.

В операционной системе GNU/Linux в версии ядра 2.4.19 была усовершенствована изоляция процессов. Таким образом на данный момент доступно шесть пространств имён:

1. Файловая система (*Mount*).
2. UTS.
3. ID процессов (PID).
4. Сети (*Network*).
5. Межпроцессное взаимодействие (IPC).
6. Пользовательские ID (*User*).

В рамках моделирования виртуальной сети используется пространство имён Network. Сетевое пространство имён ограничивает видимость процесса внутри сети. Оно позволяет создавать собственные интерфейсы,

наборы IP-адресов и портов, таблицы маршрутизации и правила файрволла [1].

В рамках оценки характеристик и возможностей виртуальной сети на основе технологии сетевого пространства имён была реализована модель сети, представленная на рис. 1.

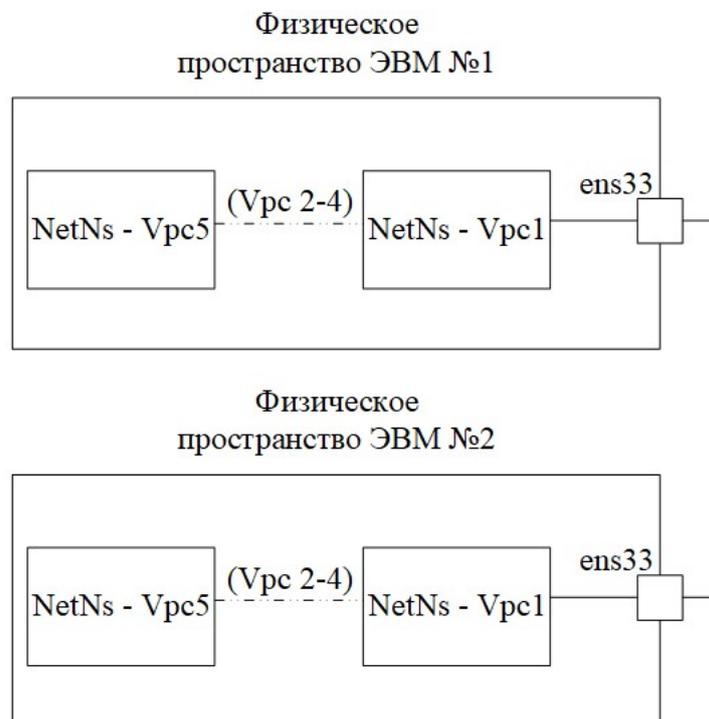


Рис. 1. Модель виртуальной сети в операционной системе GNU/Linux.

Задача воссоздания реального процесса работы пользователей в сети решилась на основе имитационного моделирования. Для формирования потока данных необходимо использовать два генератора случайных чисел (ГСЧ). Один ГСЧ используется для задания интервалов между пакетами, второй генератор – для определения размера пакетов. В соответствии с принятыми в теории телетрафика подходами [2], для каждого моделируемого потока данных создаются независимые ГСЧ, обеспечивающие формирование последовательностей случайных чисел, некоррелированных между собой и распределенных по экспоненциальному закону.

Формирование экспоненциально – распределенных последовательностей осуществляется на основе преобразования исходной линейно – распределенной случайной последовательности [3].

Экспоненциальное распределение задано выражением:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\mu}}, x \geq 0, \quad (1)$$

А случайная величина (СВ) определяется как:

$$X = -\mu \ln U, 0 < U \leq 1. \quad (2)$$

и имеет экспоненциальное распределение со средним μ , если U – равномерно – распределенная СВ на интервале $[0,1]$.

Для того чтобы определить СВ при $U = 0$, берется достаточно малое значение, для которого вычисляется логарифм с заданной точностью.

Для генерации экспоненциально – распределенных СЧ может быть использован итерационный алгоритм, основанный на генерации битовых последовательностей, а для генерации равномерно – распределенной СВ U на интервале $[0,1]$ используется линейный конгруэнтный метод или метод вихря Мерсена [3].

За основу возьмем линейно конгруэнтный метод. По данному методу последовательности строятся в соответствии с выражением

$$X_{k+1} = (aX_k + c) \bmod m, \quad (3)$$

где a, c, m – случайные целые числа.

Формируемая последовательность зависит от начального значения X_0 – «посева». Для генерации двух последовательностей СЧ при моделировании межпакетного интервала и размера пакетов необходимо задавать разные значения X_0 . Также для формирования разных последовательностей при каждом запуске, необходимо определить источник энтропии для начального заполнения X_0 . В качестве источника энтропии используется комбинация значений MAC – адреса сетевой карты, системного таймера, номеров процессора и диска компьютера.

Используя свойства рекуррентной последовательности (3) могут быть подобраны коэффициенты a, c, m таким образом, чтобы период последовательности был максимален [3]. Эта комбинация, следующая: $a = 48271, c = 0, m = 231-1$.

Поскольку линейно конгруэнтный метод генерирует целочисленную последовательность на интервале $[0, 231-2]$, то ее необходимо привести к вещественной последовательности случайных величин U на интервале $[0, 1]$. Такое преобразование возможно с точностью 2^{-31} .

Для экспериментальной оценки качества полученного распределения случайных чисел разработана программа на языке программирования C++, в которой используется линейный конгруэнтный генератор из стандартной библиотеки с указанными выше коэффициентами минимального стандарта.

На рис. 2 представлен график эмпирического распределения частот случайных чисел.

Из графика видно, что эмпирическое распределение соответствует экспоненциальному закону. Полученный результат позволяет использовать разработанные ГСЧ для формирования трафика.

В результате проведения анализа канала связи были получены результаты, представленные в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты тестирования виртуальной сети

Интервал времени	Количество переданных данных	Средняя скорость передачи данных	Количество повторных отправлений	Тип источника
0.00 – 10.00	1.10 GBytes	115111 KBytes/s	250	Отправитель
0.00 – 10.00	1.10 GBytes	114828 Kbytes/s	–	Приемник

Остальные тесты проводились при изменении количества виртуальных стеков в модели виртуальной сети. Количество переданных данных и средняя скорость передачи данных на протяжении всего тестирования оставались неизменными. На рис. 3 представлен график

зависимости количества повторных запросов от количества виртуальных узлов между двумя окончательными пользователями сети.

Высокая скорость передачи данных, объясняется тем, что технология пространств имён работает на уровне ядра. Недостатком на данный момент является зависимость количества повторных запросов при увеличении числа транзитных виртуальных узлов. Таким образом технология сетевого пространства имен очень перспективна и требует дальнейшего изучения её возможностей.

Список используемых источников

1. Козлов С. В., Вьюгов С. Г., Щукин А. В. Моделирование сетей передачи данных на основе пространств имен в операционную систему GNU/Linux // Информационные технологии моделирования и управления. 2021. Т. 126. № 4. С. 279–286.

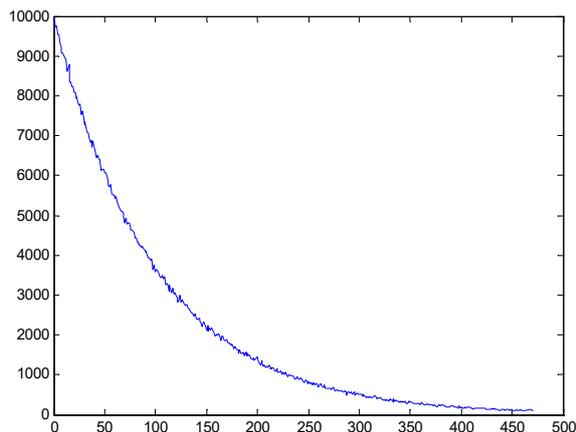


Рис. 2. Эмпирическое распределение частот случайных чисел

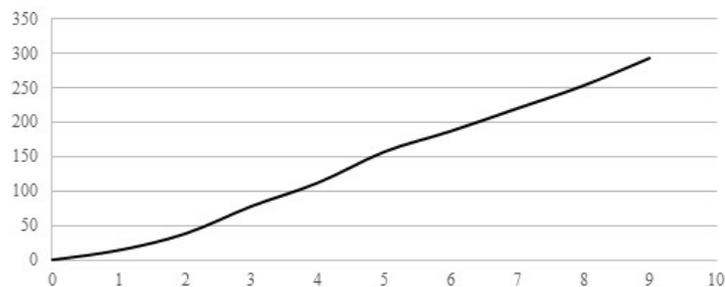


Рис. 3. График зависимости количества повторных запросов от количества виртуальных стеков между окончательными абонентами

2. Корнышев Ю. Н., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика. М. : Радио и связь, 1996. 272 с.

3. Кнут Д. Э. Искусство программирования: Получисленные алгоритмы. 3-е изд. : пер. с англ. М. : Вильямс, 2001. 832 с.

УДК 004.4
ГРНТИ 20.53.21

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

А. П. Гаврющенко¹, А. И. Куранда²

¹Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время значительная часть техники специальной связи смонтирована на автомобильной технике. Электропитание такой техники может осуществляться от дизельных или бензиновых генераторов. От исправности работы двигателей внутреннего сгорания таких устройств в значительной степени зависит выполнение задач по обеспечению связи. Предлагается автоматизировать процесс оценки исправности двигателей внутреннего сгорания путем использования процедуры оценки исправности по звуку, издаваемому работающим двигателем. В качестве устройства записи звука и обработки сигнала может использоваться смартфон или планшетный компьютер.

звуковые сигналы, цифровая обработка, распознавание звуковых сигналов.

Вопросы анализа звуковых сигналов являются актуальными для человечества уже несколько столетий. Всегда человек связывал те или иные звуки с процессами, воспроизводившими их, и пытался делать заключения о ситуации, при которой данный звук имел место.

Возможность цифровой обработки данных сигналов значительно расширила области использования результатов анализа, а также создало предпосылки для создания новых технологий в данном направлении.

Обзор направлений применения распознавания звуковых сигналов

Распознавание звуковых сигналов можно разделить на две большие группы: распознавание (аутентификация) звуков и распознавание речевых сигналов.

Из направления распознавание (аутентификация) звуков выделим наиболее востребованные и развивающиеся в настоящее время технологии в следующих областях.

Компьютерная криминалистика. Позволяет идентифицировать конкретные звуковые сигналы и подготовить доказательную базу для проведения объективного расследования происшествия (преступления).

Искусство. Позволяет идентифицировать подлинность записи музыкального произведения по правильности звучания звуков мелодии.

Медицина. При обследовании организма человека по характерным звукам, воспроизводимым различными органами, можно поставить первичный диагноз. А используя методы ультразвуковой диагностики, значительно уточнить первичный диагноз и получить дополнительные данные о состоянии здоровья конкретного субъекта.

В области информационной безопасности. Для осуществления аутентификации личности и ее авторизации на объекте автоматизации в качестве биометрических данных может использоваться фрагмент голоса субъекта.

В разведывательной деятельности (а также в криминальной). По звукам, издаваемым клавишами компьютерной клавиатуры, возможно восстановление содержания набранного текста.

В области помощи людям с ограниченными возможностями. Новая функция на iPhone для людей с слабым слухом. Искусственный интеллект может определять лай собаки или мяуканье кошки, звук дымовой или пожарной сигнализации, а также сирены, дверного звонка, кашля, младенца и так далее и оповестить владельца мобильного устройства.

Управление процессами. Технология «Умный дом», позволяющая значительно повысить комфорт проживания за счет возможности управления различными функциями с помощью отрезков речи. Управление с помощью речевых сигналов отдельными приборами в салоне автомобиля.

Системы акустического анализа состояния машин. По звуку, издаваемому работающим агрегатом (например, авиационным двигателем), возможно определить его состояние и заблаговременно диагностировать неисправности.

Для транспортных компаний последнее направление наиболее актуально. Перед выходом на маршрут каждое транспортное средство должно быть технически исправно, и прежде всего, должен быть исправен двигатель.

Оценка состояния двигателя внутреннего сгорания – это достаточно трудоемкий процесс. Существует много методик, часть из них требуют частичной разборки двигателя. В любом случае требуется комплекс сложных инструментов и приборов. Поэтому для оценки его состояния невозможно постоянно пользоваться услугами опытного мастера и использовать ресурс специализированной мастерской. Но любой водитель может воспользоваться смартфоном, который, используя определенную программу обработки звуковых сигналов, издаваемых работающим двигателем, сможет

оценить состояние двигателя и поставить предварительный диагноз: исправен или требует дополнительной диагностики и ремонта.

Существует несколько направлений решения данной задачи. Наиболее популярны следующие [2].

1) Аналоговый звуковой сигнал оцифровывается и побитно сравнивается с заложенными в памяти компьютера эталонными сигналами.

2) Используя преобразование Фурье, получают спектральные составляющие сигнала, которые сравнивают с эталонными, полученными в априори.

3) Использование искусственных нейронных сетей. На вход нейронной сети подается звуковой сигнал. Далее множество входных параметров подвергаются обработке, аналогичной классификации данных, после чего распознанная информация поступает на выход системы в соответствии с дальнейшими задачами.

Во всех случаях требуется исчерпывающая база звуковых сигналов. Чем она богаче, тем с большей вероятностью и точнее возможно определение неисправности данного двигателя.

Основные проблемы распознавания звуковых сигналов [2]:

1) Наличие посторонних звуков – помех; невозможно создать идеальную тишину при записи образца звука.

2) Наличие отраженных сигналов в двигателе, и их совокупность зависит от конкретного места записи звука.

3) Большое количество компонентов двигателя внутреннего сгорания издают звуки, и их следует выделять и различать.

В работе [2] предлагается решать данную задачу в широком смысле, т. е. применительно к любым автомобильным двигателям внутреннего сгорания, имеющим 4 цилиндра. Но для этого необходимо иметь весьма значительную базу эталонов сигналов и высокопроизводительное вычислительное устройство. Скорее всего это должен быть стационарный комплекс, использующий потенциал облачных вычислений.

В данной статье предлагается иной подход. Звуковой сигнал работы исправного (например, после диагностики) двигателя конкретного автомобиля записывается на мобильное устройство. Ограничив по частоте путем фильтрации, выполняется дискретное преобразование Фурье, причем усредняется на временном интервале. Спектр данного сигнала в дальнейшем (до следующей диагностики) сохраняется в качестве эталонного, с которым сравнивается спектр очередного текущего контроля исправности двигателя этого-же автомобиля. При допустимых отклонениях делается заключение, что двигатель автомобиля исправен, иначе – предлагается обратиться к специалистам и пройти дополнительную диагностику. Простота алгоритма позволяет реализовать данную процедуру с помощью андроид-приложения и мобильного гаджета.

Список используемых источников

1. Тампель И. Б., Карпов А. А. Автоматическое распознавание речи : учебное пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 138 с.

2. Мохаммед Салех К. М. Системный анализ акустических шумовых сигналов автомобильных двигателей для определения их технического состояния: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / Касем Муамар Мохаммед Салех. Курск, 2009. 144 с.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

**СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ
МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА
И СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СЕТЕВОГО КОНТРОЛЯ
ЗАЩИЩЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ
СЕТИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ
С СЕТЬЮ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ,
В УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОМПЬЮТЕРНОЙ АЗВЕДКИ**

А. Н. Григорчук¹, А. В. Глушко², Р. С. Знобищев², А. К. Сагдеев²

¹ Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматривается методика обоснования состава и структуры системы сетевого контроля защищенности элементов ИТКС ВН, которая позволяет и обосновать сокращение перечня ИП элементов ИТКС ВН в признаковом пространстве ССОП ЕСЭ РФ, обеспечивая сохранение заданного уровня информированности об объектах контроля и вероятности их распознавания.

защита информации, информационно-телекоммуникационная сеть, контроль, система связи.

В общем виде содержание методики представлено на рисунке (см. ниже).

В блоке 1 производится ввод исходных данных, в том числе в блоке 1.1 вводятся параметры ИТКС ВН, интегрированной с ССОП, количество средств контроля и временные показатели.

В блоке 1.2 формируется n -сегментов ССОП, входящих в зону ответственности общевоискового объединения. На сегменте ССОП определяются возможные варианты построения ИТКС ВН объединения, использующей ресурс ЕСЭ РФ.

В блоках 1.3 и 1.5 вводится перечень характеристик элементов (абонентов) ССОП и ИТКС ВН, являющимся как ДМП для ТКР так и ИП для ССК. Под перечнем характеристик элементов ССОП ЕСЭ РФ и ИТКС ВН понимается набор параметров, влияющих на обнаружение и вскрытие ССК (ТКР) элементов ССОП ЕСЭ РФ [1].

Учитывая тот факт, что при использовании ИТКС ВН ресурсов ССОП конкретные пользователи (абоненты) обладают индивидуальной «цифровой тенью» и «цифровым следом» [2], возникает необходимость формирования «паспортов признаков обстановки» (ППО) сегментов сети, входящих в зону ответственности общевоискового объединения, на которых планируется применение элементов ИТКС ВН. ППО отражает изменения значений характеристик в признаковом пространстве, т. е. «предысторию» изменения значений характеристик и позволяет определить, например, файловую активность на конкретном элементе ССОП ЕСЭ РФ, другими словами учитывать объем считанной и записанной информации на конкретном интервале времени [3].

В предлагаемой методике ППО будет использоваться при расчете информативности ИП элементов ИТКС ВН в признаковом пространстве элементов ССОП. Формирование ППО элементов n -сегментов ССОП ЕСЭ РФ происходит в блоке 1.4. В блоке 1.6 формируются эталонные технические, психофизические и структурно-потокосые значения ИП элементов (абонентов) ИТКС ВН.

В разрабатываемой методике эталонные значения ИП будут учитываться при идентификации элементов ИТКС ВН в признаковом пространстве элементов ССОП ЕСЭ РФ [4].

В блоке 1.7 задают критерии эффективности сетевого контроля защищенности элементов ИТКС ВН от ТКР.

В блоке 2 сокращают число значений ИП, коррелированных между собой, для предотвращения избыточности статистической информации.

В блоке 3 производится расчет коэффициента информативности $K_{инф}$ ИП элементов ИТКС ВН в признаковом пространстве ССОП ЕСЭ РФ.

В блоке 4 по критерию исключаются наименее информативные ИП.

В блоке 5 рассчитывается вес, значимость и вклад элементов ССОП ЕСЭ РФ.

В блоке 6 производится обнуление счетчика времени $t_{тек} = 0$.

В блоке 7 производится выставление счетчика количества средств контроля в начальное значение $m = 1$.

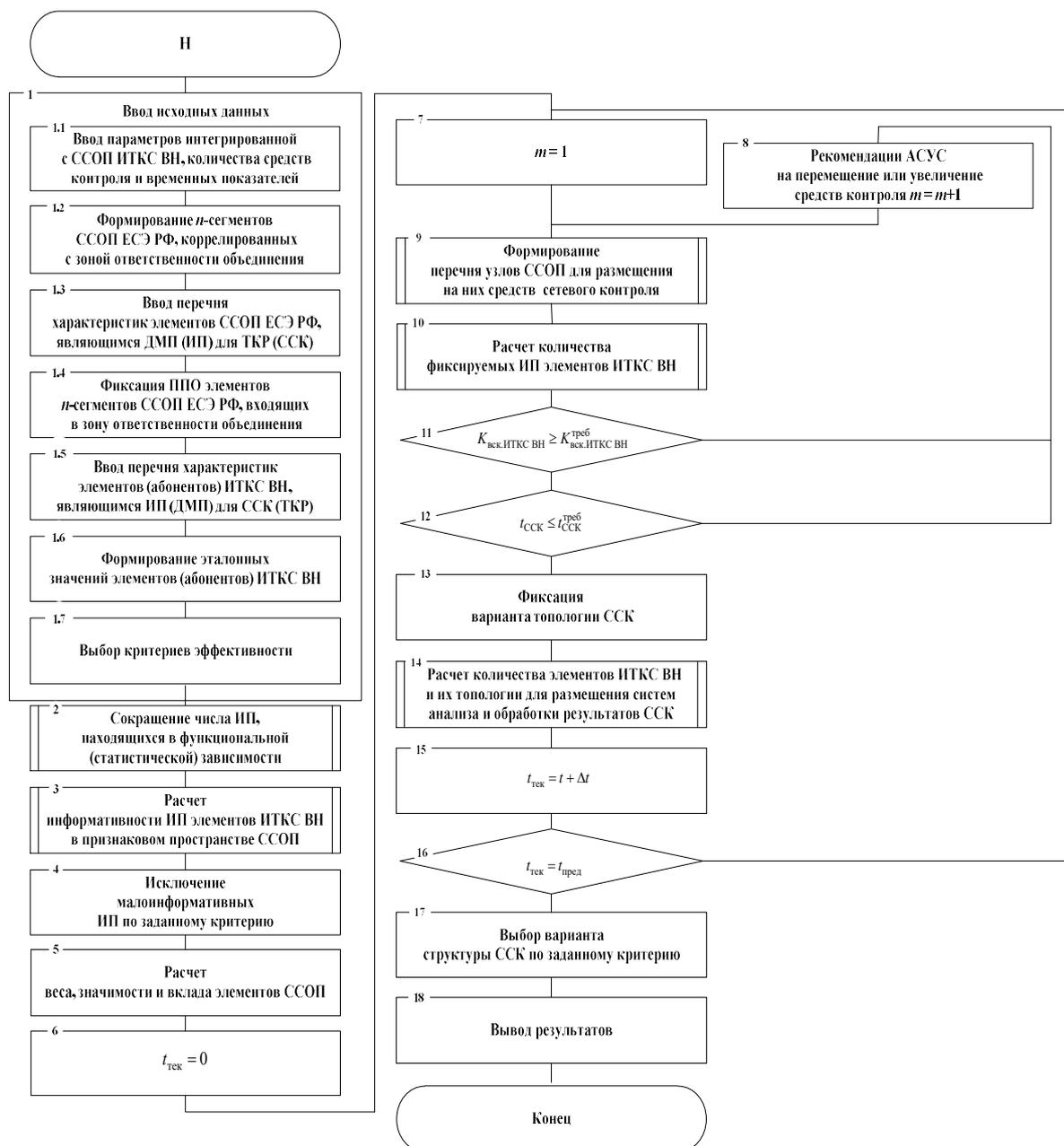


Рисунок. Обобщенная структурная схема методики формирования системы сетевого контроля защищенности элементов интегрированной ИТКС ВН

В блоке 9 формируется перечень узлов ССОП, имеющих высокие весовые коэффициенты, с целью размещения на них средств сетевого контроля и формируется вариант топологии ССК. При формировании перечня узлов учитывается возможность присутствия средств сетевого контроля на узлах ССОП. Данный показатель выражается через коэффициент $G_{ССК}$, который является результатом отношения количества узлов ССОП, на которых (допускается) юридически разрешено размещать средства сетевого контроля ИТКС ВН, к общему количеству узлов ССОП, выраженным в процентах.

В блоке 10 рассчитывается количество фиксируемых ИП элементов ИТКС ВН.

В блоке 11 сравнивается рассчитанный коэффициент вскрытия ИТКС ВН с требуемым коэффициентом вскрытия. Если полученные значения не менее требуемых значений, то управление передается в блок 12, где сравниваются значения реального времени сетевого контроля с требуемым значением времени сетевого контроля.

Если рассчитанный коэффициент вскрытия ИТКС ВН $K_{\text{вскр.ИТКС ВН}} \leq K_{\text{вскр.ИТКС ВН}}^{\text{треб}}$, то ССК посылаются рекомендации АСУС на перемещение или увеличение средств сетевого контроля на элементах сети связи (блок 8).

Если значения реального времени сетевого контроля менее требуемого значения времени сетевого контроля $t_{\text{ССК}} \geq t_{\text{ССК}}^{\text{треб}}$, то ССК посылаются рекомендации АСУС на увеличение средств сетевого контроля на элементах сети связи (блок 8), в противном случае, в блоке 13 фиксируется вариант размещения средств сетевого контроля на элементах сети связи [5].

В блоке 14 рассчитывается количество и местоположение узлов ИТКС ВН для размещения на них систем анализа и обработки результатов сетевого контроля. Расчет базируется на решении минисуммной задачи размещения элементов, смысл которой заключается в том, что сумма взвешенных кратчайших расстояний от узлов ИТКС ВН до средств сетевого контроля, размещенных на узлах ССОП принимает минимально возможные значения.

Учитывая изменение оперативной обстановки и режимов функционирования сети связи, в течение заданного времени моделирования $T_{\text{мод}}$ образуются несколько вариантов размещения средств сетевого контроля на элементах сети связи [6]. Выбор оптимального варианта структуры ССК по заданным критериям происходит в блоке 17.

В блоке 18 выводятся выходные результаты методики.

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. Назарова В. А., Самаркин Д. С. Методика оценки показателей защищенности испытательного комплекса на канальном и сетевом уровнях // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020). IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. Санкт-Петербург, 2020. С. 188–192.

3. Дробяскин А. Н., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Янбулатова К. И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // 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. 125–129.

4. Новак А. В., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суяндуклова 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.

5. 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. Естественные и технические науки. 2021. № 2. С. 77–84.

6. 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.

УДК 623.61
ГРНТИ 78.21.49

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ГИБРИДНЫХ ВОЙНАХ

Д. Н. Гонтарь¹, Д. В. Петрунин¹, И. Г. Стахеев², О. В. Титова²

¹Южный федеральный университет

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье проведен анализ процессов становления одного из основных типов робототехнических комплексов военного назначения, а именно беспилотных летательных аппаратов, как средства противоборства в современных вооруженных конфликтах. Рассмотрены особенности одиночного и группового использования робототехнических комплексов военного назначения, в том числе с основанного на роевых технологиях. Проведен анализ основных постулатов и принципов ведения гибридных войн, по результатам которого сформированы возможные способы применения робототехнических комплексов военного назначения. Определено, что комплекс может быть использован не только для выполнения боевых и обеспечивающих задач, но и для нанесения экономического ущерба, путем уничтожения (повреждения) объектов инфраструктуры, реализации различных форм невоенного насилия.

беспилотный летательный аппарат, гибридная война, рой БПЛА.

На фоне меняющихся парадигм международной безопасности угроза гибридной войны многократно возросла. Современная гибридная война

включает в себя использование роботизированных систем различного базирования и это стало новой нормой между враждующими группировками [1].

Военный конфликт между Арменией и Азербайджаном, в котором развертывание беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) оказалось стратегически выгодным для азербайджанских сил, еще раз подтверждает необходимость использования БПЛА в будущем. Фактически, вооруженные силы Азербайджана использовали их в качестве барражирующих боеприпасов для поражения бронированных наземных целей, включая танки Т-72 и системы противовоздушной обороны (ПВО) С-300. Нехватка высокотехнологичного вооружения в вооруженных силах Армении оказалась пагубной, поскольку отсутствие соответствующих технологий для уничтожения или вывода из строя БПЛА поставило их в тупик [2].

В Южной Азии во время вооруженного конфликта между Индией и Китаем из-за региона Аксайчин на границе Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР. Китай пытался оказать давление на Индию, демонстрируя маневры роя БПЛА из 200 единиц в восточном Ладакхе. С целью принуждения руководства Индии к ведению переговоров о спорной территории и принятия условий руководства Китая. Одновременно в китайских СМИ «Хуаньцю шибао» (он же «Глобал таймс») выпустил видеоролики, показывающие рой беспилотников в количестве 200 единиц, используемых в качестве барражирующих боеприпасов.

В это же время Пакистанская военная хунта после того, как не смогла традиционными способами доставить в лагерь террористических групп оружие и боеприпасы, прибегла к другим методам – применение БПЛА для транспортировки боеприпасов и оружия в назначенные места на территории Кашмирской долины. Также руководство Пакистанской военной хунты используют БПЛА для разведки и наблюдения за наземными объектами.

В целях противодействия китайскому информационному противоборству Индийские вооруженные силы впервые продемонстрировали полет группы БПЛА из 75 дронов, выполняющих различные маневры во время военного парада, посвященного 73-го годовщине Дня республики. Это был ответный сигнал Китаю и Пакистану, что у вооруженных сил Индии тоже есть возможности и современные военные технологии.

В общем случае беспилотный летательный аппарат представляет собой летательный аппарат, не имеющий экипажа на борту. В настоящее время наиболее многочисленный класс БПЛА представляют собой дистанционно управляемые системы, как правило имеющие в своем составе модули полезной нагрузки (средства ретрансляции связи, воздушной разведки, радиоэлектронной борьбы и др.). Также большинство современных БПЛА оснащены системами навигации, управления, связи с наземными пунктами управления и передачи данных. Вместе с тем, описанный выше класс БПЛА

имеет ряд характерных уязвимостей типовых систем, описанный коллективом авторов в работе [3].

На современном этапе БПЛА применяются одиночно. Групповое применение БПЛА связано с высокой степенью автономности и на современном этапе развития технологий реализовано пока только в экспериментальных системах [4]. Тем не менее, уже широко применение термин «рой» БПЛА, означающий использование группы БПЛА под управлением одного или нескольких операторов. Оценка применения роя БПЛА в военных конфликтах во многом прогнозируется военными специалистами как оружие массового поражения [5]. Группы БПЛА, которые способны адаптироваться к различным изменениям обстановки часто называют самоорганизующимися. БПЛА, входящие в состав таких групп, могут изменять свое поведение в зависимости от информации, поступающих от других БПЛА [6].

Необходимо отметить, что концепция применения беспилотников в военных конфликтах не нова. Пролетав назад страницы истории, становится очевидным, что различные армии использовали прототипы современных БПЛА на полях сражений и раньше, чтобы обеспечить себе информационное превосходство над своими противниками. Например, в 1849 году австрийские войска использовали в качестве беспилотных летательных аппаратов воздушные шары для сброса бомб в осажденный г. Виченца, но большинство из них не попали в цель из-за меняющегося направления ветра. Также во время Первой мировой войны был разработан вариант БПЛА, широко известный как управляемая авиационная бомба.

Вооруженные силы США также предпринимали попытки использовать БПЛА для нанесения ударов по торговым кораблям Японии. Кроме того, они разместили 46 БПЛА на Соломоновых островах. Поразить цели смогли лишь некоторые БПЛА, в результате чего они были признаны неэффективными. Во время войны во Вьетнаме американские силы эффективно использовали беспилотные летательные аппараты для разведки.

Одним из важных событий в истории становления военной робототехники, является победа Израиля над Сирией в «Шестидневной войне». В данном военном конфликте БПЛА применялись для решения широкого перечня обеспечивающих задач: повышение ситуационной осведомленности пилотируемой авиации стало возможным благодаря совместным действиям с разведывательными БПЛА; разведка радиолокационных средств противника; размножение боевых порядков самолетов при проведении воздушно-наступательной операции.

С тех пор страны по всему миру инициировали крупные программы по разработке различных БПЛА гражданского и военного назначения. Условно их можно разделить на пять категорий, а именно: нано (до 250 г), микро (от 250 г до 2 кг), малые (от 2 до 25 кг), средние (от 25 до 150 кг) и большие (более 150 кг). Согласно имеющимся во всем мире данным,

в настоящее время насчитывается около 70 стран, которые либо разработали свои собственные технологии, либо приобрели их у других стран, в целях производства БПЛА.

Сегодня понятие «гибридная война» отражает существенные изменения характера современных войн, которые отличаются разноплановостью, а военные действия в случае конфликта с высокотехнологичным противником будут вестись как в уже привычных средах – на суше, в море и воздухе, так и в новых сферах – космической и кибернетической. Также важная характеристика современных войн – многомерность, которая предполагает сочетание информационного, военного, финансового, экономического и дипломатического воздействия на противника в реальном времени. В гибридной войне по-иному проявляют себя факторы трения и износа войны, что требует их учета при разработке стратегий современных конфликтов.

Свойством многомерности в полной мере обладают гибридные военные конфликты неклассического характера с участием в боевых действиях вооруженных формирований негосударственных субъектов, в числе которых международный терроризм, частные военные компании, для которых характерна размытая национальная и идеологическая принадлежность.

Меняется соотношение военных и невоенных способов действий, к которым прибегают стороны конфликтов. К невоенным средствам насилия в гибридной войне относятся традиционная и публичная дипломатия, правовые экономические, идеолого-психологические, информационные, гуманитарные, разведывательные, технологические и некоторые другие инструменты воздействия. Правильно выбранная стратегия позволяет достичь кумулятивного, системного эффекта от применения совокупности всех этих средств. Важную роль приобретают стратегические психологические мероприятия, направленные на обеспечение поддержки и сотрудничества с дружественными и нейтральными странами, а также на ослабление воли к ведению войны и потенциала враждебных государств.

Еще большее влияние оказывает множественное применение высокотехнологичных, а, следовательно, очень дорогих, которые не каждому государству «по карману», робототехнических комплексов.

Роевые нано- и микро-БПЛА, объединенные в робототехнический комплекс, практически не заметный при помощи современных средств ПВО, могут сыграть ключевую роль при физическом уничтожении любого индустриального либо экономически важного объекта.

Также робототехнические комплексы могут принимать участие и в невоенном насилии в гибридной войне, таким как идеолого-психологическим, информационным, гуманитарным, разведывательным, технологическим и некоторым другие инструментам воздействия.

Таким образом, текущий сценарий развития робототехнических комплексов предусматривает растущую угрозу применение их как одним из действенных средств достижения целей гибридной войны.

Список используемых источников

1. Макаренко С. И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73–132. DOI 10.24411/2410-9916-2016-10204.
2. Афонин И. Е., Макаренко С. И., Петров С. В., Привалов А. А. Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 163–191. DOI 10.24411/2410-9916-2020-10406.
3. Гонтарь Д. Н., Шибанов В. Е., Петрунин Д. В. Определение и анализ уязвимостей робототехнических комплексов военного назначения // Альманах мировой науки. 2018. № 6 (26). С. 17–19.
4. Пшихопов В. Х., Гайдук А. Р., Медведев М. Ю. [и др.] Концепция формирования оперативной группы РТК // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 1 (211). С. 6–16. DOI 10.18522/2311-3103-2020-1-6-16.
5. Рой дронов – новое оружие массового поражения? URL: <http://robotrends.ru/pub/2024/roy-dronov---novoe-oruzhie-massovogo-pokoleniya> (дата обращения: 23.11.2016).
6. Пшихопов В. Х., Медведев М. Ю. Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // Труды СПИИРАН. 2018. № 5 (60). С. 39–63. DOI 10.15622/sp.60.2.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЛНЫ ДЛЯ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

А. Н. Григорчук¹, С. Л. Добровольский²,
А. И. Куранда², А. К. Сагдеев²

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Атмосферная оптическая линия связи – технология двусторонней передачи информации с использованием световых лучей, распространяемых в атмосфере для передачи оптических сигналов. Данная система позволяет осуществить передачу голоса, видео и данных широкополосными сигналами с применением лазерного луча. Обязатель-

ным условием является прямая видимость между точками доступа в воздушном пространстве. Такая технология является аналогом проводной оптической связи, осуществляемой по волоконно-оптическим линиям связи. Модули АОЛС могут быть подключены к локальной вычислительной сети, как с помощью оптического волокна, так и с помощью медного кабеля, отвечающих стандартам TIA и EIA. Система АОЛС может применяться для передачи через сеть Интернет любой информации, в том числе речи, данных и видеoinформации.

длина волны, АОЛС, лазеры, спектр, детекторы, датчики.

Крайне важным вопросом для канала передачи данных по атмосферной оптической линии связи¹ (АОЛС) является выбор длины волны передачи и приема. В современных коммерческих системах АОЛС используют в спектры 780–850 и 1 520–1 600 нм. Для определения диапазонов длин волн, необходимо учитывать требования к параметрам самой АОЛС, таким как, дальность передачи, безопасность для человека, скорость модуляции, стоимость и т. п. [1].

Наиболее важным ограничением уровня оптической мощности, излучаемой передатчиком АОЛС, является максимальное снижение негативных влияний на безопасность человека, в частности воздействие на сетчатку глаза.

Более безопасными являются лазеры с длинами волн от 1550 до 10000 нм. Это обусловлено тем, что инфракрасное излучение с длиной волны выше 1400 нм поглощается прозрачными частями человеческого глаза, не оказывая негативных воздействий на сетчатку. Благодаря этому максимально допустимая экспозиция (MPE) для этих длин волн выше, чем для более коротких [1].

Международная электротехническая комиссия (IEC) классифицирует лазеры на четыре категории, в зависимости от мощности луча, длины волны и возможных угроз безопасности. В большинстве систем АОЛС используются лазеры класса 1 и класса 1M. Например, система АОЛС, работающая на длине волны 1 500 нм, может передавать световой луч с мощностью в 50 раз большей по сравнению с системой, работающая в диапазоне более коротких длин волн. Это позволяет распространять излучение на большие расстояния в условиях пониженной видимости (например, в случае плохой погоды) и поддерживать более высокие скорости передачи данных [3].

В диапазоне NIR (ближний инфракрасный диапазон 780÷850 нм) промышленность выпускает большое количество надежных, недорогих, высокопроизводительных оптоэлектронных устройств. Лазеры и детекторы данного диапазона легко доступны и широко используются в передающем оборудовании АОЛС. Для работы на этой длине волны используются современные вертикально-излучающие лазеры VCSEL и кремниевые фотодиоды.

¹ В англоязычной литературе Free Space Optics (FSO)

Обычно Si-детекторы имеют максимум своей спектральной чувствительности на 850 нм, что делает их очень эффективными инструментами в сочетании с VCSEL. Кремниевые детекторы позволяют системам АОЛС работать с очень высокой пропускной способностью – до 10 Гбит / с. [2]

Диапазон SWIR (коротковолновый инфракрасный спектр, 1 520–1 600 нм) также очень хорошо применим для линий АОЛС. При этом, в качестве источников излучения используют Fabry-Perot лазеры с распределенной обратной связью (DFB) на основе полупроводниковой технологии InGaAs/InP. В приемнике, в качестве детектора, не редко используются InGaAs, которые основаны на технологии PIN или APD и оптимизированы для работы на длине волны 1310 или 1550 нм, обеспечивая при этом скорость передачи данных 10 Гбит/с [3].

Системы АОЛС диапазона LWIR (длинноволновой спектральный диапазон, от 8 000 до 15 000 нм), несмотря на то, что они более дорогие и сложные в изготовлении, обладают целым рядом преимуществ. Так, в данном спектральном диапазоне, по сравнению с другими инфракрасными диапазонами, существенно уменьшается поглощение и рассеивание луча в условиях тумана. Вихревая неоднородность атмосферы оказывает меньшее влияние на передачу. Отмечается уменьшение влияние солнечного излучения (29 дБ) на длине волны 10 мкм по сравнению с длиной волны 1 550 нм. В этом спектральном диапазоне широкое распространение получили квантовые каскадные лазеры (ККЛ). Они представляют собой компактные мощные полупроводниковые лазеры с частотными характеристиками, приближенными к 100 ГГц и являются важными инструментами для построения систем связи. В случае конструкции приемника АОЛС применяется детектор МСТ, характеризующийся сверхвысокой обнаруживающей способностью и полосой пропускания сигнала [4].

Таким образом, в системах АОЛС используются три различных спектра оптического излучения – ближний (NIR), коротковолновый (SWIR) и длинноволновой (LWIR). Конструктивно они отличаются источниками и детекторами излучения. Эти оптоэлектронные элементы характеризуются параметрами, зависящими от длины волны и скорости передачи данных. Также, при анализе конструкции системы АОЛС, необходимо учитывать зависимость пропускания света атмосферой от рабочих спектров. На рис. 1(а) приведен график зависимости полного затухания сигнала при низкой видимости на длинах волн 780, 850 и 1 550 нм. Эти длины волн соответствуют рабочим спектральным диапазонам существующих систем АОЛС. Видно, что при длине волны 1 550 нм общее затухание ниже, чем на других длинах волн. Следовательно, в пасмурные дни для уменьшения ослабления луча, следует использовать систему SWIR-АОЛС. На рис. 1(б) показано, что ослабление излучения увеличивается с увеличением дальности связи. Так, для длины волны излучения 1 550 нм скорость роста ниже, чем для других.

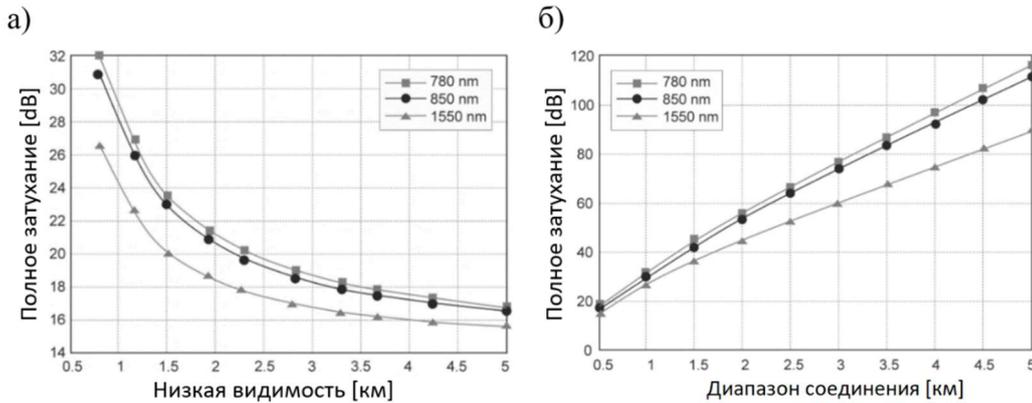


Рис. 1. Общее затухание в сравнении со средней видимостью (а); и общее затухание в зависимости от дальности связи (б)

Необходимо учитывать определенное ослабление сигналов в атмосфере в зависимости от количества осадков (рис. 2). При этом дождь не имеет сильного спектрального влияния. Капли дождя имеют больший размер по сравнению с длинами волн лазера, что приводит к минимальному рассеянию светового луча [5].

В настоящее время наблюдается динамичное развитие систем LWIR-АОЛС. Но в основном эти работы выполняются на уровне лабораторных экспериментов. На рис. 3 представлено сравнение ослабления излучения LWIR с полученным для других диапазонов для разных значений видимости. Показано, что диапазон LWIR отличается лучшей передачей в широком диапазоне видимости.

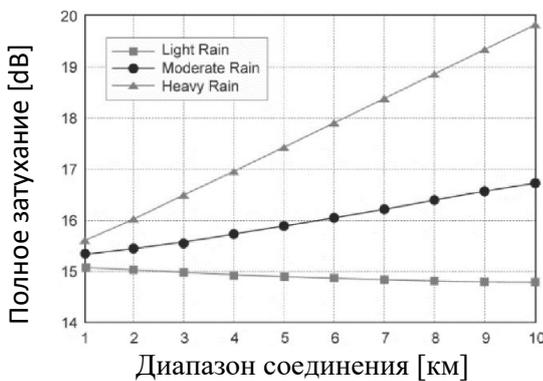


Рис. 2. Полное затухание в зависимости от дальности связи для разных уровней дождя

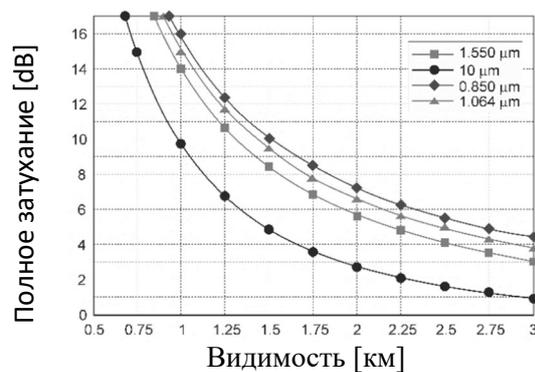


Рис. 3. Ослабление излучения в зависимости от видимости

На рис. 4 (а) показаны потери передачи для четырех линий с разной длиной волны как функция времени.

В ходе проведенных экспериментов наблюдалось значительное уменьшение пропускания для трех более коротких длин волн в дневное время. В то же время было зарегистрировано увеличение концентрации водяного

пара. Аналогичные эксперименты были выполнены для различных концентраций паров масла. В этой ситуации LWIR-излучение также характеризуется наименьшим затуханием (рис. 4 (б)) [6].

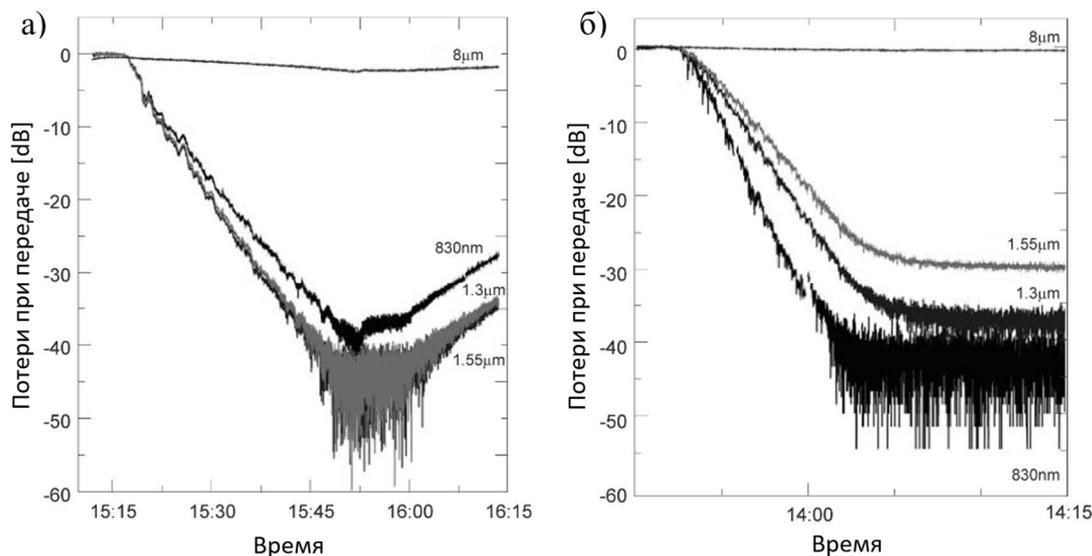


Рис. 4. Потери при передаче для четырех различных длин волн линий АОЛС: как функция времени, в течение которого концентрация водяного пара увеличивалась (а); как функция повышенной концентрации паров масла (б)

Список используемых источников

1. Sadiku M. N. O. Оптическая связь в свободном пространстве: обзор // Европейский научный журнал. 2016.12 (9).
2. Kazaura K. Исследования технологий доступа следующего поколения с использованием радио по оптическим каналам в свободном пространстве // 2-я Международная конференция по мобильным приложениям, сервисам и технологиям нового поколения – презентация. 2008.
3. Arnon S. Оптическая беспроводная связь // Энциклопедия оптической инженерии. 2003.
4. Bouchet O. и др. Оптика свободного пространства: распространение и связь. Книга, Wiley-ISTE. 2010.
5. Alkholidi A.G., Altowij K.S. Оптическая связь в свободном пространстве – теория и практика. 2014.
6. Manor H., Arnon S. Характеристики оптической системы беспроводной связи в зависимости от длины волны // Прикладная оптика. 2003.42 (21), С. 4285–4294.

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

ПРОБЛЕМА ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С СЕТЬЮ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАЗВЕДКИ

А. Н. Григорчук¹, С. Л. Добровольский²,
А. И. Куранда², Д. С. Самаркин²

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются вопросы, направленные на совершенствование путей интеграции информационно-телекоммуникационной сети военного назначения с сетью связи общего пользования, с учетом возможности противника по ведению технической компьютерной разведки на оборудовании доверенного оператора.

защита информации, информационно-телекоммуникационная сеть, сеть связи общего пользования, доверенный оператор.

В рамках реорганизации ВС РФ, планового сокращения линейных подразделений связи генеральной линией построения и совершенствования системы военной связи, как неотъемлемой части системы управления войсками (СУВ), становится переход к новой форме организации сети связи за счет цифровизации и интеграции с Единой сетью электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ). Проводимая реорганизация, несомненно, должна опираться на нормативно-правовую базу, которая будет определяет порядок ее безопасного и надежного функционирования, защищенного от разведывательных воздействий. Основные положения Концепции военно-политического руководства РФ в области связи и обеспечения информационной безопасности (ИБ) на территории РФ отражены в Федеральных законах «О связи», «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», «О безопасности», «О государственной тайне», Стратегии национальной безопасности РФ до 2030 года, Военной доктрине РФ, Доктрине ИБ РФ, Концепции информационной безопасности ВС РФ, Концепции информационного противоборства ВС РФ, решениях Совета Безопасности РФ, Постановлениях Правительства, ведомственных нормативных актах, организационно-распорядительных и методических материалах.

ЕСЭ РФ состоит из расположенных на территории России сетей электросвязи следующих категорий:

- сеть связи общего пользования (ССОП);
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи, подключенные к сети связи общего пользования;
- сети связи специального назначения (СССН) и другие сети связи для передачи информации с использованием электромагнитных систем [1].

В РФ применялась трехуровневая структура сети связи общего пользования, которая включает в себя: местные телефонные сети, зональные телефонные сети, сети междугородней и международной телефонной связи [2].

В структуру сети связи общего пользования входят системы телефонной, телеграфной, факсимильной связи, передачи данных, передачи газет, распределения программ звукового вещания, распределения программ телевизионного вещания.

ССОП присоединена к сетям связи общего пользования иностранных государств.

СССН предназначены для нужд государственного управления, обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка.

Использование ресурсов операторов связи ЕСЭ РФ предполагается осуществлять через операторов связи, отвечающих лицензионным требованиям Минобороны России, Минкомсвязи России и ФСБ России [3].

В настоящее время основными операторами на сети ЕСЭ РФ в Северо-Западном регионе являются: ОАО «Ростелеком», ЗАО «Компания ТрансТелеком», ОАО «МегаФон». Сети российских операторов не ограничиваются территорией РФ, а простираются далеко за ее границы.

Информационно-телекоммуникационная сеть – технологическая система, предназначенная для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники.

Под интегрированной ИТКС ВН понимается технологическая система, представляющая из себя совокупность процессов электросвязи, устройств, сетей и служб СССР и ССОП. Предназначением данной системы является передача по линиям связи информации в интересах обороны страны и безопасности государства, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники.

ИТКС ВН военного округа (ВО) является СССР ЕСЭ РФ и базируется на ресурсах операторов связи ЕСЭ России и собственных сетях связи МО РФ: ресурсах Единой сети спутниковой связи, Единой сети радиосвязи МО РФ, структурированных кабельных и беспроводных сетях доступа пунктов управления органов военного управления (ОВУ).

ИТКС ВН ВО представляет собой совокупность линий и каналов связи стационарного компонента ИТКС ВН, а также сетей связи объединений, соединений и частей непосредственного подчинения, взаимоувязанную с сетями связи объединений, соединений и частей видов и родов войск, дислоцирующихся на территории ВО.

Система управления войсками (СУВ) военного округа (ВО) является составной частью системы управления ВС РФ и представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных между собой ОВУ, пунктов управления (ПУ) и технической основы системы управления.

Интеграция и глобализация инфотелекоммуникационных систем не позволяют использовать традиционную концепцию контролируемых зон, а также корректно определять границу внешней среды объекта сети связи. ИТКС ВН вынуждена функционировать на оборудовании, протоколах, базах данных, алгоритмах и технологиях крупнейших иностранных фирм, занимающих две трети российского рынка телекоммуникационного оборудования, что в свою очередь, делает ИТКС ВН более открытой [4].

Существующая система сертификации и тестирования оборудования на пригодность к использованию в военных сетях связи не позволяет в полной мере быть уверенными в том, что «закладки» в закупаемом оборудовании выявлены в полном объеме. Оборудование, закупаемое для ЕСЭ РФ, вообще не подвергается такого рода проверкам и сертификации.

Естественным, в этих условиях, является рост количества угроз ИБ ИТКС ВН.

В сложившейся ситуации, все большую роль в системе ИТР приобретает подсистема технической компьютерной разведки, которая, может выявлять элементы СУВ, состав ИТКС ВН, ее структуру, протоколы, элементы системы защиты и т. д. В условиях, в качестве основного фактора, который определяет успех выполнения операции, выступает направленное воздействие на элементы ИТКС ВН, в том числе и на оконечные мультимедийные терминалы ДЛ ОВУ, в чьи должностные обязанности входит анализ больших объемов информации и подготовка данных для принятия решений в процессе функционирования СУВ.

В связи с изменившимися условиями и переходом ВС РФ к новому облику, развитие ИТКС ВН строиться на единых стандартах, унифицированных программируемых аппаратных средствах, технологиях с единым управлением и системой комплексной информационной безопасности, адаптированной к изменяемым условиям структуры, на основе программно-управляемой коммутации, единой системы адресования, идентификации, аутентификации, авторизации и синхронизации, что позволит обеспечить [5]:

- создание линейных трактов между узлами связи (УС) ПУ и на линиях привязки к узлам доступа ССОП;

- сопряжение с оборудованием цифровых систем передачи ССОП;
- коммутацию и маршрутизацию цифровых потоков;
- организацию служб:
 - передачи данных с коммутацией пакетов (протокол IPv4);
 - передачи речевой информации (в том числе режимной связи) с использованием пакетной передачи данных (VoIP телефония с использованием протокола SIP);
 - электронной почты и файлового обмена для пользователей локальных вычислительных сетей (ЛВС) ПУ в интересах электронного документооборота;
 - технологического управления оборудованием комплексов, входящих в состав УС МО, а также взаимодействующим с ним телекоммуникационным оборудованием первичной сети связи.

Таким образом, сложившиеся тенденции развития ИТКС ВН, использование сетевых ресурсов ЕСЭ РФ, новые требования к перечню и качеству предоставляемых услуг связи и информационного обеспечения свидетельствуют о необходимости качественного нового подхода по обеспечению защищенности элементов сети связи от ТКР и ДПВ.

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 научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.
2. Дробяскин А. Н., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Янбулатова К. И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 125–129.
3. Новак А. В., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А. Методика мониторинга информационно-телекоммуникационной сети военного назначения во время технологической 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. 746 с. С. 367–370.
4. Анисимов В. В., Величко В. М., Чукариков А. Г. Постановка задачи на обеспечение превентивной защиты ИТКС СН // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб. : СПбГУТ, 2016. С. 91–95.
5. Гордийчук Р. В., Суюндукова А. А. Создание мониторинга и радиоконтроля информационной безопасности испытаний // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019). VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции : сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2019. С. 185–190.

*Статью представил доцент кафедры РРТСС ВУЦ СПбГУТ,
кандидат технических наук, подполковник А. К. Сагдеев.*

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАЗВЕДКИ И ДЕСТРУКТИВНЫХ ПРОГРАММНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. Н. Григорчук¹, С. Л. Добровольский²,
А. И. Куранда², Е. Н. Сидоренко²

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются методы и способы технической компьютерной разведки, объекты, подверженные ее воздействию. Предложена классификация методов и способов технической компьютерной разведки.

техническая компьютерная разведка, деструктивные воздействия, информационно-телекоммуникационная система военного назначения.

Неоспоримым фактом является то, что информационно-телекоммуникационная система военного назначения (ИТКС ВН) интегрирована с системой связи общего пользования, это диктует возможность вскрытия и распознавания технической компьютерной разведки противника элементов ИТКС ВН, а также возможности воздействия программными средствами через ССОП на оконечные мультимедийные терминалы ДЛ ОВУ, специализированные аппаратно-программные средства и средства автоматизации управления, расположенные на ПУ и УС [1].

Помимо разведывательных служб и служб безопасности ТКР ведет множество научных организаций, образовательных учреждений, исследовательских центров и коммерческих организаций, имеющих двойное предназначение.

По месту ведения техническую компьютерную разведку можно разделить на:

- в открытых информационных сетях;
- в автоматизированных системах, содержащих информацию ограниченного доступа;
- в системах связи и передачи данных ИТКС.

По задачам добываемой информации техническую компьютерную разведку можно разделить на следующие информационные подсистемы [2]:

- об экономическом, военно-техническом, научно-технологическом потенциале России;

- о конкретных объектах, территориях, видах деятельности и должностных лицах, необходимые для разработки иностранными государствами контрмер;

- о составе, структуре, и содержании ИР России, необходимые для планирования задач ТКР и проведения информационных операций, направленных на проведение контрмер;

- о составе, структуре, характеристиках и настройках программно-технических и программно-аппаратных средств объектов информационной инфраструктуры (ИИ), необходимых для разработки методов и средств ТКР, ее организации и осуществления;

- об ИИ России, необходимой для планирования, разработки методов и средств достижения информационного превосходства над Россией (направленных на поражение объектов ИИ России и на защиту собственных объектов ИИ).

В качестве источников для добычи информации технической компьютерной разведки выделяют:

- ИР (электронные документы, электронные базы и банки данных) автоматизированных информационных систем;

- информационные потоки в ИТКС;

- характеристики ИТКС, в том числе программных средств (ПС) обеспечения технологий хранения, параметры функционирования и принципы обеспечения безопасности отдельных ЭВМ и компьютерных сетей;

- адреса и другие индивидуальные характеристики пользователей ИТКС.

В качестве объектов, которые подвергаются технической компьютерной разведке, можно выделить [3]:

- технические и программные средства ИТКС, в том числе и военного назначения;

- базы данных, содержащие защищаемую пользовательскую и технологическую информацию;

- системы обеспечения ИБ.

С использованием технических и ПС ТКР осуществляется обнаружение, регистрация, анализ, обобщение следующих данных и соответствующих им ДМП:

- содержание электронных документов образующих ИР;

- статистические характеристики трафика ИТКС;

- функциональные и технические характеристики объектов ИИ;

- функциональные характеристики аппаратных, программно-аппаратных и программных средств, ЭВМ, ИТКС, реализующих технологии хранения, обработки и передачи электронных документов и сообщений;

- информация о пользователях и абонентах ИТКС.

Наиболее перспективной технологией ведения ТКР на территории России является беспроводное подключение к средствам ИТКС, обслуживающим беспроводную сеть [4].

Типовая схема ведения ТКР, представленная на рис. 1, включает в себя следующие этапы:



Рис. 1. Схема ведения технической компьютерной разведки

По принципам построения программно-аппаратных комплексов, каналам распространения информации и функциональному предназначению предлагается классификация, представленная на рис. 2 [5].

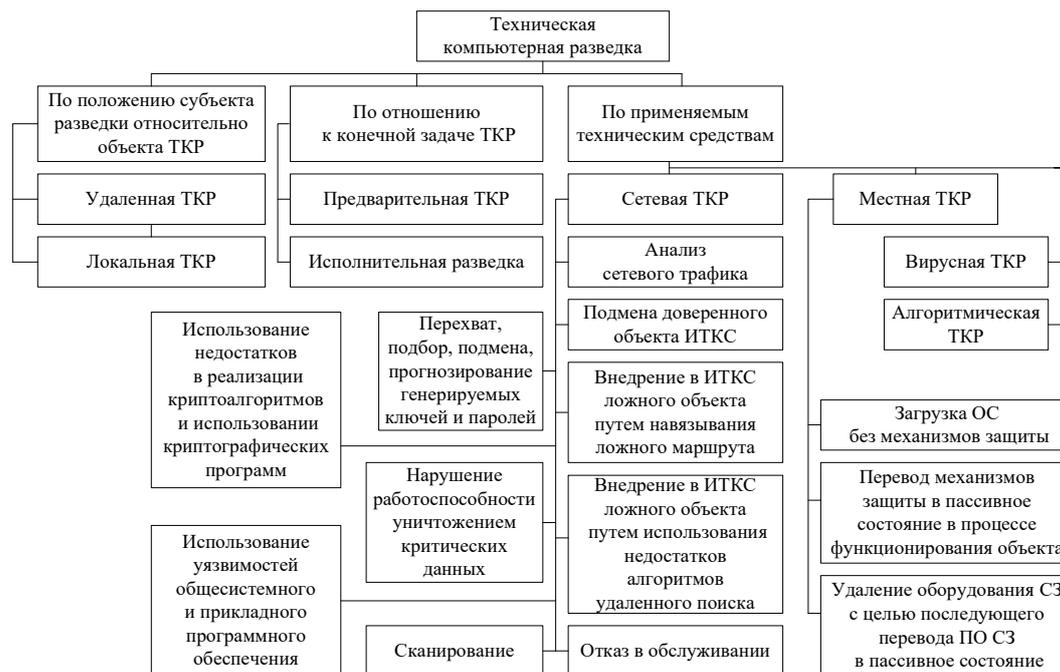


Рис. 2. Классификация способов технической компьютерной разведки

Виды технических компьютерных разведок по способу добываемой информации представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Виды ТКР по способу добываемой информации

Вид ТКР	Способ воздействия
<i>Смысловая ТКР</i>	Обеспечивает добывание фактической и смысло-слогово-буквенной информации путем поиска, сбора и исследования структурированной и слабоструктурированной информации из общедоступных ресурсов или закрытых источников, а также путем смысловой (аналитической) обработки полученных и накопленных баз данных и знаний.
<i>Закладочная ТКР</i>	Использует программно-аппаратные закладки и скрытые возможности программно-аппаратных систем с целью доступа к данным путем использования заранее внедренных изготовителем программно-аппаратных закладок, ошибок и скрытых возможностей компьютерных систем и сетей.
<i>Вирусная ТКР</i>	Обеспечивает доступ к данным за счет внедрения и использования вредоносных программ в уже работающие программные комплексы и системы для перехвата управления компьютерными системами [6].
<i>Физическая ТКР</i>	Обеспечивает доступ к информации на основе несанкционированного доступа (НСД), а также реализации НСД при физическом доступе к похищенным компьютерам или машинным носителям информации.

Вид ТКР	Способ воздействия
<i>Сетевая ТКР</i>	Обеспечивает доступ к данным из компьютерных сетей, за счет реализации контроля сети, проверки и обработки уязвимостей сетевых ресурсов и последующего удаленного доступа к информации [7].
<i>Трафиковая ТКР</i>	Обеспечивает добывание информации путем перехвата, обработки и исследования сетевого трафика и определения структур компьютерных сетей и их технических параметров, действующая по принципу радиотехнической разведки.
<i>Аппаратная ТКР</i>	Обеспечивает добывание информации путем обработки сведений, полученных от аппаратуры, оборудования, модулей и их исследования.
<i>Обрабатывающая ТКР</i>	Обеспечивает добывание информации и данных путем обработки, фильтрации, декодирования и других преобразований форматов представления, передачи и хранения добытых данных.
<i>Пользовательская ТКР</i>	обеспечивает добывание информации о пользователях, их деятельности и интересах на основе определения их сетевых адресов, местоположения, организационной и ведомственной принадлежности, исследования их переписки и адресной книги, а также путем обеспечения им доступа к сведениям, содержащим вредоносные продукты, путем привлечения к сайтам, содержащим вредоносное программное обеспечение.

Список используемых источников

1. Величко В. М., Сидоренко Е. Н., Суондукова А. А. Способы и средства ведения технической компьютерной разведки // Наука и образование: проблемы и стратегии развития. 2017. Т. 2. № 1 (3). С. 16–17.

2. Величко В. М., Сидоренко Е. Н., Суондукова А. А. Техническая компьютерная разведка – основная угроза сети современности // Наука и образование: проблемы и стратегии развития. 2017. Т. 2. № 1 (3). С. 18–20.

3. 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.

4. Дробяскин А. Н., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Ямбулатова К. И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // 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. 125–129.

5. Новак А. В., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суондукова 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.

6. Груздев Д. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А. Методика обнаружения программных атак на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // 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. 194–197.

7. Груздев Д. А., Сагдеев А. К., Суюндукова А. А. Методика защиты информационно-телекоммуникационной сети военного назначения от программного подавления // 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. 198–200.

*Статью представил доцент кафедры РРТСС ВУЦ СПбГУТ,
кандидат технических наук, подполковник А. К. Сагдеев.*

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

А. Н. Григорчук^{1,2}, С. Л. Добровольский², А. К. Сагдеев², В. Н. Сукачев¹

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье приводится ряд требований, являющихся неотъемлемой частью успешного построения и дальнейшего функционирования ЦОД. Тематика проектирования ЦОД актуальна на сегодняшний день и будет актуальной еще долгие годы, в связи с необходимостью предприятий и организаций обеспечения стабильной и безотказной работы сетевого оборудования и сетевой инфраструктуры в целом.

центр обработки данных, информационная система управления, капитальные затраты, совокупная стоимость владения.

Учет совокупной стоимости владения на этапе проектирования

Сосредоточение внимания исключительно на капитальных затратах – легкая ловушка: денежные затраты, необходимые для строительства или расширения, могут быть ошеломляющими. Расчет капитальных затрат имеет решающее значение, но если в учет не включаются затраты на экс-

платацию и техническое обслуживание инфраструктуры критически важных для бизнеса объектов, то сильно изменяется общий процесс эффективного бизнес-планирования.

Для расчета затрат, связанных с внедрением информационной системы управления, необходимо определить ее совокупную стоимость владения (*Total Cost of Ownership*, ТСО), так как все затраты в течение всего эксплуатационного периода являются составными частями стоимости владения системой.

Совокупная стоимость владения или ТСО – это полный комплекс затрат, связанных с приобретением, вводом в эксплуатацию и использованием системы, и воспринимаемый как единые затраты на ИТ-систему в процессе ее создания и эксплуатации.

Для расчета ТСО используется следующая основная формула [1]:

$$ТСО = \sum_{t=1}^T (D_t + i_n D_t) = \sum_{t=1}^T K_t + T(O + l),$$

где D_t – прямые затраты в период времени t ; K_t – капитальные затраты в период времени t – затраты, связанные с созданием проекта, подготовкой ИТ-инфраструктуры и информационных ресурсов, обучением и подготовкой персонала; T – длительность жизненного цикла – момент от начала проекта до полного его завершения; O – операционные затраты – затраты, обеспечивающие функционирование ИТ с надлежащим уровнем качества; l – неявные расходы, а именно пользовательские затраты (персональная поддержка, неформальное обучение, ошибки и просчеты), простои (потеря производительности из-за выхода оборудования из строя оборудования, плановые остановки работы и т. д.)

Учет требований эксплуатационной документации и рекомендаций

Центр обработки данных (ЦОД) – это телекоммуникационное помещение, в котором размещаются различные распределительные устройства и большое количество активного оборудования, поэтому для его успешного внедрения в ИТ инфраструктуру необходимо учитывать определённые требования и рекомендации.

Рекомендации содержатся в стандарте ANSI/TIA/EIA-569-A. Именно в этом стандарте можно узнать о размещении, расширении, размерах, освещении, электропитании, защите от электромагнитных помех ЦОД, микроклимате, необходимом для нормального функционирования и т.д.

Учет эксплуатационной документации (ЭД) является одним из важнейших факторов успешного построения ЦОД. Использование ЭД дает заметный экономический эффект, позволяет уменьшить расходы на эксплуатацию

оборудования, повысить надежность, правильно организовать работу персонала, занимающихся обслуживанием инженерных систем [2].

Эксплуатационная документация может содержать:

- регламент обслуживания оборудования;
- требования к обслуживающему персоналу;
- действие во внестатных ситуациях;
- требования к формам отчетности;
- состав ЗИПа (запасные части, инструменты и принадлежности)

и расходных материалов.

Особенности и технологические принципы

Масштабирование. При создании ЦОД необходимо учитывать изменяющиеся со временем потребности в ресурсах. Необходимо сделать выбор: использовать либо максимальную мощность устройств, либо модульную систему. Это означает, что в процессе развития есть возможность добавлять требуемые модули без замены существующего оборудования. Такая система будет более экономически выгодна и целесообразна.

Виртуализация. Данный технологический принцип является хорошим решением при недостатке площадей и мощностей. С помощью виртуализации можно сократить количество единиц оборудования в центре обработки данных. Эта технология экономит время на установку новых программ, позволяет создавать необходимые аппаратные конфигурации. За счет виртуализации достигается представление устройств, которых нет в самом ЦОД, а также проводится обучение работе с операционными системами.

Кластеризация. Необходимой основой для бесперебойной деятельности бизнес процессов является именно кластеризация, которая обеспечивает объединение нескольких серверов в единую систему, за счет установки программных связей между ними. Кластеризация имеет возможность координировать работу этих систем и позволяет выполнять перераспределение нагрузки в случае сбоя в одном из нескольких серверов.

Резервирование. Функция резервирования – это залог того, что при выходе из строя одной подсистемы центра, функцию ее возьмет на себя другая резервная подсистема.

ЦОД под нужды ИТ проекта [3]

Независимо от того, какой целевой уровень был выбран для ИТ проекта, есть десятки способов разработать эффективную систему. Слишком часто цели избыточности приводят к слишком большим сложностям, как говорится, чем проще, тем лучше.

- Сложность часто означает больше оборудования и компонентов. Чем больше деталей, тем больше возможных точек отказа.

- Человеческая ошибка. Большинство отказов в ЦОД происходит именно из-за человеческих ошибок. Сложные системы увеличивают операционный риск.

- Расходы. Простые системы дешевле построить.
- Затраты на ЭИТО (эксплуатацию и техническое обслуживание). Как говорилось ранее, сложность – больше оборудования и компонентов. Дополнительные затраты на ЭИТО могут расти в геометрической прогрессии.

- Необходимо создавать ЦОД исключительно с учетом цели. Многие образцы хорошо смотрятся на бумаге, однако, если конструкция не учитывает фактор «ремонтпригодности» при эксплуатации или обслуживании, время безотказной работы системы и безопасность персонала будут поставлены под угрозу.

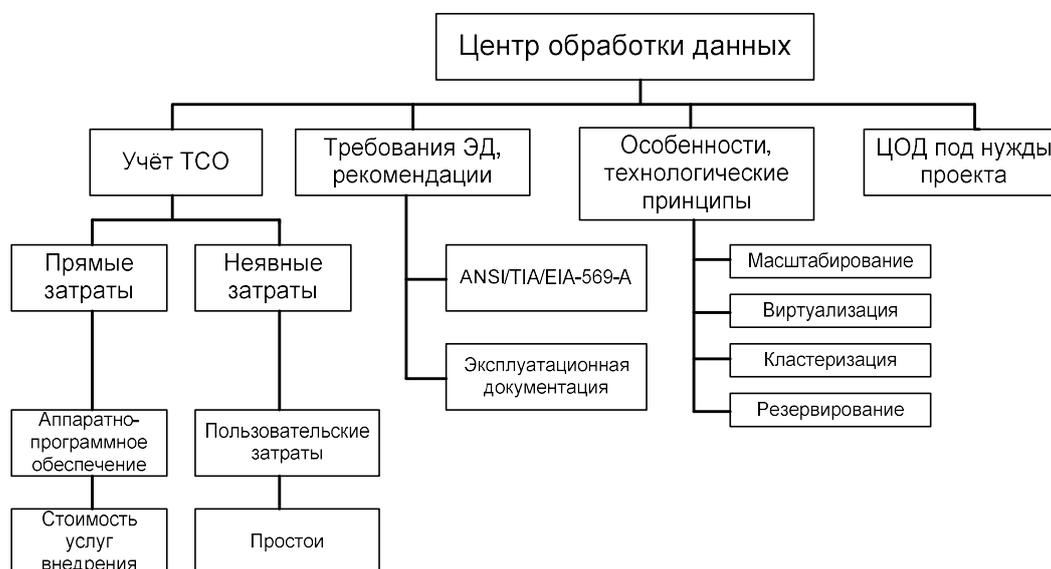


Рисунок. Модель построения и проектирования ЦОД

В ходе данной статьи была построена общая модель планирования и проектирования центров обработки данных. Общей она является потому что при проектировании ЦОД каждое требование необходимо разбирать более углубленно и подробно, но, данных требований вполне достаточно для понимания в каком направлении двигаться, чтобы успешно смоделировать будущие центры обработки данных.

Список используемых источников

1. Трофимов В. В. Информационные технологии : учебник для вузов в 2 т. Т. 2 // Отв. ред. В. В. Трофимов. М. : Издательство Юрайт, 2018. 390 с.

2. ANSI/TIA/EIA-569-A (1998). Стандарт телекоммуникационных трасс и помещений коммерческих зданий.

3. Mike M. Hagan, John Lusky, Tuan Hoang, P. E, Scott Walsh P.E., LEED A.P. Data center design white paper // The Top 9 Mistakes in Data Center Design & Planning. URL: <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/data-center-design-overview/>

УДК 623.618.5
ГРНТИ 78.25.33

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ
СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СЕТЕВОГО
КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ
СЕТИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ,
В УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОМПЬЮТЕРНОЙ РАЗВЕДКИ**

С. Л. Добровольский, А. Н. Дробяскин, А. К. Сагдеев, Д. С. Самаркин

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

Разрабатываемая методика решает задачу сбора сведений о состоянии объектов контроля, а при необходимости – рекомендации АСУС для перевода их в новое (требуемое) состояние. Методика предназначена для ОВУ и ДЛ органов системы сетевого контроля на этапах формирования, развертывания и функционирования структуры системы сетевого контроля, в условиях ведения ТКР и динамики изменения оперативной обстановки.

защита информации, информационно-телекоммуникационная сеть, контроль, система связи.

Разработанная методика направлена на решение следующих задач:

- определение объектов, параметров и критериев сетевого управления;
- выбор и обоснование количества наиболее информативных ИП элементов ИТКС ВН в пространстве атрибутов ССОП;
- расчет веса, значимости и вклада элементов ИТКС ВН;
- формирование варианта топологии ССК;
- расчет количества фиксируемых ИП элементов ИТКС ВН;
- проверка критериев эффективности управления сетью.

Выбор и обоснование основных показателей сетевого контроля элементов ИТКС ВН проводится с учетом соотношения и характеристик следующих факторов:

- целевого предназначения ИТКС ВН, функционирующей с использованием сетевых ресурсов ССОП ЕСЭ РФ;
- числа возможных состояний ИТКС ВН в условиях ведения ТКР и ДПВ;

– возможностей ТКР и ССК по обнаружению и фиксации элементов ИТКС ВН [1].

Элементы ИТКС ВН, в зависимости от режима функционирования, элементной базы аппаратуры, оборудования и разнообразия услуг, предоставляемых абонентам, обладают определенным набором ИП, основными из которых являются технические и структурно-поточные (оперативно-тактические) ИП. Определенный перечень ИП, в зависимости от степени защищенности элементов ИТКС ВН, может быть выявлен и зафиксирован ТКР противника и собственной ССК [2].

Процесс сетевого контроля включает следующие подпроцессы:

поиск объекта контроля;

перехват ИП объекта контроля;

технический анализ (определение параметров и характеристик функционирования объекта и оперативно-тактической принадлежности объекта);

обработка данных контроля и управление системой контроля.

В общем случае каждый подпроцесс реализуется подсистемами, качество функционирования которых оценивается следующими основными вероятностно-временными показателями контроля защищенности элементов сети связи: вероятностью обнаружения (фиксации) и средним временем обнаружения (фиксации) ИП $P_{\text{обн}}(\bar{t}_{\text{обн}})_{x_{ij}}$; вероятностью и средним временем определения оперативно-тактической принадлежности (ОТП) узлов (их идентификацией) $P_{\text{идф.эл}}(\bar{t}_{\text{идф}})_i$ и средним временем проявления $\bar{t}_{x_{ij}}$ i -го ИП j -го элемента [3].

Критериями эффективности при этом будут являться условия, при которых коэффициент сходства идентификационного признака элемента и вероятность достоверной идентификации элемента будут не менее требуемых значений ($k_{\text{сх.}x_{ij}} \geq k_{\text{сх.}x_{ij}}^{\text{треб}}$, $P_{\text{идф.эл}_i} \geq P_{\text{идф.эл}_i}^{\text{треб}}$); соответственно, $k_{\text{сх.}x_{ij}}^{\text{треб}} \geq 0,8$ от эталонного значения рассматриваемой характеристики элемента, а $P_{\text{идф.эл}_i}^{\text{треб}} \geq 0,8$ от полного набора эталонных значений характеристик элемента сети связи.

В свою очередь, ИТКС ВН будет считаться идентифицируемой, если коэффициент вскрытия ее элементов (абонентов) будет не менее 80 % от общего числа элементов $K_{\text{вскр.ИТКС ВН}} \geq K_{\text{вскр.ИТКС ВН}}^{\text{треб}}$, при $K_{\text{вскр.ИТКС ВН}}^{\text{треб}} \geq 0,8$.

Процесс функционирования ТКР и ССК, как и любой процесс, происходит во времени, поэтому одними из основных показателей ТКР и ССК является время ведения ТКР и продолжительность сетевого контроля – $t_{\text{ССК}}$.

Для ССК устанавливается критерий своевременности сетевого контроля $t_{\text{ССК}} \leq t_{\text{ССК}}^{\text{треб}}$. Предполагается, что требуемый интервал времени достаточен для получения (обнаружения и вскрытия) значений параметров функционирования элементов ИТКС ВН. Вместе с тем, ССК решает схожую по методам и ортодоксально противоположную по конечной цели задачу – определение уровня защищенности объектов контроля, а при необходимости – рекомендации АСУС для перевода их в новое (требуемое) состояние [4]. Следовательно, одним из критериев будет $t_{\text{ССК}}^{\text{треб}} \leq t_{\text{ТКР}}$.

Интеграция ИТКС ВН с ССОП ЕСЭ РФ предполагает использование ресурсов ЕСЭ РФ, поэтому элементы ИТКС ВН, при обеспечении абонентов услугами связи, вынуждены использовать точки доступа к ССОП ЕСЭ РФ.

Таким образом, одним из основных показателей сетевого контроля элементов ИТКС ВН выбрано время квазистационарного состояния (время подключения) элементов ИТКС ВН к точкам доступа ЕСЭ РФ $t_{\text{КСС}_i}$.

Эффективность контроля будет зависеть от выполнения условия, при котором продолжительность контроля состояния элемента сети связи не должно превышать разницы времени его квазистационарного состояния и времени на управляющие воздействия $t_{\text{ССК}_i} \leq t_{\text{КСС}_i} + t_{\text{пр.реш}}$, при минимальном количестве средств контроля [5].

Общим критерием эффективности сетевого контроля является условие, при котором $t_{\text{ССК}_i} + (t_{\text{пр.реш}} + t_{\text{реакц.}}) < t_{\text{ТКР}}$.

Определение исходных данных

Основными исходными данными модели являются:

количество сегментов ССОП ЕСЭ РФ – $N_{\text{сегм}}$;

количество элементов ССОП ЕСЭ РФ – $N_{\text{эл}}^{\text{ССОП}}$;

количество элементов ИТКС ВН – $N_{\text{эл}}^{\text{ИТКС ВН}}$;

количество абонентов – $N_{\text{аб}}^{\text{ИТКС ВН}}$;

количество ИП, принадлежащих элементам ССОП РФ – $N_{\text{ИП ССОП}}$;

количество ИП, принадлежащих элементам ИТКС ВН – $N_{\text{ИТКС ВН}}$;

значения характеристик, являющихся ИП для элементов ССОП РФ – $x_{ij}^{\text{ССОП}}$;

значения характеристик, являющихся ИП для элементов ИТКС ВН – $x_{ij}^{\text{ИТКС ВН}}$;

время квазистационарного состояния (подключения) элемента ИТКС ВН к ССОП – $t_{\text{КСС}_i}$;

среднее время проявления i -го ИП элемента ИТКС ВН – $\bar{t}_{\text{проявл.ИП}_{ij}}$;
 время наблюдаемости ИП – $\bar{t}_{\text{наблюд.ИП}_{ij}}$;
 требуемая вероятность фиксации ИП элемента ИТКС ВН – $P(t)_{\text{фикс.}_{ij}}^{\text{треб}}$;
 коэффициент связности сети связи – $K_{\text{св.СС}}$;
 вероятность выживания элемента – $P(t)_{\text{выж.эл.}_i}$;
 вероятность безотказной работы элемента ИТКС ВН – $P(t)_{\text{бр.эл.}}$;
 категория узла связи – $K_{\text{УС}}$;
 ранг узла – R_i ;
 пропускная способность элемента сети связи – P_{ri} ;
 пропускная способность линии связи – P_{rij} ;
 количество линий связи – $N_{\text{лс}}$;
 набор услуг связи – $N_{\text{усв}}$;
 периодичность использования услуг связи – $T_{\text{усв}_i}$;
 общее время моделирования – $T_{\text{мод}}$;
 продолжительность времени контроля – $t_{\text{ССК}}$;
 коэффициент присутствия средств контроля на узлах ССОП – $G_{\text{ССК}}$;
 коэффициент присутствия средств разведки на узлах ССОП – $G_{\text{ТКР}}$;
 показатель отношения нагрузки элементов ИТКС ВН к нагрузке элементов ССОП – $\lambda_{\text{оп.нагр.}}$;
 показатель отношения числа узлов ИТКС ВН к узлам региональной ССОП – $G_{\text{ИТКС ВН}}$ [6, 7].

Частными показателями методики являются:

коэффициент сходства – $k_{\text{сх.}_{x_{ij}}}$;

коэффициент корреляции ИП ИТКС ВН – $r_{x_i x_j}$;

коэффициент информативности – $K_{\text{инф}}$;

Критериями эффективности сетевого контроля являются:

$$K_{\text{инф}} \geq K_{\text{инф}}^{\text{треб}},$$

$$t_{\text{ССК}} \leq t_{\text{ССК}}^{\text{треб}},$$

$$t_{\text{ССК}}^{\text{треб}} \leq t_{\text{ТКР}},$$

$$k_{\text{сх.}_{x_{ij}}} \geq k_{\text{сх.}_{x_{ij}}}^{\text{треб}},$$

$$K_{\text{вскр.ИТКС ВН}} \geq K_{\text{вскр.ИТКС ВН}}^{\text{треб}},$$

$$t_{\text{ССК}_i} \leq t_{\text{КСС}_i} + t_{\text{пр.реш}},$$

$$t_{\text{ССК}_i} + (t_{\text{пр.реш}} + t_{\text{реакц.}}) \leq t_{\text{ТКР}}.$$

Выходные результаты методики:

вероятность идентификации элемента сети связи – $P_{\text{идф.эл}_i}$;

функциональные зависимости показателя сетевого контроля элементов ИТКС ВН от ряда факторов:

$$P_{\text{идф.эл}_i} = f(N_{\text{эл}}^{\text{ССОП}}; N_{\text{эл}}^{\text{ИТКС ВН}}; N_{\text{срСК}}; \lambda_{\text{оп.нагр}}; G_{\text{ССК}}; G_{\text{ТКР}}; G_{\text{ИТКС ВН}}; R_i; t_{\text{КСС}_i}; T_{\text{мод}})$$

количество средств сетевого контроля и их распределение на элементах сети связи при заданных параметрах интегрированной ИТКС ВН.

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 научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 107–111.
2. Дробяскин А. Н., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Янбулатова К. И. Модель воздействия технической компьютерной разведки и деструктивных программных воздействий на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научнотехническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. Т. 4. С. 125–129.
3. 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.
4. Корчагин М. С., Сагдеев А. К., Фролова Ю. А. Моделирование процессов сетевого анализа. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2017. Т. 1. С. 465–469.
5. Груздев Д. А., Сагдеев А. К., Сидоренко Е. Н., Суюндукова А. А. Методика обнаружения программных атак на информационно-телекоммуникационную сеть военного назначения // 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. 194–197.
6. Одоевский С. М., Григорчук А. Н., Кочешков А. К., Ермаков А. В., Ясинский С. А. Обоснование требований и пропускной способности арендуемых каналов связи в интересах ведомственной сети передачи данных // Информация и космос. 2019 № 2. С. 29–34.
7. 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. Естественные и технические науки. 2021. № 2 С. 77–84.

УДК 654.026
ГРНТИ 49.33.29

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕСТРУКТИВНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ СЕТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

А. Н. Забело¹, Х. Б. Нгуен²

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Telecommunications University (Университет телекоммуникаций, г. Нячанг, Вьетнам)

В работе представлена модель и описан алгоритм оценки влияния деструктивных радиоэлектронных помех на сеть многоканальной радиосвязи. Приведен алгоритм оценки степени воздействия деструктивных радиоэлектронных помех на элементы сети многоканальной радиосвязи.

сеть многоканальной радиосвязи, устойчивость, деструктивные радиоэлектронные помехи

Введение

Ведущая роль в создании сети многоканальной радиосвязи (МКРС) принадлежит средствам, которые легли в основу полевого компонента дополненного полевой частью, объединённой автоматизированной цифровой системы связи, включающего в себя средства и линии радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи, размещенные в космическом, воздушном, наземном и морском эшелонах [1–3]. Фрагмент сети МКРС представлен на рис. 1.

Объединенная сеть МКРС за счет максимальной разветвленности и маневренности каналов имеет высокую устойчивость к внутренним воздействиям. Вместе с тем, открытость среды распространения радиоволн

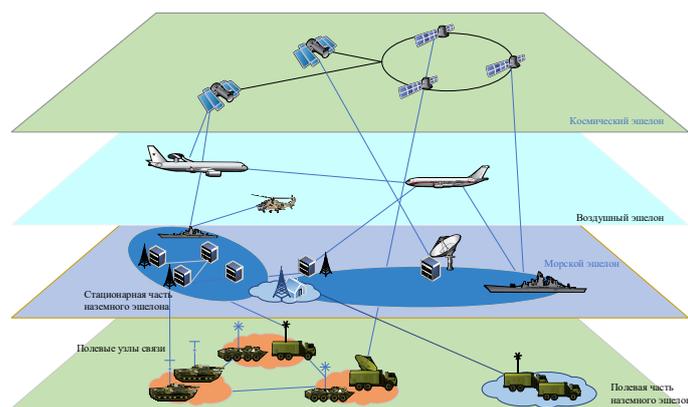


Рис. 1. Фрагмент структуры специальной сети многоканальной радиосвязи

в линиях МКРС способствует негативному воздействию внешних деструктивных радиоэлектронных помех (ДРЭП), представленных широкополосными, узкополосными и импульсными помехами [4].

Вариант воздействия ДРЭП на элементы сети МКРС представлен на рис. 2.

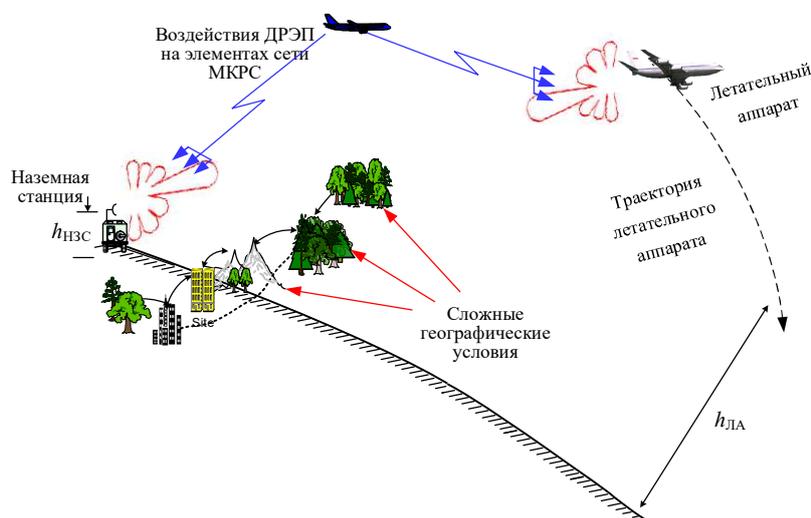


Рис. 2. Вариант воздействия деструктивных радиоэлектронных помех на элементы сети многоканальной радиосвязи

Обеспечение работоспособности сети МКРС специального назначения играет важную роль для качественного управления войсками. Для ее поддержания необходима выработка решений по управлению сетью на основе постоянного мониторинга влияния воздействия ДРЭП на элементы сети [5]. Основной сложностью реализации этого процесса является оценка степени воздействия ДРЭП на ее элементы. Степень воздействия ДРЭП выражается через ущерб сети МКРС. В статье используется метод максимального элемента для расчета ущерба сети путем нахождения его приращения между разными шагами воздействия ДРЭП [6]. Поэтому данная статья посвящена подходу к оценке эффективности воздействия ДРЭП путем определения приращения ущерба сети МКРС на каждом шаге закрепления средств ДРЭП на ее элементах методом максимального элемента.

Физическая постановка задачи

Структура сети МКРС представляется в виде неориентированного графа состоящего из средств (элементов) и соединяющих их линий. Она включает в себя i -е элементы при $i \in S = \{1, i_{\max}\}$, где i_{\max} – число элементов в сети. Каждый элемент сети МКРС характеризуется весом A_i .

Возможность воздействия ДРЭП на i -й элемент ν -м средством ДРЭП ($\nu \in T = \{1, \nu_{\max}\}$, где ν_{\max} – число средств ДРЭП) зададим матрицей ущерба (вероятности нарушения связи элемента сети помехами):

$\|P_{\text{ущ ср } v_i}\|_{TS}$ при $P_{\text{ущ ср } v_i} = 1 - P_{\text{нор ср } v_i}$, где $P_{\text{нор ср } v_i}$ – вероятность обеспечения связи i -м элементом сети МКРС в условиях воздействия v -го ДРЭП.

Задание матрицы ущерба $\|P_{\text{ущ ср } v_i}\|_{TS}$, веса элементов сети МКРС A_i позволяет вычислять функцию ущерба сети в условиях ДРЭП, которая представляет собой вероятность ущерба и оценивает степень воздействия ДРЭП на элементы сети.

Подход к оценке влияния ДРЭП на элементы сети МКРС методом максимального элемента

На основе метода максимального элемента определяется оптимальное приращение функции ущерба сети с учетом степени ущерба ее элемента. К моменту назначения k -го средства ДРЭП на k -м шаге было распределено $(k-1)$ -е средство и степень ущерба i -го элемента сети составляет $P_{\text{ущ ср } i}^{(k-1)}$ значение функции ущерба сети равно:

$$F_{(k-1)}^+ = \sum_{i=1}^{i_{\max}} A_i P_{\text{ущ ср } i}^{(k-1)}.$$

После распределения k -го средства ДРЭП на j -й элемент сети МКРС, значение функции ущерба увеличится только на величину ущерба j -го элемента сети:

$$F_{(k)}^+ = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{i_{\max}} A_i P_{\text{ущ ср } i}^{(k-1)} + A_j \left(1 - Q_j^{(k-1)} P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right),$$

где $Q_j^{(k-1)} = 1 - P_{\text{ущ ср } j}^{(k-1)}$ – вероятность не появления ущерба j -го элемента сети до распределения k -го средства ДРЭП.

Разница функции приращения ущерба сети при переходе с $(k-1)$ -го к k -у шагу распределения средств ДРЭП определяется:

$$\begin{aligned} \Delta_k^+ &= F_{(k)}^+ - F_{(k-1)}^+ = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{i_{\max}} A_i P_{\text{ущ ср } i}^{(k-1)} + A_j \left(1 - Q_j^{(k-1)} P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right) - \sum_{i=1}^{i_{\max}} A_i P_{\text{ущ ср } i}^{(k-1)} = \\ &= A_j \left(1 - Q_j^{(k-1)} P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right) - A_j P_{\text{ущ ср } j}^{(k-1)} = A_j \left(1 - P_{\text{ущ ср } j}^{(k-1)} - Q_j^{(k-1)} P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right) = \\ &= A_j \left(Q_j^{(k-1)} - Q_j^{(k-1)} P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right) = A_j Q_j^{(k-1)} \left(1 - P_{\text{нор ср } kj}^{(k)}\right) = \\ &\Delta_k^+ = A_j Q_j^{(k-1)} P_{\text{ущ ср } kj}^{(k)}. \end{aligned}$$

Значение приращения функции ущерба сети МКРС позволяет определять оптимальное распределения средств ДРЭП на ее элементы. Максимальное значение функции ущерба получается путем ручных или автоматических переборов назначения средств ДРЭП на элементы сети с помощью компьютерной программы.



Рис. 3. Алгоритм оценки степени воздействия ДРЭП на сети МКРС

Для расчета ущерба сети воздействиями средств ДРЭП необходимо предварительно оцениваться вероятности обеспечения связи элементов сети МКРС [1–3]. На рис. 3 представлен алгоритм оценки степени воздействия ДРЭП на сети МКРС с учетом расчета вероятностей обеспечения связи линии МКРС в условиях ДРЭП, который состоит из следующих основных этапов:

1. Задание параметров трасса связи, параметров элементов сети и средств воздействия ДРЭП.

2. Расчет вероятности обеспечения связи элементов сети в условиях воздействия ДРЭП. При этом необходимо оценивать затухания связи линии МКРС и отношения сигнала и помех во входе приемника средств.

3. Расчет функции приращения ущерба сети при переходе с $(k-1)$ -м к k -у шагу распределения средств ДРЭП. При этом необходимо оценивать вероятности обеспечения связи сети МКРС на $k-1$ -м шаге распределения средств ДРЭП и вероятности обеспечения связи сети на k -м шаге распределения средств ДРЭП.

Заключение

Мониторинг изменения ущерба сети МКРС начинается с оценки вероятности обеспечения связи на радиолинии. В данной статье представлен подход к оценке эффекта воздействия ДРЭП на элементы сети путем применения метода максимального элемента. Суть метода заключается в расчете приращения ущерба сети в результате последующих шагов воздействия ДРЭП, затем оценивается вероятность обеспечения связи сети на каждом шаге управления. Дальнейшим направлением исследования предполагается реализация описанного в данной статье подхода для управления с целью обеспечения требуемой устойчивости сети МКРС в конкретном условии ее развертывания при заданной стратегии воздействия ДРЭП.

Список используемых источников

1. Нгуен Х. Б. Модель оценки устойчивости сети многоканальной радиосвязи // Известия Тульского государственного университета. 2019. № 6. С 93–97.
2. Нгуен Х. Б. Методика оценки сети многоканальной радиосвязи в условиях противодействия деструктивным факторам // Стратегическая стабильность. 2019. № 4 (89). С 40–43.
3. Забело А. Н., Нгуен Х. Б. Предложение по исследованию динамики изменения состояния сети многоканальной радиосвязи в условиях воздействия деструктивных факторов // Стратегическая стабильность. 2020. № 1 (90). С 32–34.
4. Кузнецов В. А., Волков А. С., Солодков А. В., Чугунов И. В. Исследование воздействия преднамеренных помех на систему связи с применением симплексных кодов // Т-сomm: телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14, № 7. С. 13–19.
5. Иванов В. Г. Модель технической основы системы управления специального назначения в едином информационном пространстве на основе конвергентной инфраструктуры системы связи : монография. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. 214 с.
6. Берзин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем // Под ред. Е. В. Золотова. М. : Сов. радио, 1974, 304 с.

УДК 004.057.4
ГРНТИ 50.05.15

ОСОБЕННОСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ РАДИОСЕТЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

В. Г. Запека, К. О. Крицкий

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

В тексте рассматриваются ключевые характеристики многообещающих распределенных самоорганизующихся радиосетей специального назначения на радиостанциях шестого поколения, ведется исследование протоколов маршрутизации всевозможных разновидностей, формируются требования подбора протоколов маршрутизации для намеченной сети связи.

радиосеть специального назначения, радиостанция, протокол маршрутизации.

Общая информация

В нынешний период проходит интенсивное производство радиостанций шестого поколения, которые в ближайшей перспективе обязаны стать фундаментом с целью возведения самоорганизующейся радиосети специального назначения. Эта сеть будет состоять из любого числа мобильных радиостанций, ее отличительной чертой будет являться отсутствие централизованной координации и фиксированной инфраструктуры. Все узлы связи станут выступать в качестве маршрутизатора для пересылки пакетов других радиостанций. Подобные сети дадут возможность осуществлять сетевое взаимодействие пунктами управления на огромных площадях без внушительных расходов на формирование специальной инфраструктуры [1].

Характерные черты функционирования распределенных самоорганизующихся сетей специального назначения (мобильность, непостоянство топологии сети, изменчивость характеристик радиоканалов и др.) являются фактором возникновения ряда новых нюансов при конструировании и эксплуатации данных радиосетей, не свойственных для других сетей [2].

В сопоставлении с маршрутизацией в неподвижных проводных сетях, маршрутизация в подвижных сетях радиосвязи – более сложная задача [3], так как протоколы маршрутизации в этих сетях обязаны принимать во внимание следующие условия:

– связь между двумя узлами может быть двусторонней, кроме того качество связи может зависеть от направления;

- в сетях с высокой динамикой, скорость изменения топологии сети может превышать скорости обновления информации о маршрутах;
- наличие большого количества маршрутов между двумя узлами может привести к повышению вычислительной сложности и размеру протокола маршрутизации, из-за существенных обновлений маршрутной информации;
- из-за того, что подвижные узлы обладают ограниченным электропитанием, значительные расчеты и периодические обновления маршрутизатора имеют все шансы потратить всю энергию батарей.

Несмотря на то, что для сетей подвижной радиосвязи намеренно создано большое число предложений согласно протоколам маршрутизации, наилучшее решение до сих пор не найдено. Сегодняшние предложения имеют тенденцию эффективно работать в определенных условиях, но показывают низкую эффективность в других условиях. Большая часть разработок может быть классифицирована по трем следующим категориям:

- табличные протоколы маршрутизации;
- реактивные протоколы маршрутизации;
- гибридные протоколы маршрутизации.

Табличные протоколы маршрутизации

Из всех трех типов табличный тип протоколов наиболее всего схож с классическими протоколами маршрутизации по состоянию канала и вектору расстояния, которые как правило применяются в проводных сетях. Табличные протоколы создают маршруты несмотря на имеющийся в сети трафик. Такие протоколы скапливают и поддерживают в актуальном состоянии данные об абсолютно всех маршрутах между узлами в сети. При модификации топологии сети происходит широковещательная рассылка уведомлений об этих изменениях. Каждый узел хранит в собственной памяти все без исключения маршруты и способен воспользоваться ими в любое время. В связи с тем, что каждый узел сети содержит граф связности, допустимо выстраивание наикратчайшего маршрута. Данные типы табличных протоколов гарантируют заблаговременное создание таблицы маршрутизации, в которую входят все известные маршруты [4].

Достоинством описанного подхода является то, что, когда узлу необходимо отправить пакет, нужный путь уже как правило выстроен. В данном случае, передача пакетов наступает без задержек, но присутствуют накладные затраты на отбор маршрутов и создания таблицы маршрутизации, вследствие чего следует получить всю нужную информацию о топологии сети до начала пересылки пакетов.

Примерами табличных протоколов маршрутизации являются:

DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*) – протокол дистанционно-векторной маршрутизации по пункту назначения;

OLSR (*Optimized Link State Routing*) – оптимизированный алгоритм маршрутизации по состоянию канала.

Реактивные протоколы маршрутизации

Реактивные протоколы маршрутизации отличаются от табличных тем, что создают путь между определенными узлами только лишь согласно запросу организатора передачи, а маршруты существуют только на период передачи данных. Каждый раз, когда узлу-отправителю нужно выяснить маршрут, узел осуществляет операцию выявления маршрута посредством широковещательной рассылки служебного сообщения «запрос маршрута» к располагающимся рядом узлам. Затем, ближайшие узлы рассылают это сообщение к собственным соседям. Данная процедура прекращается после нахождения получателя сообщения. Узел-получатель отвечает служебным сообщением «ответ на запрос маршрута» инициатору процедуры выявления маршрута. Далее данный путь поддерживается до тех пор, пока любой из адресатов остается доступным либо имеется потребность его поддержки. Узлы никак не сохраняют нужную маршрутную информацию. Узел инициирует создание маршрута согласно запросу, в момент его поступления.

При низком уровне обмена данными реактивные протоколы имеют превосходство перед табличными, обладая меньшими накладными затратами. Компромиссное решение применения реактивных протоколов маршрутизации состоит в том, что задержка при установлении маршрута больше, вследствие того, что путь между узлами будет обнаружен только лишь в тот момент, когда один из узлов получит запрос на передачу.

При высоком уровне трафика в сети, использование реактивных протоколов менее предпочтительно, так как следует частое выявление маршрутов, что приводит к постоянным лавинным рассылкам пакетов в сети, и в следствии приводит к значительной загрузке сети.

Распространенными реактивными протоколами являются:

AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) – протокол вектора расстояния по запросу;

TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) – протокол с временными устанавливаемыми упорядоченными маршрутами.

Гибридные протоколы маршрутизации

Гибридные протоколы маршрутизации применяются с целью объединения положительных сторон как табличных, так и реактивных протоколов. В сетях мобильной радиосвязи, в которых узлы находятся рядом друг с другом, лучше применять табличную маршрутизацию. Но, в крупных сетях, где узлы расположены на большом расстоянии друг от друга, наилучшей альтернативой считается реактивная маршрутизация.

Невзирая на то, что гибридные протоколы трудны в осуществлении, они демонстрируют наиболее высокие результаты, так как предлагают более гибкий вариант маршрутизации в зависимости от структуры сети. Значимым недостатком данных протоколов является процедура разбиения на иерархические структуры, что в следствии влияет на оптимальность маршрутизации сети [5].

Примером гибридных протоколов являются:

ZRP (*Zone Routing Protocol*) – зонный протокол маршрутизации;

HDVG (*Hierarchical Distance-Vector Georouting*) – протокол иерархической маршрутизации.

В основе процедуры маршрутизации лежат методы, которые, в свою очередь, выполнены в протоколах маршрутизации [1]. Протоколы маршрутизации распределенной самоорганизующейся радиосети специального назначения обязаны владеть установленными качествами:

- отсутствием образования петель, что приведет к сокращению излишней загрузки сети, а кроме того предотвратит перегрузку отдельных радиостанций;

- конструкцией маршрута согласно запросу, что станет способствовать результативному применению ресурсов сети за счет снижения передаваемых служебных данных;

- поддержкой однонаправленных соединений, так как в распределенных самоорганизующихся радиосетях специального назначения зачастую будут появляться однонаправленные соединения, применение которых будет способствовать повышению производительности сети связи;

- создания нескольких маршрутов, что даст возможность избежать утраты пакетов, инициированные разрывом соединения или перегрузками, из-за применения резервных маршрутов;

- защищенностью, так как протоколы маршрутизации обязаны владеть определенными профилактическими мерами обеспечения защиты, а с целью применения аутентификации и кодирования нужны алгоритмы распределения ключевой информации по сети.

Из этого следует, что каждая категория, рассмотренных выше протоколов содержит конкретные плюсы и минусы при применении в распределенных самоорганизующихся радиосетях специального назначения. Подбор протокола маршрутизации в распределенных самоорганизующихся радиосетях специального назначения является сложной проблемой и зависит от ряда условий: числа абонентов сети, их мобильности, потребности поддержки передачи мультимедийной информации, характеристик свойств обслуживания и т. д.

Список используемых источников

1. Вишневский В. М., Лаконцев Д. В., Сафонов А. А., Шпилев С. А. Mesh-сети: в ожидании стандарта IEEE 802.11s // Электроника. 2008. № 6. С. 64–69.
2. Отчет о НИР «Волнорез». СПб. : ВАС, 2012. 240 с.
3. Дмитриев В. И. Средства и комплексы подвижной радиосвязи. СПб. : ВАС, 2008. 311 с.
4. Зацепин Э. С. Обзор характеристик протоколов маршрутизации в Mesh-сетях // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 10. С. 342–345.
5. Метелев А. П., Чистяков А. В., Жолобов А. Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. 2013. № 3 (1). С. 75–78.

Статья представлена преподавателем кафедры ПЭС и ФПС ВУЦ, кандидатом технических наук, полковником А. В. Брыдченко.

УДК 004.71
ГРНТИ 28.17.33

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. В. Зубакин, В. В. Сазонов, И. М. Токарев

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

В статье разработана имитационная модель стационарной сети передачи данных специального назначения, построенная на объектах комплексного оснащения. Средой имитационного моделирования выбран эмулятор GNS3, позволивший разработать физическую и логическую структуру с элементами объектов комплексного оснащения: межсетевым экраном, маршрутизатором, коммутатором, серверами, автоматизированными рабочими местами.

имитационная модель, эмулятор GNS3, сервер, операционная система, Astra Linux, Debian, туннель IPsec, ложные объекты, межсетевой экран, искажения в канале передачи данных, Wireshark.

Известно [1], что существующие методы исследований стационарных сетей передачи данных специального назначения (ССПД СН) имеют следующие недостатки:

– проведение измерений, а также анализ их результатов занимают продолжительное время;

- необходимо привлекать опытных специалистов для получения экспертных оценок, используемых для построения сети (администраторов и операторов);
- дороговизна построения модели на базе реальных устройств;
- невозможность в большинстве случаев проведения экспериментов без нарушения режима эксплуатации.

Одним из наиболее эффективных методов исследования, уменьшающие влияние вышеуказанных недостатков, является имитационное моделирование, сущность которого заключается в имитации процессов функционирования ССПД СН. Средства имитационного моделирования можно разделить на симуляторы и эмуляторы [2–6].

Симуляторы имитируют работу программного обеспечения устройств, но при этом им не являются. Программное обеспечение (ПО) имеет существенные упрощения и предназначено только для воспроизведения внешнего поведения исследуемых устройств. Кроме того, симуляторы обладают собственным набором ошибок, влияющих на работу модели, и ограниченный набор поддерживаемых устройств, но при этом имеют низкие системные требования.

Эмуляторы, в свою очередь, предназначены для запуска оригинального ПО. Работа эмуляторов более близка к работе реальных устройств, нежели у симуляторов, и позволяют запускать образы устройств различных производителей, оконечных устройств и серверов. Недостатком эмуляторов является повышенные системные требования по сравнению с симуляторами.

Для построения такой сложной модели, как ССПД СН, лучше всего подходят эмуляторы. Для построения модели был использован GNS3, позволяющий работать удаленно путем взаимодействия, как с виртуальными машинами, так и с реально существующими сетями.

Разработанная имитационная модель ССПД СН построена на распределенной сети доступа, состоящая из пяти объектов комплексного оснащения (ОКО) (рис. 1), каждый из которых включает средство доступа к сети оператора связи (*open1...5*), коммутатор (*switch1.1...5.1*) локальной сети с абонентами (*openarm1...5*) открытого сегмента, межсетевой экран (МЭ) с шифрованными IPsec туннелями (*crypto1...5*); коммутатором (*switch1.2...5.2*) и автоматизированными рабочими местами (*arm1-1...arm5-6*) локальной сети закрытого сегмента (рис. 2), причем каждый пятый элемент сети является ложным [7].

Кроме того, на каждом ОКО ССПД СН развернуты сервера, обеспечивающие необходимые сервисы и службы в закрытых сегментах. Состав данных сервисов приведен на таблице. Данные сервера функционируют на базе ОС Astra Linux и Debian.

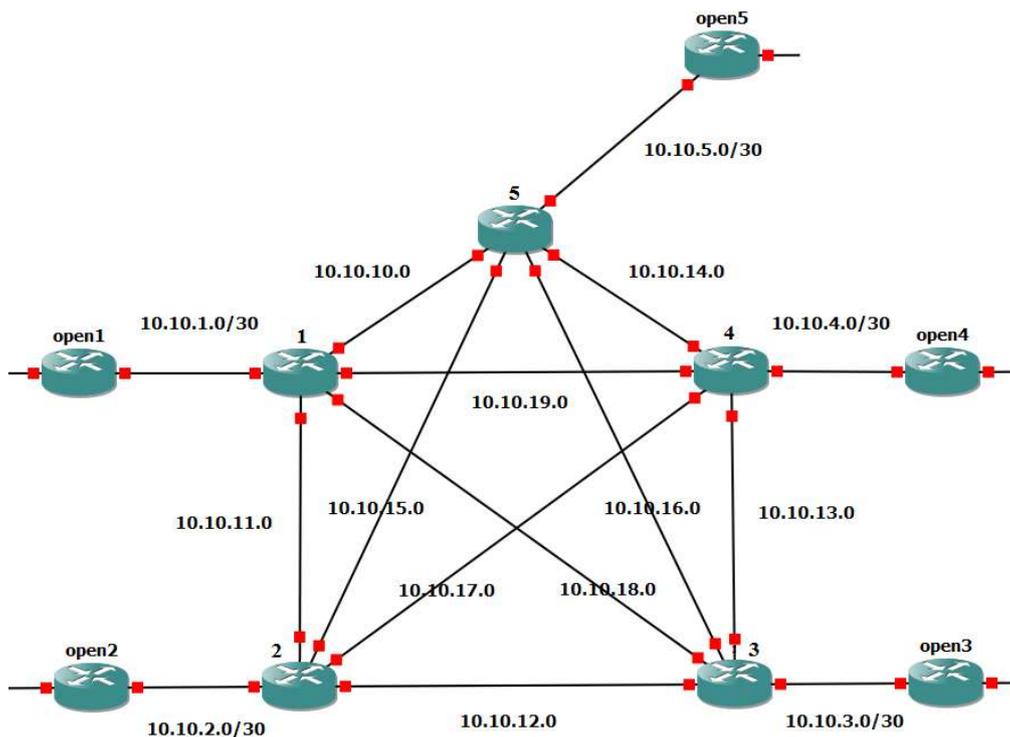


Рис. 1. Разработанная имитационная модели ССПД СН логическое пространство

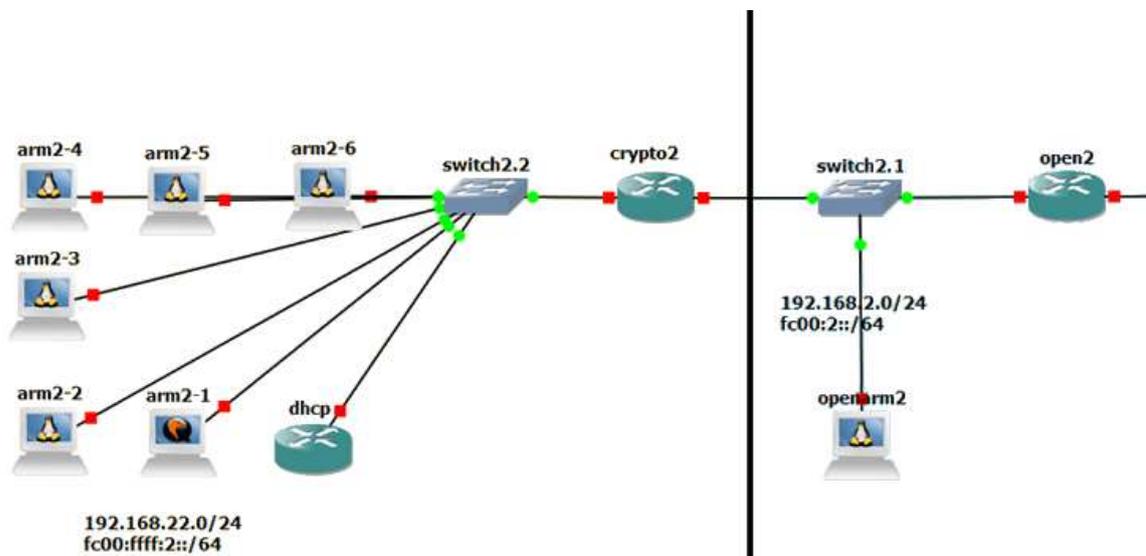


Рис. 2. Моделируемая структура объекта комплексного оснащения

ТАБЛИЦА 1. Размещение серверов на объектах

Типы серверов				
Локальный репозиторий	DHCP	DNS	FTPS	Email
Номера объектов, на которых размещены сервера				
1	2	3	4	5

Локальный репозиторий представляет собой службу, которая по запросу клиентов загружает пакеты ПО, сохраняет их у себя и передает абонентам. Это позволяет уменьшить трафик во внешнюю сеть при обновлении компонентов ПО на серверах и автоматизированных рабочих местах.

DHCP сервер обеспечивает динамическую настройку интерфейсов у автоматизированных рабочих мест. В настройку входят назначение IP адреса клиенту, маску подсети, маршрут по умолчанию и адреса DNS серверов. На ОКО, где не установлены данные сервера, передаются DHCP запросы к серверу через ретрансляторы, которые сконфигурированы на МЭ.

DNS сервер преобразует символьные доменные имена в сетевые адреса и наоборот. Он имеет специальную таблицу, по которой происходят все вышеназванные преобразования.

FTPS сервер обеспечивает хранение, загрузку и выгрузку с сервера файлов пользователей. Аутентификация и шифрование данных осуществляется с использованием протокола TLS с само подписанным сертификатом для сервера.

Сервер Email предназначен для приема, хранения и передачи электронных корреспонденций адресатам. Он состоит из следующих составляющих:

- сервер IMAP, POP3, передающий электронные письма конечным адресатам;
- сервер SMTP, обеспечивающий передачу корреспонденции между клиентом-сервером;
- фильтр спама, исключающий нежелательные письма согласно различным критериям;
- антивирус, сканирующий содержимое вложений писем, и удаляющее вредоносное ПО в них.

В имитационной модели по одному на каждый ОКО ССПД СН развернуты автоматизированные рабочие места на базе ОС Astra Linux и Debian, на которых установлены клиенты электронной почты и FTPS. Также для взаимодействия с другими сетевыми устройствами настроен DHCP клиент для динамической настройки параметров сетевого интерфейса. Сконфигурирован менеджер пакетов apt на использование локального репозитория для получения пакетов ПО. Остальными абонентскими средствами в ОКО являются устройства, поддерживающие стек TCP/IP и имеющие сетевые утилиты ping и traceroute. Данные устройства имитируют клиентов ССПД СН, могут производить проверку доступности до другого узла и имеют пониженные системные требования по сравнению с виртуальными машинами.

На МЭ реализованы:

- блокировка пакетов с некорректными заголовками;
- туннелирование трафика между закрытыми локальными сетями с помощью туннелей IPsec;

– запрет обменом трафика между открытым и закрытым сегментом ОКО.

На средствах доступа к сети оператора связи, в открытом сегменте развернуты:

– средства фильтрации трафика, нацеленные на блокировку трансляции пакетов на частные, петлевые и групповые адреса, получения и передачи пакетов с некорректными заголовками;

– перегруженный NAT, сопоставляющий множество внутренних адресов со внешним адресом с использованием портов;

– DNS ретранслятор для элементов сети открытого сегмента.

При этом на внешний интерфейс маршрутизатора назначен статический IP адрес с тридцатой маской и настроен протокол динамической маршрутизации OSPF.

Используя функционал эмулятор GNS3, в имитационной модели ССПД СН с эмулированы искажения в канал передачи данных. Пример ввода периодичности пропускаемых пакетов, вероятности потерь пакетов, задержку канала и вероятность повреждения пакета показаны на рис. 3. Для детального анализа трафика и используемых протоколов в сети в модели использовано ПО Wireshark.

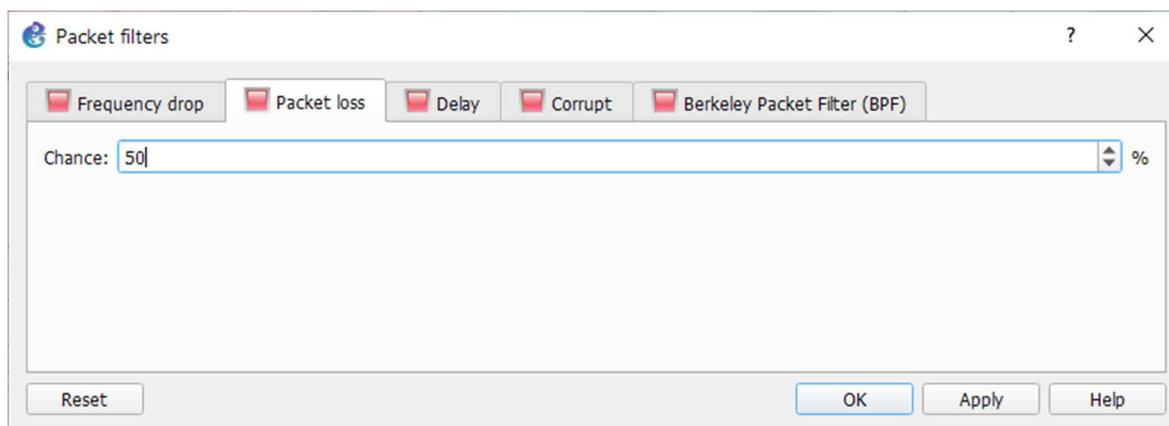


Рис. 3. Добавление вероятности потери пакетов

Функционал эмулятор GNS3 не ограничивается рассмотренными примерами, предоставляя администраторам и операторам широкий спектр по проектированию, тестированию и разработки предложений по совершенствованию стационарной сети передачи данных специального назначения.

Список используемых источников

1. Сазонов В. В., Носов А. О. Моделирование сети передачи данных специального назначения // Перспективные направления развития отечественных информационных

технологий: материалы V межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Севастополь, 2019. С. 212–214.

2. Переспелов А. В., Сагдеева Л. А. Сравнительный анализ существующих реализаций проектирования защищенных компьютерных сетей // Инновации. Наука. Образование. 2021. Т. 1. № 44. С. 910–915.

3. Мещеряков А. И. Проблема выбора среды моделирования для изучения сетевых технологий // Молодой исследователь Дона. 2021. № 6 (33). С. 70–76.

4. Истратова Е. Е., Аверьянов Р. В., Гаськов Н. А. Исследование программных эмуляторов сетевого оборудования // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции / Под ред. А. Г. Якунина. Барнаул, 2021. С. 3–7.

5. Королев И. Д., Маркин Д. И. Сравнительный анализ средств эмуляции автоматизированных систем // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра: материалы IV Международной научно-практической конференции / Под ред. В. В. Арутюнова. Москва, 2021. С. 111–118.

6. Васин Н. Н., Ирбахтин А. А. Моделирование защищенных каналов телекоммуникаций с использованием средств виртуализации // Инфокоммуникационные технологии. 2017. Том 15. № 1. С. 29–35.

7. Зорин Э. Ф., Поликарпов С. В. Способ защиты информации автоматизированных систем на основе ложных информационных объектов // Космонавтика и ракетостроение. 2011. № 3 (64). С. 107–112.

УДК 377.169.3

ГРНТИ 49.33.29

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

В. Г. Иванов, К. М. Колесова, В. Н. Лукьянчик

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

В статье рассматриваются вопросы применения мобильных средств связи для обучения, требований к программным средствам обучения.

мобильные средства связи, требования, учебный процесс, технологии.

Настоящее время – это развития общества под стремительным влиянием информационных и коммуникационных технологий, проникающие в различные области человеческой прогрессивной деятельности, которые позволяют распространять образовательные информационных потоков

в обществе. Уже сегодня неотъемлемой и важной частью информатизации общества является информатизация учебного процесса, в первую очередь в векторе образовательной деятельности. Активное распространение среди обучающихся мобильных технологий и учебных приложений вносит коррективы в педагогическую деятельность учителя (рис. 1).



Рис. 1. Элементы мобильного образования

Основными постулатами применения в учебном процессе мобильных средств является обеспечение:

в любом месте доступа к образовательным ресурсам в сети Интернет;
дистанционного обучения;

воспроизведения мультимедийного контента образовательных программ (звуковых, текстовых, видео и графических файлов);

функциональной возможности организации учебного процесса с применением электронных образовательных средств (учебников, учебных курсов, специализированных программ);

персонального образования с учетом ориентированного индивидуального подхода к каждому обучаемому на основе постоянного рефлексивного соотношения личных достижений с требованием образовательных программ.

В настоящее время основной задачей педагогики является обеспечение развития потенциала будущих специалистов в условия глобальной информатизации [1]. Следовательно, требованием к педагогической деятельности является подготовка будущего специалиста, умеющего самостоятельно взаимодействовать с информационно-технологическим миром профессионального труда.

Уже сегодня мобильные средства связи (мобильные устройства) широко используются в учебном процессе:

для использования мультимедийных учебных интернет-ресурсов (веб-ресурсов) (аудиофайлы, видеофайлы, графика, карты, изображения);

для организации доступа на обучающие ресурсы образовательных учреждений (сайты, электронные учебники и справочники и т. д.);

для обеспечения учебно-социальной коммуникации между обучаемыми и преподавателями (SMS сообщения, вебинары, видео конференции и социальные сети и т. д.).

Указанные формы применения мобильных средства служат серьезным дополнительным средством преподавателю и обучаемым для реализации отдельных умений и навыков, закрепления определённых тем и проведения дистанционного контроля.

Следовательно, учебные программы, предназначенные для использования на мобильных средствах, должны соответствовать нижеприведенным требованиям: эффективность; надёжность; лёгкость и простота пользования; функциональность; удобство сопровождения; мультимедийность.

С учетом указанных требований учебные программы распределяются на следующие типы: справочно-информационные программы; учебно-игровые; индивидуальные (тьюторские); моделирующие; программы-тренажёры [2].

Достоинствами ученых программ является – иллюстративность, многофункциональность, мультимедийность, мобильность, вариативность (рис. 2) [3].

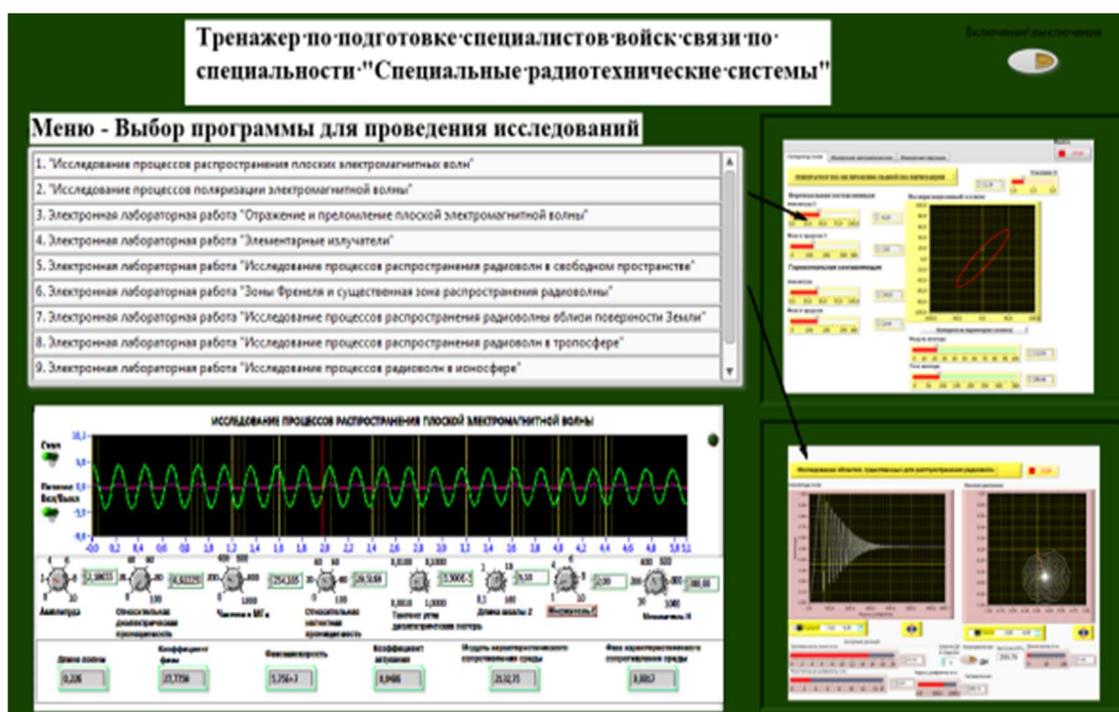


Рис. 2. Диалоговое окно обучающей программы

Мобильные устройства и учебные программы также используются и преподавателями и помогают им контролировать и регулировать индивидуальный процесс обучения, следить за уровнем усвоения учебного материала с учётом уровня подготовленности обучающихся, обеспечивать концентрацию их внимания требуемом уровне изучаемого материала, увеличивать долю самостоятельной работы и регулировать учебную нагрузку при изучении учебной дисциплины (предмета обучения). Применение мобильных обучающих программ уже сегодня позволит решить главную проблему традиционного обучения – низкое воздействие результатов текущего усвоения знаний на ход дальнейшего обучения и относительную пассивность обучаемых в условиях интерактивного метода обучения [2].

Опыт применения мобильных обучающих средств позволил авторам сформулировать и раскрыть требования к ним (рис. 3).

Требование научности обучения, которое обеспечивается соответствием содержания мобильных учебных программ уровню развития современной науки и техники, то есть обучаемым предоставлять доподлинно точную и обоснованную информацию.



Рис. 3. Требования, предъявляемые к мобильным обучающим программам

Требование доступности реализуется в том, что содержание и объем изучаемого, соответствуют абсолютно различным уровням интеллектуального развития учащихся, что существенно повышает возможности групп обучаемых на совершенно различных этапах обучения усвоить предлагаемый материал.

Требование сознательности и активности в обучении при использовании мобильных обучающих средств соблюдается осознанным усвоением информации в процессе активной познавательной деятельности, понимание обучаемыми сущности изучаемых проблем, их убежденности в значимости получаемых знаний, что обеспечивается характером познавательной активности, а также применяемым методом и средствами обучения.

Требование наглядности (мультимедийности) при обучении обеспечивается непосредственно зрительным восприятием, также может широко использоваться при этом слуховое восприятие [3]. Установлено, что эффективность обучения зависит от степени привлечения к восприятию всех органов чувств человека и реализуется путем демонстрации изучаемых объектов, иллюстрации процессов и явлений, наблюдений за происходящими явлениями и процессами. При этом наглядность (мультимедийность) у обучаемых появляется интерес к учебе, развивается наблюдательность, внимание, мышление, знания приобретают личностный смысл.

Требование систематичности и последовательности предполагает преподавание и усвоение знаний в определенном порядке, системе, что требует логического построения, как содержания, так и процесса обучения.

Требование прочности усвоения знаний предполагает их стойкое закрепление в памяти обучаемыми. Содержания материала электронной справочной системы, их структуры обеспечивают достаточную прочность усвоения учебного материала и субъективного отношения, обучаемых к данным знаниям, обучению, преподавателю; память носит избирательный характер, поэтому прочнее закрепляется и дольше сохраняется важный и интересный для обучаемых учебный материал.

Требование связи теории с практикой предполагает, что изучение осуществляется в тесной связи с раскрытием важнейших путей их использования в жизни.

Например, задачи, которые должна решать мобильная обучающая программа, разработанная для изучения тактико-специальных дисциплин [1]:

- изучение тактико-технических данных аппаратных и станций;
- выбор задания для выполнения;
- выбор режима работы;
- формирование организационно-технической структуры узлов связи;
- подготовка модели размещения узлов связи на местности;
- решение задачи по определению путей прохождения сообщения (сигналов).

Диалоговое окно разработанной программы для изучения тактико-специальных дисциплин представлено на рис. 4.

Использование интерактивной модели узла связи (УС) позволяет обучающемуся выбирать интересующий элемент узла связи нажатием на него (например, ГрРСМ). В новом открывшемся окне можно получить

информацию о назначении и составе ГрРССМ, назначении и ТТХ основной техники ГрРССМ (рис. 5).

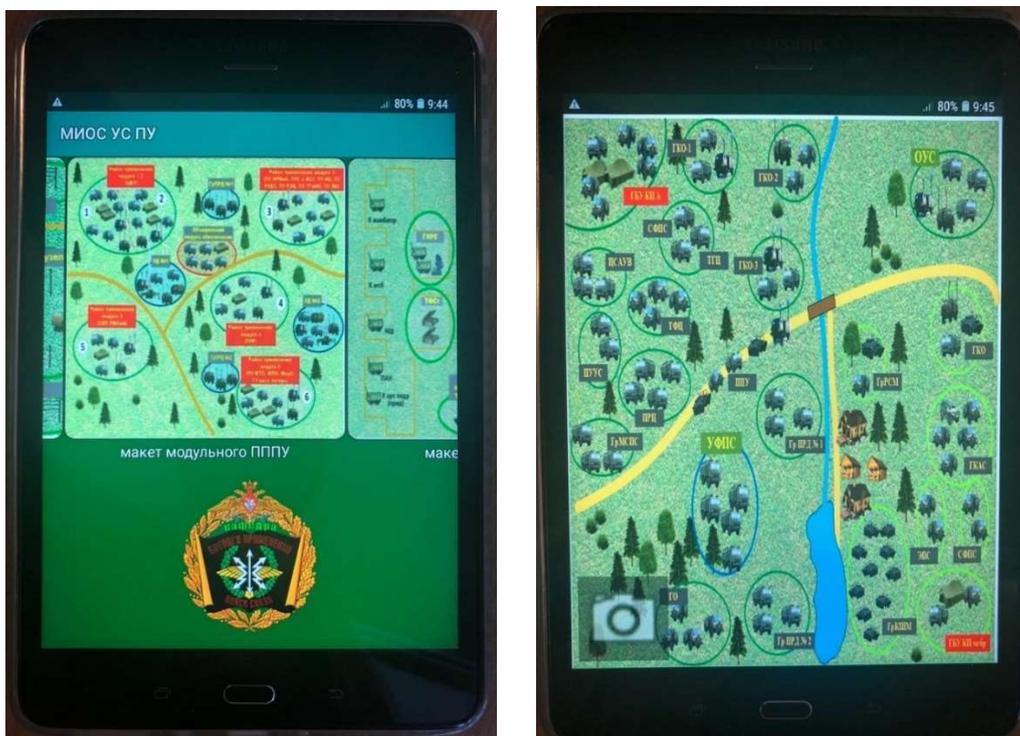


Рис. 4. Скриншоты с экрана планшета с запущенной программой

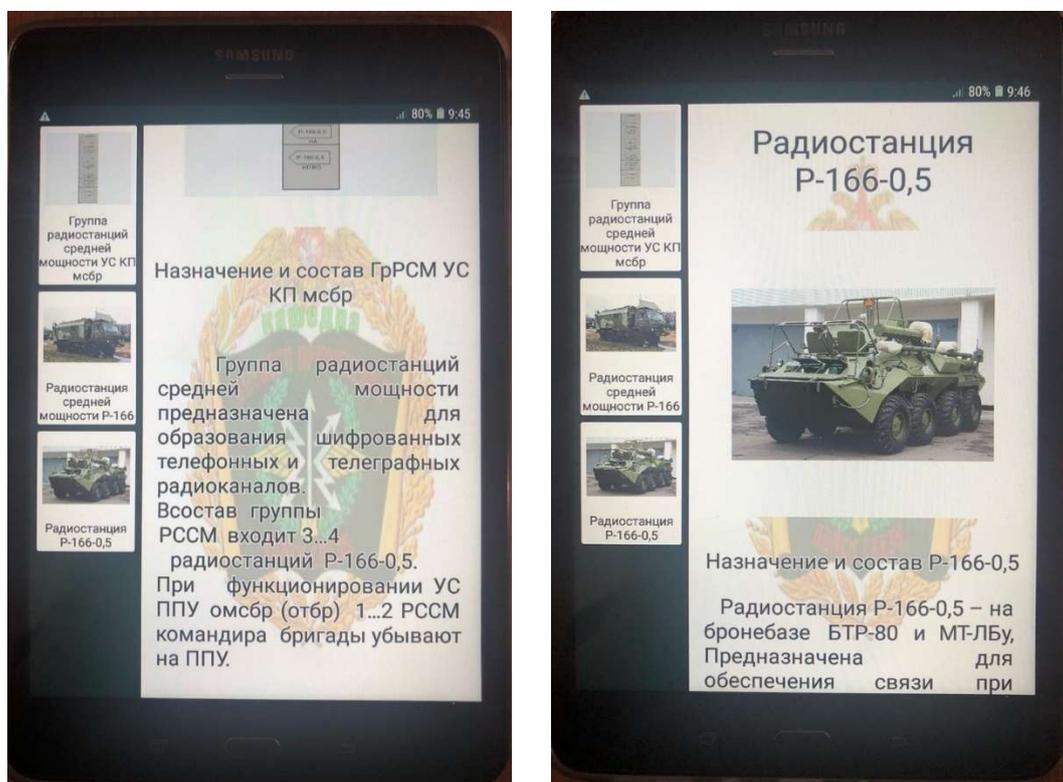


Рис. 5. Скриншоты с экрана планшета с описанием элемента узла связи и средств связи

В ходе ознакомления с элементами УС различных уровней пользователь осуществляет выбор элементов, представленных на фотографии схем размещения. При применении программы обучающийся может осуществить контроль своих знаний.

Как показала практика применения авторами статьи учебных приложений для мобильных устройств что информационные технологий позволяют реализовывать интерактивные обучающие и информационные системы, САПР и др.

Список используемых источников

1. Иванов В. Г., Корниенко Е. А., Панихидников С. А., Тевс О. П. Модель электронно-программного тренажера для изучения полевых узлов связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 2 т. СПб. : СПбГУТ, 2015. Т. 2. С. 1237–1242.

2. Запалова А. В., Иванов В. Г. Повышение познавательной активности обучаемых при использовании интерактивного тренажера // 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. 250–254.

3. Иванов В. Г., Панихидников С. А., Кутенко В. А., Хвостова К.А. Применению технологий виртуальных интерактивных 3D панорам при изучении узлов связи пунктов управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. III Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. 2014. С. 825–829.

УДК 654.026
ГРНТИ 49.33.29

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТУПНОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. Г. Исаченко, С. В. Поляков, О. П. Тевс

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

В статье представлена методика расчета доступности системы связи специального назначения, которая заключается в оценке доступности узлов связи к ресурсу транспортной сети связи на основе коэффициента доступности узла связи, определяемом через функциональную зависимость пропускной способности и дальности связи линий связи привязки. Разработанные предложения позволяют оценить доступность системы связи для обеспечения должностным лицам своевременной передачи (приёма) сообщений.

доступность системы связи, доступность узла связи, показатели доступности, коэффициент доступности, узел связи специального назначения, узел доступа, транспортная сеть связи, линия связи привязки, пропускная способность, дальность связи.

Доступность системы связи специального назначения как доступность должностных лиц (ДЛ) пунктов управления к услугам и видам связи обеспечивается через доступность к ресурсу транспортной сети связи (ТСС) узлов связи специального назначения (УС СН). Доступ узла связи к ресурсу ТСС определяется через возможность развертывания линий связи привязки от УС СН в любом из запланированных районов развертывания минимум к одному из узлов связи ТСС (опорных и вспомогательных узлов связи (ОУС и ВУС), стационарных узлов связи (СУС), узлов связи Единой сети электросвязи России (УС ЕСЭ РФ) и т.д.) с возможностью выхода через данный ОУС (ВУС, СУС, УС ЕСЭ РФ) на любой другой УС СН, с которым требуется обеспечить связь [1, 2]. Узел связи, обеспечивающий выход УС СН на ресурс ССОП (ТСС), определяется как узел доступа (УД).

Транспортная сеть связи специального назначения характеризуется зоной покрытия $\{S_i\}$, представляющей собой часть зоны ответственности, назначенной войскам, для которой обеспечиваются необходимые энергетические соотношения на линии связи привязки от УД к УС СН при определенных параметрах средств связи у пользователя, а также зоной пересечения $\{S_M\}$, т. е. частью территории, на которой возможно использование ресурса одного и более элементов транспортной сети связи (УД). В свою очередь размеры зон покрытия, а с ними и размеры зоны пересечения зависят от тактико-технических характеристик средств связи, высоты поднятия антенн, рабочей частоты и помеховой обстановки в районе выполнения задач.

Для определения значения S_M в настоящее время принят упрощенный подход, при котором зоны покрытия каждого i -го элемента сети связи аппроксимируются геометрическими окружностями [1, 3]. При этом размеры радиуса зон покрытия определяются исходя из предельных значений соотношений уровня радиосигнала станций к уровню помех при равномерном распространении радиоволн на всех направлениях или исходя из дистанции прямой видимости корреспондирующих станций, без учета помеховой обстановки в точках приема сигнала.

Так, расчет S_i производится по следующей формуле:

$$S_i = \pi \cdot R_i^2,$$

где $R_i = K(f) \cdot \sqrt{H_{ai}}$ – радиус зоны покрытия i -го элемента ТСС (УД), H_{ai} – высота подъема антенн, $K(f)$ – усредненный коэффициент, зависящий от рабочей частоты f линии связи.

Для оценки доступности сети связи вводится показатель d_M , который имеет смысл вероятности того, что в данной точке района ведения боевых действий пользователь может получить доступ не менее чем к M элементам сети связи [1, 3]. Данный показатель может быть рассчитан по формуле:

$$d_M = \frac{S_M}{S_{\text{общ}}},$$

где $S_{\text{общ}}$ – общая площадь зоны ответственности (боевых действий) объединения; S_M – площадь зоны пересечения с не менее чем M элементами ТСС (УД) (предоставляющих независимые пути доставки сообщений).

Такой подход абсолютно не учитывает пропускной способности каждой конкретной линии связи привязки, являющейся основной характеристикой, раскрывающей физический смысл доступности [4, 5], определяющей возможность своевременного обмена сообщениями между УС СН с использованием ресурса ТСС. Таким образом, доступность следует определять функцией, зависящей непосредственно от дальности связи и пропускной способности. Предлагается доступность УС СН к ТСС оценивать через коэффициент доступности $K_{\text{дост}}$ как вероятность доступа должностного лица пункта управления к ресурсу системы связи через ресурс УС в любой точке зоны боевых действий (в любом из запланированных районов развертывания УС СН). Тогда

$$K_{\text{дост}} = f(C, R).$$

Способность УС СН использовать ресурс ТСС через линии связи привязки к УД в любом из запланированных районов развертывания определяется ограничениями в дальности работы средств связи на линиях связи привязки, основными из которых на существующих и перспективных узлах связи есть и будут радиорелейные станции и станции широкополосного радиодоступа, т. е. средства ультракоротковолнового (УКВ) диапазона.

Оценивая доступность УС СН к УД применительно к реальной местности проведения операции, следует учитывать, что использование УКВ-диапазона частот ограничивается требованиями прямой видимости между антеннами передатчика и приемника, которое вытекает из прямолинейности распространения этих волн. Исходя из того, что на дальность связи влияет не только высота поднятия антенн, но и диапазон рабочих частот, то реальная дальность связи будет рассчитываться в соответствии с моделью распространения радиоволн УКВ диапазона [6]:

$$L_c = A + B \lg R,$$

где параметры A и B зависят от типа местности, частоты F (МГц) и высоты поднятия антенн h_1 и h_2 .

Для расчета параметров A и B воспользуемся моделью распространения радиоволн Окамура и Хата [6]:

$$A = 69,55 + 26,16 \lg F - 13,82 \lg h_1 - a(h_2),$$
$$B = 44,9 - 6,55 \lg h_1,$$

где $a(h_2)$ – поправочный коэффициент, который зависит от высоты антенны второй станции, равный

$$a(h_2) = (1,1 \lg F - 0,7)h_2 - (1,56 \lg F - 0,8).$$

Если для передающей и приемной станций известны коэффициенты усиления антенн ($G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$), мощность передатчика $P_{\text{прд}}$ и чувствительность приемника $P_{\text{прм}}$, то, в соответствии с первым уравнением передачи [6]:

$$L_c = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{прм}},$$

преобразовав формулу (4) к виду

$$R = 10^{\frac{L_c - A}{B}},$$

рассчитываем среднюю дальность связи.

Помимо удаления УС СН от УД, важной характеристикой линий связи привязки является их пропускная способность C , которая для УКВ-радиосредств, в строгом соответствии с теоремой Шеннона-Хартли, является функцией, обратно пропорциональной дальности связи R [4, 5, 6].

Экспоненциальная функция относится к числу самых распространенных моделей в природе. Физический смысл числа e , как основания экспоненциальной зависимости (функции комплексного переменного) отражает один из основных законов – закон сохранения энергии через однородность времени [7].

Опираясь на физический смысл коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ и частном случае нормального закона распределения случайных величин, называемым распределением Релея [8], зная, что пропускная способность C (которая определяется частотой сигнала, т. е., другими словами функцией времени) и дальность связи R (которая определяется мощностью, т. е. энергией сигнала) являются обратно пропорциональными зависимыми величинами, можно определить их зависимость как

$$K_{\text{дост } i} = 1 - \exp \frac{C_i}{R_i},$$

где $K_{\text{дост } i}$ – коэффициент доступности УС СН к УД по конкретной i -ой линии связи привязки; C_i – пропускная способность (в Мбит/с) конкретной i -ой линии связи привязки; R_i – дальность связи (в км) конкретной i -ой линии связи привязки между УС СН и узлом доступа.

Стоит отметить, что в итоге доступность УС СН к ресурсу ТСС определяет суммарную пропускную способность или количество каналов, передаваемых от УД к УС СН. При этом развертываемые линии связи привязки должны обеспечивать передачу и прием информации (информационную нагрузку) от УС СН если не в полном объеме, то не ниже заданного уровня (по пропускной способности). Для обеспечения гарантированной передачи сообщений на УС осуществляется резервирование линий связи привязки, в итоге суммарная пропускная способность на направлениях связи значительно превышает реальные потребности.

Если от УС СН развернуто n параллельных линий связи привязки к одному или нескольким узлам доступа, то обобщенный коэффициент доступности УС ПУ $K_{\text{дост}}$ можно определить выражением

$$K_{\text{дост}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - K_{\text{дост } i}).$$

Предложения по критериям оценки доступности конкретного УС СН к транспортной сети связи, с учетом обеспечения требуемого уровня пропускной способности, представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Критерии оценки доступности узла связи пункта управления

«Отлично» (доступность обеспечивается в полном объеме)	Если по линиям связи привязки может быть обеспечен обмен не менее 100 % информационной нагрузки узла связи и значение коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ составляет более 0,8.
«Хорошо» (доступность может быть затруднена)	Если по линиям связи привязки может быть обеспечен обмен не менее 80 % информационной нагрузки узла связи и значение коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ составляет 0,6–0,8.
«Удовлетворительно» (доступность на грани срыва)	Если по линиям связи привязки может быть обеспечен обмен не менее 60 % информационной нагрузки узла связи и значение коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ составляет 0,3–0,59.
«Неудовлетворительно» (доступность не обеспечивается)	Если не выполнены требования на оценку «удовлетворительно», т. е. если по линиям связи привязки не может быть обеспечен обмен более 60 % информационной нагрузки узла связи или значение коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ составляет менее 0,3.

На основе рассчитанных значений коэффициента доступности $K_{\text{дост}}$ всех N развернутых в зоне ответственности УС СН, можно осуществлять

оценку коэффициента доступности системы связи в целом $K_{\text{дост сс}}$. Оценку доступности системы связи предлагается осуществлять в соответствии с таблицей 2 (см. ниже) на основе усредненного значения коэффициентов доступности всех входящих систему связи УС СН:

$$K_{\text{дост сс}} = \frac{\sum_{n=1}^N K_{\text{дост } n}}{N}.$$

Предлагаемая методика определения показателей доступности УС СН к ресурсу ТСС позволяет оценить структурно-технические решения по построению системы связи специального назначения с точки зрения ее способности обеспечить своевременную передачу (приём) сообщений должностными лицами пунктов управления [3, 5, 9]. Совместно с другими показателями качества они позволяют оптимизировать структуру системы связи с целью обеспечения ее устойчивого функционирования и передачи необходимого потока сообщений в любой точке полосы оперативного построения (зоны ответственности) войск.

ТАБЛИЦА 2. Критерии оценки доступности системы связи

«Отлично»	Если обеспечивается привязка всех УС СН в районах оперативного (боевого) предназначения к УД ССОП (ЕСЭ РФ, СУС, ТСС), а расчетное значение коэффициента доступности $K_{\text{дост сс}}$ составляет не менее 0,7
«Хорошо»	Если обеспечивается привязка не менее 80% УС СН в районах оперативного (боевого) предназначения к УД ССОП (ЕСЭ РФ, СУС, ТСС), а расчетное значение коэффициента доступности $K_{\text{дост сс}}$ составляет не менее 0,6
«Удовлетворительно»	Если обеспечивается привязка не менее 60% СН в районах оперативного (боевого) предназначения к УД ССОП (ЕСЭ РФ, СУС, ТСС), а расчетное значение коэффициента доступности $K_{\text{дост сс}}$ составляет не менее 0,5
«Неудовлетворительно»	Если не выполнены требования на оценку «удовлетворительно»

Список используемых источников

1. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях : учебник. Часть 2. Научно-практические основы построения организационно-технических систем военной связи / Под ред. Ю. А. Пирогова. СПб. : ВАС, 2007. 540 с.
2. Иванов В. Г., Панков Р. Н., Удальцов А. В. Исследование вопросов оценки пропускной способности транспортной сети связи специального назначения // Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб. : СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 371–376.

3. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб. : ВАС, 2006. 184 с.
4. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи : учебник для вузов. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 400 с.
5. Попов Г. Н., Кулеша О. П. Расчет и измерение качественных показателей транспортной сети связи : учебное пособие. Новосибирск : СибГУТИ, 2002. 103 с.
6. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Дмитриев В. И. Системы мобильной связи. СПб. : СПбГУТ, 1999. 330 с.
7. Горобец Б. А. Мировые константы «пи» и «е» в основных законах физики и физиологии // Наука и жизнь. 2004. № 2. С. 48–54.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для вузов. 5-е изд. М. : Высш. шк., 1998. 576 с.
9. Калмыков Д. А., Кривцов С. П., Тевс О. П. Расчет своевременности доставки сообщений в системе связи специального назначения в условиях воздействия противника // Труды учебных заведений связи. СПб. : СПбГУТ, 2016. № 4. Т. 2. С. 67–73.

УДК 654.026
ГРНТИ 49.33.29

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЕВОГО КОМПОНЕНТА СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. Г. Исаченко, О. П. Тевс

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

В статье представлена пространственная модель сети связи специального назначения, разработанная для формализации и проведения параметрическо-топологического синтеза структуры полевого компонента сети связи. Модель основана на «путевом методе», где основными показателями пути доставки сообщений выступают пропускная способность и живучесть пути, а в качестве ограничений – ресурс сил и средств связи.

полевой компонент сети связи специального назначения, пространственная модель сети связи специального назначения, топологическая структура, силы и средства связи, пропускная способность, живучесть.

Потребности государственного и военного управления в условиях кризисных ситуаций и проводимых операций требуют наращивания структурных характеристик и функциональных возможностей сетей связи специального назначения (СССН), в первую очередь на основе полевого компонента. Под полевым компонентом сети связи специального назначения (ПК СССР)

необходимо понимать часть сети связи специального назначения, обеспечивающую потребности государственного и военного управления из районов, не оборудованных в отношении связи стационарными средствами.

Основной задачей построения ПК СССН является выбор (формирование) методики, представляющей собой, как правило совокупность частных методик и моделей для определения показателей СССН, которые позволяют в различных условиях обстановки при использовании минимального расхода ресурсов сил и средств связи создать рациональный вариант построения СССН с целью обеспечения качественного обслуживания абонентов специальной связи на полевых пунктах управления.

В основу методики разработки отдельных вариантов структуры ПК СССН предлагается положить модель сети связи, формируемую на основе метода «микроподхода» [1] в сочетании с логическим анализом результатов синтеза, который предполагает пошаговый синтез системы. Содержанием каждого шага будет являться синтез отдельных элементов (модулей) СССН, объединенных общим функциональным признаком (узлы связи специального назначения (УССН) полевых пунктов управления, элементы (узлы связи) полевой транспортной сети связи (ТСС) специального назначения, линии прямой связи и линии связи привязки к ТСС) в конкретных внешних условиях с последующей увязкой элементов в систему.

Задача построения (синтеза) одновременно включает в себя и задачу анализа, чтобы проверить, соответствует ли синтезированная структура заданным изначально требованиям. В процессе проектирования синтез и анализ реализуются для каждого из вариантов построения сети до получения наиболее приемлемого (с точки зрения соответствия заданным требованиям).

К исходным данным задачи синтеза ПК СССН относятся: количество и места расположения УССН; совокупность направлений связи и для каждого из них требуемое число типовых каналов передачи; емкость (пропускная способность) систем передачи из набора доступных средств каналообразования (ПЦИ, СЦИ, АТМ, *Ethernet*); требования к структурной живучести транспортной сети; ограничения (на места расположения узлов, на конфигурацию сетки линий, на использование конкретных типов систем передачи и пр.).

Факторы, которые определяют особые условия развертывания и функционирования ПК СССН в районах, не оборудованных в отношении связи стационарными средствами можно разделить на две группы: внешние и внутренние. К первым из них относятся [2, 3]:

- развитие форм и способов ведения войн шестого поколения (увеличение возможностей противника по деструктивному воздействию);
- широкомасштабное применение средств радиоэлектронной борьбы.

К внутренним факторам относится применение новых средств связи, основанных на технологии ISDN и коммутации пакетов, при этом возможности полевых средств связи по каналообразованию и пространственному охвату территории являются всегда ограниченными исходя из наличия и технических характеристик используемых средств.

На первом этапе построения ПК СССН представляется в виде топологической структуры. Топологическая структура представляет собой совокупность УССН, узлов связи ТСС и линий связи в их взаимном расположении [4, 5]. Топологическая структура, не только отражает элементный состав сети и наличие связей в ней, но и учитывает такие пространственные характеристики, как протяженность линий связи, их пропускные способности, районы развертывания УССН, узлов связи ТСС, а также задействованных объектов стационарного компонента СССН и элементов Единой сети электросвязи (ЕСЭ) РФ.

В настоящее время ПК СССН является продолжением стационарной сети не только в пространственном, но и в технологическом аспекте и носит локально-фрагментарный характер исходя из пространственных показателей региона, наличия в нем элементов стационарного компонента и элементов ЕСЭ РФ, а также ограниченных возможностей ресурса по развертыванию полевого компонента.

В качестве топологической (пространственной) модели ПК СССН предлагается использовать модель сети связи (рис., см. ниже), которая характеризуется следующими параметрами [4]:

– параметры узловой основы: множество УССН $A = \{a_i\}$, $i = 1, \dots, N$; для каждого узла связи a_i определяются возможности УССН по производительности (исходящая нагрузка λ_i), характеристика живучести p_i ; задействованные силы и средства связи R_i ;

– параметры сетки линий связи: конфигурация сетки линий $B = \{b_{ij}\}$; пропускная способность c_{ij} или канальная емкость u_{ij} каждой линии; живучесть p_{ij} ; силы и средства R_{ij} ;

– параметры сетки пучков каналов: потребность корреспондирующей пары узлов z_{ij} ; конфигурация сетки пучков V и канальная емкость v_{ij} пучка между узлами корреспондирующей пары z_{ij} узлов a_i и a_j .

Важным понятием потоковой структуры СССН является корреспондирующая пара узлов, под которой понимается два УССН, между которыми существует потребность в каналах передачи $z_k = (a_p a_q)$ и формируется тракт (путь) pq для передачи сообщений.

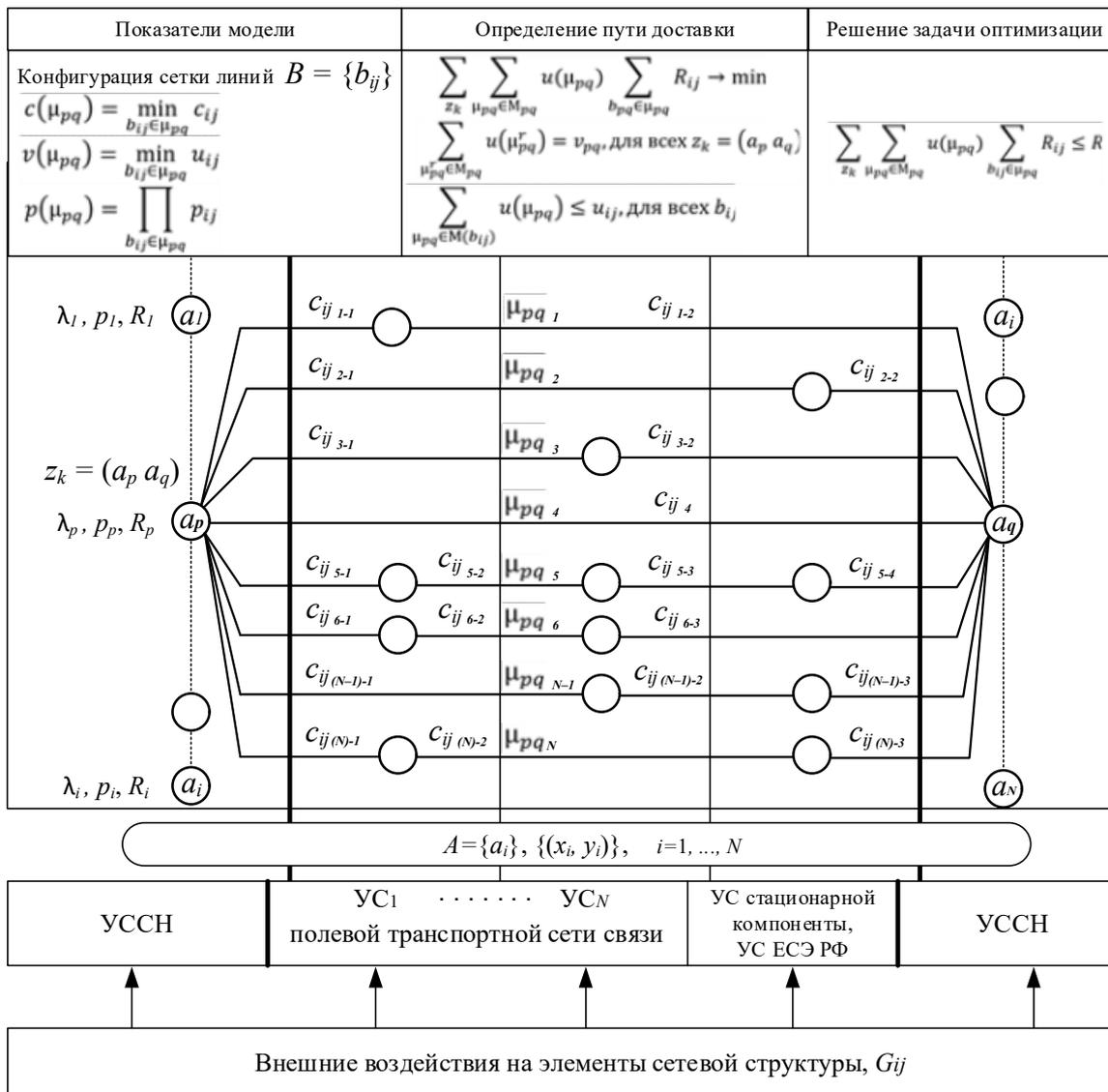


Рисунок. Графо-аналитическое представление пространственной модели системы связи специального назначения

Основными количественными показателями представленной модели полевого компонента СССН являются:

пропускная способность сети, определяемая выражением:

$$c(\mu_{pq}) = \min_{b_{ij} \in \mu_{pq}} c_{ij},$$

где μ – путь между УССН a_p и a_q ;

канальная емкость пути, определяемая выражением:

$$v(\mu_{pq}) = \min_{b_{ij} \in \mu_{pq}} u_{ij},$$

где u_{ij} – канальная емкость ребра b_{ij} ;

живучесть пути, определяемая выражением:

$$p(\mu_{pq}) = \prod_{b_{ij} \in \mu_{pq}} p_{ij}.$$

С помощью предлагаемой модели решаются задача синтеза и поэтапного (после формирования каждого отдельного пути) анализа топологической и потоковой структуры СССН в путевой форме.

Пусть на сети с известными параметрами узловой основы и сетки линий для каждой пары узлов $z_k \in Z$ заданы требования v_{pq} в каналах передачи и найдено на сетке линий множество $M_{pq} = \{\mu_{pq}\}$ пригодных путей организации составных каналов. Путь μ_{pq} из узла связи a_p в узел связи a_q – это упорядоченная совокупность элементов сетки линий, начинающаяся в узле a_p и заканчивающаяся в узле a_q . На практике не все пути на сетке линий могут быть использованы при организации составных каналов.

В общем виде путевое распределение требований в каналах передачи v_{pq} множества корреспондирующих пар в режиме одновременной связи можно получить в результате решения следующей задачи оптимизации ресурса сил и средств связи:

$$\sum_{z_k} \sum_{\mu_{pq} \in M_{pq}} u(\mu_{pq}) \sum_{b_{pq} \in \mu_{pq}} R_{ij} \rightarrow \min,$$

при условиях, что все требования корреспондирующих пар будут удовлетворены кондиционными путями, то есть:

$$\sum_{\mu_{pq}^r \in M_{pq}} u(\mu_{pq}^r) = v_{pq}, \text{ для всех } z_k = (a_p, a_q),$$

а число задействованных каналов связи на линиях передачи не будет превышать мощности этих линий, то есть:

$$\sum_{\mu_{pq} \in M(b_{ij})} u(\mu_{pq}) \leq u_{ij}, \text{ для всех } b_{ij},$$

где $u(\mu_{pq})$ – емкость ребра b_{ij} , задействованная при распределении требований в каналах передачи v_{pq} ; $M(b_{ij})$ – множество всех путей, проходящих по ребру b_{ij} .

Строгое решение этой задачи может быть получено при использовании метода целочисленного линейного программирования [5]. На практике

не всегда требуется определить оптимальное решение. Достаточно найти превосходное или по-другому рациональное (соответствующее критериям базовых требований) решение. В этом случае задается только ограничение на применяемые силы и средства связи в следующем виде:

$$\sum_{z_k} \sum_{\mu_{pq} \in M_{pq}} u(\mu_{pq}) \sum_{b_{ij} \in \mu_{pq}} R_{ij} \leq R, \quad (1)$$

при условиях, что все требования корреспондирующих пар будут удовлетворены кондиционными путями, а число задействованных каналов линий передачи не будет превышать мощности этих линий.

При такой постановке не требуется искать оптимальное решение – любое решение, удовлетворяющее условию (1), можно считать искомым, то есть соответствующее требованиям.

Таким образом, для формализации ПК СССН и проведения параметрическо-топологического синтеза ее структуры может быть использована представленная пространственная графоаналитическая модель СССН, основанная на «путевом методе», где в качестве основных показателей выступают пропускная способность (канальная емкость) и живучесть пути, а в качестве ограничений – ресурс сил и средств связи.

Несмотря на некоторые недостатки [5, 6], «путевые методы» формирования СССН имеют неоспоримое достоинство: при положительном решении задачи синтеза и поэтапного анализа сети связи будет одновременно получен план распределения каналов на линиях связи транспортной сети связи, то есть положительно решается задача статической маршрутизации.

Представленная модель позволяет применять ее как в работе должностных лиц органов управления связью при формировании системы связи в операции, так и использовать для дальнейшей разработки методик и формализации основных этапов функционального и системотехнического проектирования СССН. Модель позволяет:

минимизировать затраты ресурсов сил и средств связи при проведении расчетов по разработке вариантов структуры ПК СССН и определять оптимальное количество УСН и узлов связи ТСС в зависимости от складывающейся обстановки;

учитывать коэффициент использования пропускной способности линий связи полевого и стационарного компонент СССН;

определять единые инфраструктурные подходы к развитию перспективной системы специального назначения с учетом параметров ее функциональных свойств.

Список используемых источников

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 339 с.

2. Воробьев И. Н., Киселев В. А. От современной тактики к тактике сетецентрических действий // Военная мысль. 2011. № 8. С. 18–27.
3. Горбачев Ю. Е. Сетецентрическая война: миф или реальность? // Военная мысль. 2006. № 1. С. 66–76.
4. Рогинский В. Н., Харкевич А. Д., Шнепс М. А. и др. Теория сетей связи: учебник для электротехнических вузов связи. М. : Радио и связь, 1981. 192 с.
5. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем : учебник. 7-е изд. М. : Юрайт, 2015. 344 с.
6. Габдуллин А. Р., Иванов В. Г., Панихидников С. А. Комплексная модель формирования основных компонентов технической основы системы управления специального назначения в Едином информационном пространстве // Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб. : СПбГУТ, 2016. Т. 3. С. 171–175.

УДК378.4
ГРНТИ 14.15.07

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ В ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЦЕНТРЕ ПРИ СПБГУТ

В. М. Козырев, Ю. Ф. Лашин, А. В. Новак

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

С 2019 года в Вооруженных Силах Российской Федерации, гражданских вузах, где осуществляется военная подготовка, организовано проведение военно-политической работы. Организация военно-политической работы в Вооруженных Силах осуществляется в соответствии с нормативно-правовой базой Российской Федерации.

О методике проведения военно-политической работы в Военном учебном центре при Санкт-Петербургском государственном университете и будет рассказано в данной статье.

военная подготовка, Военный учебный центр, методика, подготовка, занятие.

Организация военно-политической работы (ВПР) в Вооруженных Силах Российской Федерации осуществляется в соответствии с Конституцией Российской Федерации, федеральными конституционными законами, федеральными законами, актами Президента Российской Федерации, в том числе издаваемыми им как Верховным Главнокомандующим Вооруженными Силами Российской Федерации, Правительства Российской Федерации, нор-

мативными правовыми актами федеральных органов исполнительной власти, изданными в пределах их компетенции, а также нормативными правовыми актами Министерства обороны РФ.

Основными руководящими документами, регламентирующими организацию и проведение ВПР в гражданских вузах, являются приказы Минобороны России [1–3].

В современных условиях углубления общественной и международной нестабильности, военно-политическая работа, проводимая в Вооруженных Силах Российской Федерации, имеет важное значение. Как известно, армия является одним из основных элементов государства, обеспечивающем его суверенитет, поддержку конституционного строя, законно избранной народом политической власти. Несмотря на определенные ограничения, армия не может быть изолированной от политики. Каждый гражданин должен четко понимать свои конституционные обязанности по защите Отечества, поддерживать государственную политику в области обороны и военной безопасности своей страны, решения Президента Российской Федерации – Верховного Главнокомандующего Вооруженными Силами Российской Федерации, Министра обороны Российской Федерации по вопросам строительства и подготовки Вооруженных Сил.

В военном учебном центре (ВУЦ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) осуществляется военная подготовка граждан Российской Федерации по программам подготовки офицеров запаса и офицеров кадра.

ВПР в ВУЦ СПбГУТ проводится в целях поддержания высокого морально-психологического состояния обучающихся и работников ВУЦ, правопорядка и дисциплины [3].

ВПР 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 [2].

Что касается преподавательского состава и работников ВУЦ СПбГУТ, то эта категория граждан с устоявшимися взглядами на протекающие общественно-политические процессы в стране и мире, имеющие богатый житейский опыт. Часть сотрудников ВУЦ имеет опыт участия в боевых действиях локальных конфликтов, как на территории Российской Федерации, так и вне

ее. Плановое проведение мероприятий ВПР обеспечивает высокое морально-психологическое состояние работников военного учебного центра, что подтверждается проведенными в последнее время всесторонней проверки военного учебного центра Главным управлением кадров Министерства обороны Российской Федерации, проверками по частным вопросам Главного управления связи Министерства обороны Российской Федерации.

Категория граждан, обучающихся по программам военной подготовки, это молодые люди, принявшие решение по освоению военных специальностей. И здесь, при обучении, важную роль, наряду с освоением военной специальности, имеет организация ВПР именно с этой категорией граждан, как будущих специалистов для Вооруженных Сил Российской Федерации.

ВПР в ВУЦ планируется, организуется и проводится под руководством начальника ВУЦ в соответствии с требованиями общевоинских уставов Вооруженных Сил Российской Федерации, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 10 ноября 2007 г. № 1495 «Об утверждении общевоинских уставов Вооруженных Сил Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2007, № 47 (ч. I), ст. 5749; 2020, № 28, ст. 4415), приказов Министра обороны Российской Федерации в области организации ВПР[2].

ВПР осуществляется по следующим основным направлениям (мероприятиям): работа по поддержанию правопорядка и воинской дисциплины; военно-политическая пропаганда и агитация; психологическая работа; военно-социальная работа; культурно-досуговая работа; индивидуальная работа с личным составом; другие мероприятия [2].

Рассмотрим подробнее мероприятия военно-политической пропаганды и агитации.

Основными формами военно-политической пропаганды и агитации являются: военно-политическая подготовка (ВПП) личного состава; военно-политическое информирование, прослушивание и просмотр радио- и телевизионных информационных программ; общие собрания, собрания по категориям военнослужащих, агитационно-пропагандистские и патриотические акции, теоретические, научно-практические, военно-научные конференции, диспуты; тематические мероприятия, посвященные государственным праздникам Российской Федерации, другим значимым событиям в жизни страны и Вооруженных Сил, встречи личного состава с командованием, ветеранами и участниками боевых действий, государственными и общественными деятелями; обмен опытом личного состава, добившегося лучших показателей в боевой подготовке; обеспечение личного состава печатными изданиями по установленным нормам; подготовка и распространение агитационно-пропагандистских материалов [2].

ВПП является одним из основных предметов подготовки личного состава Вооруженных Сил Российской Федерации и важнейшей формой военно-политического, государственно-патриотического, воинского, нравственного, правового и эстетического воспитания [1].

Занятия в системе ВПП с военнослужащими-преподавателями военного учебного центра проводятся в группах профессионально-должностной подготовки в течении учебного года в соответствии с приказом начальника ВУЦ «Об организации военно-политической подготовки и информирования личного состава военного учебного центра» на учебный год.

В ходе проведения занятий особое внимание уделяется изучению военнослужащими вопросов государственного и военного строительства, военно-политической обстановки, предназначения Вооруженных Сил Российской Федерации 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.

Занятия начинаются с обязательного военно-политического информирования о наиболее актуальных событиях в мире, России.

Руководителем группы ВПП на учебный год назначается один из наиболее опытных офицеров ВУЦ.

Военно-политическое информирование с военнослужащими-преподавателями проводится также в составе групп ВПП. А именно – плановое информирование в первый и третий понедельник каждого месяца, единый день правового информирования – ежеквартально.

Со студентами ВУЦ, также проводятся плановые занятия по предметам «Военно-политическая подготовка» и «Военно-политическая работа в Вооруженных Силах Российской Федерации», входящим в перечень военно-профессиональных дисциплин, изучаемых в ВУЦ.

В ходе занятий студенты получают знания об организации ВПР в вооруженных силах Российской Федерации, практические навыки планирования, подготовки и проведения мероприятий военно-политической работы в подразделении связи.

Еженедельно со студентами проводится военно-политическое информирование с целью разъяснения личному составу военно-политической (общественно-политической) обстановки, государственной политики в области обеспечения обороны и военной безопасности Российской Федерации, места и роли Вооруженных Сил в системе национальной безопасности, а также задач, поставленных перед органами военного управления, воинскими частями и подразделениями.

Военно-политическое информирование студентов проводят преподаватели ВУЦ, руководители военной подготовки в ВУЦ. При этом активно ис-

пользуется такая форма работы как кураторство. За каждой группой обучающихся в ВУЦ закреплен офицер-преподаватель, в обязанности которого входит проведение военно-политического информирования.

Время для проведения военно-политического информирования предусмотрено в распорядке дня ВУЦ.

Обязательной формой работы со студентами со стороны руководства и кураторов учебных групп является подведение итогов, как ежемесячно, так и по итогам окончания учебного семестра.

Участие студентов в военно-патриотических мероприятиях, проводимых в ВУЦ СПбГУТ, способствует формированию у молодого поколения психологической устойчивости в условиях проводимой информационной войны против Российской Федерации, в особенности против ее молодого поколения, сохранения исторической памяти, обеспечению преемственности поколений.

Подводя итог проводимой, и рассмотренной в статье военно-политической работе в ВУЦ следует отметить, что работа эта носит плановый характер, проводится в соответствии с требованиями приказов Министра обороны, нормативными правовыми актами федерального уровня, Конституции Российской Федерации.

Систематическое обучение работников военного учебного центра практике военно-политической работы повышает ее эффективность.

Проводимая со студентами военно-политическая работа позволяет учитывать динамику формирования профессиональных качеств и индивидуальных особенностей каждого гражданина.

Список используемых источников

1. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 22 февраля 2019 года № 95 «Об организации военно-политической подготовки в Вооруженных Силах Российской Федерации» Москва. 2019.

2. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 22 июля 2019 года № 404 «Об организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации» Москва. 2019.

3. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 26 августа 2020 года № 400 «Об определении Порядка приема и обучения граждан Российской Федерации в военных учебных центрах при федеральных государственных образовательных организациях высшего образования». Москва. 2020.

*Статья представлена доцентом кафедры ЗСС СПбГУТ,
кандидатом педагогических наук, доцентом И. Г. Штеренбергом.*

УДК 621.317
ГРНТИ 49.01.81

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СОЕДИНЕНИЙ (ЧАСТЕЙ) УПРАВЛЕНИЯ (СВЯЗИ), ГОТОВОЙ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПО НАЗНАЧЕНИЮ ТЕХНИКОЙ СВЯЗИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В. И. Криггер¹, А. В. Морозов², Н. Н. Сирко², С. Л. Халепа¹

¹Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье описаны подход к моделированию обеспеченности соединений (частей) связи, готовой к использованию по назначению техники связи и автоматизированных систем управления.

обеспеченность, техника связи и автоматизированных систем управления, готовность к использованию по назначению, показатели системы, отказ.

Для оценки качества функционирования системы ТОС и АСУ необходима взаимосвязь общего показателя производственной деятельности системы ТОС и АСУ с показателями, характеризующими качество выполнения мероприятий ТОС и АСУ. При этом общий показатель должен характеризовать требования, предъявляемые вышестоящими системами – системой технического обеспечения и системой связи [1, 2, 3].

Общим выражением для расчета обеспеченности в процентах (О) части связи готовой к использованию по назначению ТС и АСУ является:

$$O = \frac{(N_{шт} - N_{нк} - N_{от.гин}) \times 100\%}{N_{шт}},$$

где $N_{шт}$ – количество образцов ТС и АСУ по штату (табелю к штату); $N_{нк}$ – количество отсутствующих образцов ТС и АСУ (некомплект); $N_{от.гин}$ – количество образцов ТС и АСУ, у которых произошел отказ готовности к использованию по назначению.

Количество образцов ТС и АСУ в соединении (части) управления (связи) у которых произошел отказ готовности к использованию по назначению, можно рассчитать, зная вероятности нахождения образцов ТС и АСУ в неготовом к использованию по назначению состоянии [4, 5]

по формуле Бернулли, так как отказы готовности к использованию по назначению образцов ТС и АСУ не зависимы друг от друга:

$$P_{N_{\text{от.гин}}} = C_N^{N_{\text{от.гин}}} \times P^{N_{\text{от.гин}}} \times q^{N-N_{\text{от.гин}}},$$

где

$$C_N^{N_{\text{от.гин}}} = \frac{N!}{N_{\text{от.гин}}! \times (N - N_{\text{от.гин}})!},$$

$$q = 1 - P,$$

где $P_{N_{\text{от.гин}}}$ – вероятность появления N_0 отказов готовности к использованию по назначению; $N_{\text{от.гин}}$ – количество образцов ТС и АСУ, у которых произошел отказ готовности к использованию по назначению; N – количество имеющихся в соединении (части) управления (связи) образцов ТС и АСУ, кроме заштатных; $C_N^{N_{\text{от.гин}}}$ – число сочетаний возможных отказов готовности к использованию по назначению ТС и АСУ; P – вероятность отказа готовности к использованию по назначению образца ТС и АСУ; q – вероятность нахождения образца ТС и АСУ в готовности к использованию по назначению.

Таким образом, подход к моделированию обеспеченности соединений (частей) управления (связи) готовой к использованию по назначению ТС и АСУ должен включать четыре этапа [6, 7]:

1. Моделирование состояния готовности составных частей образцов ТС и АСУ к использованию по назначению, на период 1 год:

$$\text{Кгин}_{ij} \rightarrow \text{Кгин}_{ij}^{\text{cp}}, D = \left\{ \begin{array}{l} \text{Псто}_s \in R_{\text{сто}} \mid \text{Псто}_{s1} \leq \text{Псто}_s \leq \text{Псто}_{s2} \\ \text{Птс}_{ijk} \in R_{\text{тс}_{ijk}} \mid \text{Птс}_{ijk} < \text{Птс}_{ijk}^{\text{тех}} \end{array} \right\},$$

где Кгин_{ij} – коэффициент готовности к использованию по назначению j -ой составной части i -го образца ТС и АСУ (i – номер группы однотипных образцов ТС и АСУ, j – номер составной части i -того образца ТС и АСУ); $\text{Кгин}_{ij}^{\text{cp}}$ – усредненный коэффициент готовности к использованию по назначению j -ой составной части i -го образца ТС и АСУ; D – область допустимых значений; Псто_s – показатели системы ТОС и АСУ; Псто_{s1} – нижняя граница показателей системы ТОС и АСУ; Псто_{s2} – верхняя граница показателей системы ТОС и АСУ; Птс_{ijk} – k -ые показатели и параметры различных j -ых составных частей i -ых типов ТС и АСУ, в том числе и показатели надежности; $\text{Птс}_{ijk}^{\text{тех}}$ – k -ые показатели и параметры различных j -ых составных частей i -ых типов ТС и АСУ, ограниченные существующей технологией производства.

Входными данными для 1 этапа являются:

а) $P_{сто_s}$ – s -ые показатели функционирования системы ТЭС и АСУ:

$P_{сто_1}$ – время рабочего дня ($t_{рм}$);

$P_{сто_2}$ – коэффициент хранения ($K_{хр}$);

$P_{сто_3}$ – коэффициент технического обслуживания (КТО);

$P_{сто_4}$ – время диагностирования ($t_{д}$);

$P_{сто_5}$ – время организационных потерь при текущем ремонте ($t_{трпр}$);

$P_{сто_6}$ – время технического освидетельствования ($t_{тосв}$);

$P_{сто_7}$ – время на подготовку ТЭС и АСУ к СР или КР ($t_{подТЭС}$);

$P_{сто_8}$ – время на подготовку документов ТЭС и АСУ к СР или КР ($t_{подДок}$);

$P_{сто_9}$ – время на доставку или получение образца ТЭС и АСУ ($t_{дп}$);

$P_{сто_{10}}$ – время на выполнение капитального ремонта ($t_{кр1}$);

$P_{сто_{11}}$ – время на выполнение среднего ремонта ($t_{ср1}$);

$P_{сто_{12}}$ – время доставки элемента подсистемой снабжения ($t_{дэСН1}$);

$P_{сто_{13}}$ – время доставки элемента из группового комплекта ($t_{дэГРк}$);

$P_{сто_{14}}$ – время доставки элемента из индивидуального комплекта ЗИП-О ($t_{дэзипО}$).

б) $P_{тс_k}$ – k -ые показатели и параметры различных i -ых типов ТЭС и АСУ, в том числе и показатели надежности:

$P_{тс_{i,1}}$ – количество i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($T_{с_i}$);

$P_{тс_{i,2}}$ – полный средний срок службы i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($t_{сс_i}$);

$P_{тс_{i,3}}$ – годовая норма эксплуатации i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($t_{нг_i}$);

$P_{тс_{i,4}}$ – средняя наработка между отказами готовности к использованию по назначению i -ых типов образцов ТЭС и АСУ (T_i);

$P_{тс_{i,5}}$ – количество капитальных ремонтов i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($K_{кр_i}$);

$P_{тс_{i,6}}$ – количество средних ремонтов i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($K_{ср_i}$);

$P_{тс_{i,7}}$ – достигнутое среднее время восстановления i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($t_{в_i}$);

$P_{тс_{i,8}}$ – достаточность ЗИП-О i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($D_{зипО_i}$);

$P_{тс_{i,9}}$ – достаточность группового комплекта i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($D_{ГРк_i}$);

$P_{тс_{i,10}}$ – кратность группового комплекта i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($K_{ГРк_i}$);

$P_{тс_{i,11}}$ – количество групповых комплектов для i -ых типов образцов ТЭС и АСУ ($N_{ГРк_i}$);

$P_{ТСi,12}$ – квалификация мастеров ремонтников i -ых типов образцов ТС и АСУ (Кро $_i$);

$P_{ТСi,13}$ – коэффициент готовности базового шасси i -ых типов образцов ТС и АСУ (КгШ $_i$);

$P_{ТСi,14}$ – коэффициент готовности фильтровентиляционной установки i -ых типов образцов ТС и АСУ (КгХ $_i$);

$P_{ТСi,15}$ – коэффициент готовности электроагрегата(ов) i -ых типов образцов ТС и АСУ (КгИ $_i$);

$P_{ТСi,16}$ – коэффициент готовности измерительных приборов i -ых типов образцов ТС и АСУ (КгМ $_i$).

Ограничения: расчет усредненных коэффициентов готовности к использованию по назначению производится только для средств связи [8, 9].

2. Моделирование состояния неготовности образцов ТС и АСУ к использованию по назначению на период 1 год:

$$K_{гинi} \rightarrow K_{нгинi}^{cp}, D = \left\{ \begin{array}{l} P_{сто_s} \in R_{сто} \mid P_{сто_{s1}} \leq P_{сто_s} \leq P_{сто_{s2}} \\ P_{ТСik} \in R_{ТСik} \mid P_{ТСik} < P_{ТСik}^{тех} \end{array} \right\},$$

Входными данными для 2 этапа являются: усредненные коэффициенты готовности j -ых составных частей i -ых типов образцов ТС и АСУ к использованию по назначению на период 1 год.

3. Моделирование максимально возможного количества одновременного появления отказов готовности к использованию по назначению в парке ТС и АСУ соединения (части) управления (связи):

$$N_{от.гин} \rightarrow N_{от.гин}^M, D = \left\{ \begin{array}{l} P_{tr} \in R1_d \mid P_{tr_{зад}} \leq P_{tr} \leq \Delta P_{tr_{зад}} + P_{tr_{зад}} \\ N_{нк} \in R2_d \mid N_{нк} \leq N_{шт} \times \left(1 - \frac{O_{тр}}{100}\right) - N_{от.гин}^M \end{array} \right\},$$

где $N_{от.гин}$ – количество отказов готовности к использованию по назначению в парке ТС и АСУ соединения (части) управления(связи); $N_{от.гин}^M$ – моделируемое количество отказов готовности к использованию по назначению в парке ТС и АСУ соединения (части) управления (связи); P_{tr} – погрешность в обеспеченности соединения (части) управления (связи) парком ТС и АСУ, готовой к использованию по назначению (границная вероятность); $N_{нк}$ – комплект ТС и АСУ в соединении (части) управления (связи); $O_{тр}$ – требуемая обеспеченность соединения (части) управления (связи) парком ТС и АСУ, готовой к использованию по назначению.

Входными данными для 3 этапа являются: максимально возможное количество одновременно появляющихся отказов готовности к использованию по назначению в парке ТС и АСУ и усредненные коэффициенты неготовности образцов ТС и АСУ к использованию по назначению на период 1 год.

4. Моделирование обеспеченности (O) соединения (части) управления (связи) парком ТС и АСУ, готовой к использованию по назначению:

$$O = f(K_{\text{гин}}^{\text{cp}}, P_{\text{tr}}) \rightarrow O^M, D = \left\{ \begin{array}{l} K_{\text{гин}} \in R_B \\ P_{\text{tr}} \in R1_{\text{д}} \\ N_n \in R2_{\text{д}} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \Pi_{\text{ctos1}} \leq \Pi_{\text{ctos}} \leq \Pi_{\text{ctos2}} \\ \Pi_{\text{rci1,н1}} \leq \Pi_{\text{rci,н}} \leq \Pi_{\text{rci2,н2}} \\ P_{\text{trзад}} \leq P_{\text{tr}} \leq \Delta P_{\text{trзад}} + P_{\text{trзад}} \\ N_{\text{нк}} \leq N_{\text{шт}} \times \left(1 - \frac{O_{\text{тр}}}{100}\right) - N \end{array} \right. \right\},$$

где O^M – моделируемая обеспеченность части связи парком ТС и АСУ, готовой к использованию по назначению.

Входными данными для 4 этапа являются: максимально возможное количество одновременно появляющихся отказов готовности к использованию по назначению в парке ТС и АСУ.

Список используемых источников

1. ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения».
2. Приказ МО РФ – 2018 г. № 22дсп «Об утверждении Руководства по техническому обеспечению связи и автоматизированных систем управления Вооруженных Сил Российской Федерации».
3. Приказ МО РФ – 2018 г. № 33дсп «Об утверждении Руководства по организации технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники в Вооруженных Силах Российской Федерации в мирное время».
4. Приказ МО РФ – 2014 г. № 333 «Об утверждении Руководства по войсковому (корабельному) хозяйству в Вооруженных Силах Российской Федерации».
5. Приказ МО РФ – 2013 г. № 969 «Об утверждении Руководства по содержанию вооружения и военной техники общевойскового назначения, военно-технического имущества в Вооруженных Силах Российской Федерации».
6. Сагдеев А. К. Применение области неопределенности при оценке технического состояния средств связи. // Сборник докладов Международной НПК № 6 «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики». Новочеркасск : ЮРГТУ, 2005. С. 18–20.
7. Гапочкин А. В., Оберемко А. Г., Пасхальный А. В., Сагдеев А. К. Математическое моделирование эволюционно-технического состояния радиотехнических систем при дискретном восстановлении их работоспособности // Сборник докладов «Первой межрегиональной научной конференции 2006». Ростов-на-Дону : РГТУ, 2006. С. 16–18.
8. Бурлаков А. А., Величко В. М., Заяц С. В., Чихачёв А. В. Состояние и перспективы развития системы технического обеспечения связи и автоматизации // Актуальные

проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 3-х т. 2016. С. 122–126.

9. Дробяскин А. Н., Марченков А. А., Музыкантов А. Н. Стратегии управления запасами специальных средств связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4 т. 2017. С. 391–395.

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

ВЕДОМСТВЕННЫЕ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ: ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК И СРЕДСТВАМ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В. А. Малофеев, И. Б. Паращук, В. А. Сундуков

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

Рассмотрены, систематизированы и проанализированы ключевые требования к средствам обнаружения сетевых атак и унифицированным комплексам многофакторной аутентификации пользователей ведомственных инфокоммуникационных сетей. Проведен анализ классификационных признаков различных затрат на поддержание работоспособности таких объектов, учитывая расходы на устранение негативных итогов возможных нарушений политики информационной безопасности ведомственных сетей подобного класса.

система обнаружения сетевых атак, средства, многофакторная аутентификация, пользователь, инфокоммуникационная сеть, требования, ресурсы.

Ведомственные инфокоммуникационные сети (ИКС) составляют основу региональной инфраструктуры связи. При этом региональная инфраструктура представляет собой взаимоувязанную совокупность региональных и ведомственных ИКС, которые призваны связывать пользователей (абонентов), находящихся на значительном расстоянии друг от друга. Инфокоммуникационные сети такого класса обычно включают пользователей внутри крупного города, экономического региона или даже отдельной небольшой страны.

Вместе с тем, особого внимания заслуживают ИКС ведомственной, корпоративной принадлежности, поскольку вопросы обеспечения информационной безопасности (ИБ) в сетях такого класса наиболее актуальны и «бреши» в системах защиты таких объектов ведут к возникновению далеко идущих негативных последствий [1].

Анализ современных тенденций в формах и методах обеспечения ИБ в ведомственных ИКС показывает, что по-прежнему наиболее важны такие аспекты защиты информации, как защита от сетевых атак и предотвращение несанкционированного доступа нелегитимных пользователей к информационным ресурсам [2, 3].

В этой связи предлагается сформулировать и проанализировать базовые требования к современным средствам и системам обнаружения сетевых атак (СОСА), а также к средствам и унифицированным комплексам многофакторной аутентификации (МФА) пользователей ведомственных инфокоммуникационных сетей.

В частности, к СОСА на ИКС могут предъявляться следующие функциональные требования [4–6]:

1. Оповещение: В СОСА на ИКС должна быть предусмотрена подсистема доведения сигналов предупреждения (оповещения) о нарушениях – о реализуемых сетевых атаках.

2. Дистанционное управление (контроль): Должна быть предусмотрена функция дистанционного контроля всей СОСА на ведомственную ИКС с единого удаленного автоматизированного рабочего места (например, с рабочей станции аудитора безопасности ИКС).

3. Журналирование: Ведение дневников событий (журналов работы) СОСА в удобной для аудитора, настраиваемой форме.

4. Продуктивность СОСА: Нужен контроль и регулировка степени нагрузки от СОСА на ведомственную ИКС.

5. Мультитипирование сетевых атак: Важно гарантировать возможность обнаружения всех типов сетевых атак, причем должны быть предусмотрены механизмы не только обнаружения неизвестных сетевых атак, но механизмы противодействия им.

6. Постоянная защита рабочих станций ведомственной ИКС: На рабочих станциях ведомственной ИКС должно работать программное обеспечение, гарантирующее немедленную реакцию на сетевую атаку.

7. Динамическое обновление коллекции (библиотеки, базы) типов атак и шаблонов (трафаретов) признаков сетевых атак в автоматическом режиме, причем, как на самой СОСА, так и на клиентских рабочих местах.

Аппаратно-программные элементы, подсистемы и комплексы нагрузки от антивирусной защиты СОСА на ведомственную ИКС, призваны, в сово-

купности, составить единую интегрированную вычислительно-аналитическую среду для контроля и достоверной идентификации всего многообразия существующих и потенциальных (перспективных) сетевых атак.

К ключевым принципам построения и совершенствования СОСА на ведомственную ИКС, на наш взгляд, можно отнести:

Стойкость (устойчивость, техническая надежность) – система подобного класса в целом должна обладать способностью оперативного восстановления после сбоя (отказа) и работать вне зависимости от технического состояния отдельных ее элементов, подсистем и комплексов.

Способность справиться с ростом количества и многообразия защищенных объектов (элементов ИКС), а также способность к масштабированию с возрастанием количества и типов возможных сетевых атак.

Публичность (открытость) системы – ее способность пополнять и обновлять свои функции, состав, коллекции (библиотеки, базы) сетевых атак без нарушения работы ведомственной ИКС в целом.

Коммуникабельность (мультиплатформенность, совместимость) программного обеспечения СОСА с точки зрения обнаружения сетевых атак максимально-возможного количества сетевых ресурсов.

Стандартизация (унификация) – элементы, подсистемы и комплексы нагрузки от антивирусной защиты СОСА должны представлять собой однотипные, стандартные, промышленные компоненты, имеющие широкий диапазон использования и апробированные многократным практическим применением.

Более того, СОСА на ведомственную ИКС должна обеспечивать поиск ранее неизвестных атак (шаблонов и признаков атак), как наиболее распространенных и опасных в нынешнее время.

Особые требования предъявляются также к средствам МФА пользователей ведомственных инфокоммуникационных сетей. Обычно рассматривают в комплексе процедуры идентификации и аутентификации. Под термином «идентификация» традиционно подразумевается процесс распознавания элемента ведомственной ИКС, обычно с помощью заранее определенного идентификатора или другой уникальной информации. Каждый субъект или объект ведомственной ИКС может и должен быть гарантированно и недвусмысленно идентифицируем. Под термином «аутентификация» традиционно подразумевается проверка подлинности идентификации пользователя, процесса, устройства или другого компонента ведомственной ИКС (обычно осуществляется перед разрешением доступа). Помимо этого, аутентификацию зачастую рассматривают как контроль целостности и авторства данных при их хранении или передаче по каналам ведомственной ИКС для предотвращения несанкционированной модификации [7, 8].

Многофакторная аутентификация – углубленная аутентификация, метод расширенного контроля доступа и верификации пользователей. Суть

данного метода заключается в процедуре, предусматривающей тот факт, что прежде чем получить доступ к ресурсам ведомственной ИКС, происходит подтверждение пользователем этой сети своей личности с использованием как минимум двух различных личностных признаков (факторов) проверки. Это расширенная проверка подлинности любого пользователя ведомственной ИКС, которого можно недвусмысленно и заведомо однозначно аутентифицировать по имени, паролю, специальному ключу (уникальному идентификатору) и личностным признакам, присущим только этому пользователю. Это реализуется на основе специальных средств и процедур обеспечения защиты от несанкционированного доступа к информации: пароли; технические средства; средства биометрии (отпечаток пальца, селфи, голос и др.); криптография с уникальными ключами для каждого пользователя сети.

В конкретной ведомственной ИКС вопрос о применимости тех или иных средств МФА решается индивидуально для этой сети, в зависимости от потенциальных и выявленных угроз, а также от аппаратно-программных особенностей (технических характеристик) защищаемого объекта.

Особые требования предъявляются к расходам (затратам ресурсов) на осуществление процедур обнаружения сетевых атак и процедур МФА пользователей ведомственной ИКС. Эти затраты можно классифицировать как [9]:

1. Расходы на организацию функционирования – на формирование и поддержание управления СОСА и средствами МФА пользователей ведомственной ИКС.

2. Расходы (затраты) на контроль достижения целей, то есть на определение и подтверждение достигнутого уровня защиты от сетевых атак и от несанкционированного доступа пользователей к ресурсам ведомственной ИКС.

3. Внутренние расходы на устранение негативных итогов (ликвидацию последствий) нарушений политики информационной безопасности ИКС с точки зрения СОСА и МФА – затраты, понесенные ведомственной ИКС в результате того, что требуемый уровень защиты от сетевых атак и от несанкционированного доступа не был достигнут.

4. Внешние расходы на устранение негативных итогов (ликвидацию последствий) возможных нарушений политики информационной безопасности – компенсация потерь при нарушениях, связанных с сетевыми атаками и несанкционированным доступом.

5. Расходы на техническое обслуживание СОСА, средств МФА и мероприятия по предотвращению нарушений политики безопасности ведомственной ИКС (затраты на предупредительные мероприятия).

Таким образом, проведен анализ ключевых требований к средствам обнаружения сетевых атак и унифицированным комплексам многофакторной аутентификации пользователей ведомственных ИКС. Рассмотрены вопросы классификации расходов (затрат) на поддержание работоспособности таких систем и средств, учитывая расходы на устранение негативных итогов возможных нарушений политики информационной безопасности ведомственных ИКС.

Список используемых источников

1. Мэйволд Э. Безопасность сетей. М. : НОУ «Интуит», 2016. 571 с.
2. Биячуев Т. А. Безопасность корпоративных сетей / под ред. Л. Г. Осовецкого. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2004. 161 с.
3. Андриянова Т. А., Саломатин С. Б. Комплексная оценка безопасности ведомственных сетей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2017. Т. 109, № 7. С. 40–44.
4. Вострецова Е. В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 204 с.
5. Виткова Л. А., Паращук И. Б. Анализ современных инновационных решений по выявлению отклонений в эвристиках трафика сверхвысоких объемов для обнаружения сетевых атак и защиты от них // Региональная информатика и информационная безопасность : сб. тр. Вып. 8. СПОИСУ. СПб., 2020. С. 99–102.
6. Desnitsky V. A., Kotenko I. V., Parashchuk I. B. Fuzzy Sets in Problems of Identification of Attacks on Wireless Sensor Networks // 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus-2021), 26–29 Jan. 2021. St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, IEEE Xplore: 09 April 2021. pp. 290–293.
7. Селезнев А. В., Сундуков В. А., Паращук И. Б. Многофакторная аутентификация пользователей информационных систем: особенности и проблемы // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий : материалы VII межрегиональной научно-практической конференции. Севастополь, 21–25 сентября 2021 г. Севастопольский государственный университет, науч. ред. Б. В. Соколов. Севастополь : СевГУ, 2021. С. 51–52.
8. Карманов А. Г., Галимов Т. А. Средства многофакторной аутентификации в современной инфраструктуре безопасности информационных систем // Информация и космос. 2012. № 1. С. 94–97.
9. Цуканова О. А., Смирнов С. Б. Экономика защиты информации: уч. пос., 2-е изд., изм. и доп. СПб. : НИУ ИТМО, 2014. 79 с.

УДК 621.396.24
ГРНТИ49.43.29

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА К ГРУППЕ КОЛЛЕКТИВНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ АНИЗОТРОПНЫХ КАНАЛОВ В СЕТИ ПАКЕТНОЙ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Р. С. Панин, А. Н. Путилин, В. С. Титов

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

Рассматривается возможность построения сети декаметровой радиосвязи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты при коллективном использовании группы анизотропных радиоканалов. Особенности данных сетей являются устойчивостью к изменениям инфраструктуры сети и помеховой обстановки. Коллективное использование частотно-временного ресурса и оптимизация множественного доступа к нему позволяют повысить эффективность использования выделенных ресурсов и пропускную способность сети радиосвязи декаметрового диапазона.

сеть пакетной радиосвязи, декаметровая радиосвязь, псевдослучайная перестройка рабочей частоты, протокол множественного доступа.

Возрастающие потребности в обеспечении связи с мобильными и удаленными абонентами в территориально распределенных информационно-вычислительных сетях, сетях связи и автоматизированных управляющих системах, оснащенных средствами вычислительной техники, приводят к необходимости интенсивного развития автоматизированных радиосетей цифровой передачи сообщений. Коллективное использование корреспондентами пакетных радиосетей (ПРС) обеспечивает ряд их преимуществ перед сетями с коммутацией пакетов на каналах связи другой природы: возможность создания на значительной территории полносвязных сетей; оперативность передачи сообщений во вновь открываемых информационных направлениях; малые затраты на реконфигурацию структуры сетей при воздействии различных дестабилизирующих факторов и нерегулярности трафика; возможность организации связи с подвижными и периодически меняющими местоположения объектами и др.

В сложившихся условиях наиболее перспективной представляется технология построения сетей декаметровой радиосвязи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ), предложенная в работе [1]. Эффективность её применения в сравнении с классическими способами организации декаметровой радиосвязи обусловлена повышением показателей

качества функционирования по предъявляемым требованиям. Повышение разведзащищенности и помехоустойчивости достигается использованием большого количества частот и малым временем существования сигнала на каждой частоте. Это значительно усложняет контроль (системами радиоэлектронной разведки и подавления) сигналов систем связи с ППРЧ и возможность постановки преднамеренных помех.

Решение проблемы случайного совпадения частот при коллективном использовании всеми станциями сети для установления соединения группы стартовых частот, т. е. возникновения внутрисистемных помех, снижающих значение коэффициента готовности связи, обеспечивается синхронизацией их переключения в соответствии с частотно-временным расписанием. На основе сдвига узора переключения по частотам реализуется множество параллельных каналов, ограниченное количеством стартовых частот. Работа сети осуществляется путем случайного занятия свободных ячеек в частотно-временной матрице. Для включения новых абонентов достаточно представить только им частотный план и ключ ППРЧ сети.

Основные проблемы проектирования сетей радиосвязи с пакетной передачей информации касаются изыскания возможностей обеспечения связности по радиоканалам в условиях изменения внешней среды и трафика, включая множественный доступ к общему частотно-временному ресурсу. Непременным условием успешного функционирования сети радиосвязи является решение вопроса анизотропии радиоканалов по направлению передачи и рабочей частоте. Анизотропия радиоканалов проявляется в том, что рабочая частота, пригодная для обмена данными в одном направлении, может быть абсолютно непригодной для обмена в другом направлении.

Для определения оптимальных групп рабочих частот (ГРЧ) целесообразна фрагментация сети декаметрового радиосвязи по территориальному принципу на «ячейки доступа», в рамках которых анизотропия не окажет существенного влияния на функционирование сети. Выбор ГРЧ обусловлен состоянием ионосферы, с учетом взаимного положения корреспондирующих радиостанций, а также характеристиками их радиосредств. Априорная пригодность каждой рабочей частоты для установления соединения в различных направлениях радиосвязи и радиосетях, образуемых в соответствии со схемой организации связи, может быть получена из модели IRI-2016, а оперативный прогноз – зондированием рабочих частот, использованием методов зондирования ионосферы, на основе статистики прохождения радиоволн от спутников систем ГЛОНАСС//GPS, прослушиванием специальных контрольно-маркерных сигналов, а также другими методами. Из выделенного частотного ресурса производится упорядоченная выборка пакета рабочих частот, на которых вероятность установления соединения в направлении передачи данных с требуемой скоростью является наибольшей

$P(d, f, C) \rightarrow \max$. Находящиеся на первых местах стартовые частоты используются для установления сеансов связи. Резервные частоты используются для реализации адаптивной ППРЧ, а вероятность не установления соединения определяется вероятностью браковки всех частот.

Не меньшее влияние на повышение пропускной способности оказывает и оптимизация «настойчивости протокола» – вероятности захвата алгоритмом множественного доступа (АМД) канала доступа. Производительность сети радиосвязи зависит от того, насколько полно протоколы доступа учитывают коллективные интересы корреспондентов, т. е. как они действуют в «узком» месте ПРС согласно принятому протоколу. Протоколы доступа с детерминированным разделением позволяют полностью исключить ситуации, когда два и более корреспондентов одновременно принимают решение о передаче, что в результате может привести к возможному взаимному разрушению кадров (пакетов) [2]. Бесконфликтная передача кадров достигается закреплением ресурса радиоканала общего пользования за корреспондентами. Детерминированные протоколы МД основаны на ортогональном (частотном, временном, частотно-временном) и квазиортогональном разделении ресурса, т. е. с кодовым разделением или шумоподобными сигналами [3]. Возможным вариантом реализации в сетях пакетной передачи данных протоколов с кодовым разделением является применение режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Закрепление индивидуального кода перестройки частот за каждым приемником (передатчиком) ПРС позволяет вести независимую передачу кадров в рамках общего частотно-временного ресурса [4].

Наряду с важным преимуществом детерминированных протоколов МД им присущи следующие недостатки: нерациональный расход частотного ресурса и низкий коэффициент использования частотных каналов при динамическом характере трафика в ПРС; ограничение на допустимое число корреспондентов в ПРС полносвязной структуры, вызванное жестким закреплением общего канального ресурса; большие задержки при доведении пакетов до получателей, что объясняется пропорциональной зависимостью времени ожидания корреспондентом своего временного окна от количества корреспондентов в ПРС.

Перечисленные недостатки, свойственные детерминированным протоколам МД, определяют целесообразность их применения в ПРС с небольшим количеством корреспондентов и регулярным или квазирегулярным входным потоком.

Протоколы со случайным множественным доступом допускают возникновение конфликтов при передаче пакетов. В большинстве случаев это хорошо сочетается с динамическим характером трафика в ПРС, так как потери части пропускной способности радиоканалов, обусловленные простоем при использовании протоколов с детерминированным разделением

значительно больше потерь, вызванных взаимным разрушением кадров в конфликтных ситуациях. Для уменьшения вероятности конфликта применяются протоколы, которые осуществляют предварительную проверку состояния радиоканала [2, 5].

К достоинствам протоколов случайного множественного доступа (СМД) следует отнести: принятие решения на передачу кадров с динамическим характером трафика в сетях пакетной передачи данных осуществляется по хорошо согласованным правилам; возможность использования всего ресурса радиоканала любым из корреспондентов в произвольный момент времени и зависимость вероятностно-временных характеристик ПРС в большей степени не от количества корреспондентов, а от характера трафика, созданного ими.

Для сглаживания эффекта распределенного принятия решения используют протоколы на основе формирования цикла передачи и определении состояния канала по признаку цикла передачи, не тождественного сигналу несущей, а не по сигналу несущей. Оба типа протоколов основаны на гибком или жестком управлении (гибкий и жесткий протоколы), сущность которого состоит в стратегии поведения корреспондентов после определения занятости канала.

Оценку протоколов СМД осуществляют по комплексному критерию: задержка – скорость передачи. Этот критерий позволяет учитывать два аспекта организации управления доступом. Первый связан с средней длительностью времени доставки пакета адресату. Второй определяет рациональность использования выделенной полосы частот, т. е. чтобы большая часть времени работы радиоканала приходилась на передачу полезной информации. Это ставит задачу минимизации накладных расходов, связанных с уменьшением простоев радиоканала при наличии в сети готовых к передаче пакетов, сокращением времени нахождения радиоканала в состоянии передачи конфликтующих пакетов, снижением объема передаваемой служебной (протокольной) информации [3].

Наиболее оптимальным в условиях взрывной и регулярной нагрузки представляется метод доступа с контролем занятости (МДКЗ). Производительность (доля обслуженной нагрузки) жесткого МДКЗ, без адаптивного снижения вероятности занятия канала $P_{зан}$ даже при возникновении пучностей трафика выше 0,868 [2]. Гибкий МДКЗ имеет более высокую производительность, но при высоких нагрузках в нем произвольно увеличивается время занятия канала.

Процедура доступа состоит в разделении канала доступа на множество каналов, определяемое количеством стартовых частот в частотно-временной матрице, и выбора вероятности занятия свободного канала. При возникновении заявки на установление соединения, радиостанция выбирает любой свободный канал, и с вероятностью $P_{зан}$ принимает решение о его занятии

до начала слота. Для реализации этой процедуры приёмники радиостанций должны контролировать все каналы. При отрицательном решении выбирается следующий свободный канал в этом же временном слоте. Процедура повторяется до момента пока не будут проверены все свободные каналы. В случае отсутствия установления соединения ожидается следующий слот, и станция доступа повторяет процедуру. Возникновение коллизии определяется по отсутствию квитанции об установлении соединения со стороны вызываемого абонента, после чего процедура возобновляется.

При заданной интенсивности первично передаваемых пакетов суммарная интенсивность трафика связана обратной зависимостью со средней задержкой повторной передачи. Варьирование вероятностью занятия канала позволяет адаптироваться к возрастанию нагрузки в сети и таким образом обеспечивать лучшее использование пропускной способности радиоканала при меньшей задержке передачи. Кроме того, вероятность занятия свободного канала зависит от вероятности установления соединения в сети, в свою очередь подтверждает, выбор группы частот, на которых устанавливается и поддерживается соединение в сети, и АМД, непосредственно связаны и взаимно зависимы.

Таким образом, существенный выигрыш по пропускной способности ПРС может быть обеспечен совместной оптимизацией выбора группы рабочих частот и алгоритма множественного доступа, определяющего порядок их использования радиостанциями. Отмеченные обстоятельства стимулируют необходимость разработки новых методик выбора рабочих частот для пакетной радиосети декаметрового диапазона с ППРЧ с учетом коллективного частотно-временного ресурса в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

Список используемых источников

1. Панин Р. С., Путилин А. Н., Хвостунов Ю. С. Технология построения сетей декаметрового радиосвязи в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Радиотехника, электроника и связь. Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции. Омск, 2021. С. 38–40.
2. Бунин С. Г., Войтер А. П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. Киев : Техника, 1989. 129 с.
3. Шаров А. Н., Степанец В. А., Комашинский В. И. Сети радиосвязи с пакетной передачей информации / Под ред. А. Н. Шарова. СПб. : ВАС, 1994. 216 с.
4. Шаров А. Н. Автоматизированные сети радиосвязи. Л.: ВАС, 1988. 178 с.
5. Kleinrock L., Tobagi F. Packet Switching in Radio Channels: Part 1 – Carrier Sense Multiple – Access Modes and Their Throughput – Delay Characteristics. URL: <https://web.mit.edu/modiano/www-tobagi1.pdf> (дата обращения: 12.01.2022).
6. Панин Р. С. Предпосылки к созданию самоорганизующихся сетей пакетной декаметрового радиосвязи специального назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Юбилейная X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. Санкт-Петербург, 2021. С. 126–130.

7. Recommendation ITU-R F.1487 Testing of HF modems with bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric channel simulators, 2000. URL: <https://www.itu.int/pubrec/itu-r-F.1487-E.pdf> (дата обращения: 22.12.2021).

УДК 654.1
ГРНТИ 49.01.11

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СВЯЗИ МОБИЛЬНОГО ПРОТИВОПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

М. С. Проценко, А. К. Сагдеев, Д. С. Самаркин, Е. Н. Сидоренко

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

В целях проведения аварийно-спасательных работ на флоте применяются противопожарно-спасательные комплексы, для качественного функционирования которых необходимо осуществлять их оснащение комплексами связи, разработке которых посвящена данная статья.

мобильный комплекс связи, аварийно-спасательные работы, мобильный противопожарно-спасательный комплекс, модульное исполнение.

Развитие аварийно-спасательной работы на флоте невозможно без совершенствования материальной базы, одним из направлений которой является внедрение мобильных противопожарно-спасательных комплексов модульного исполнения.

Мобильный противопожарно-спасательный комплекс модульного исполнения (МПСК-МИ) предназначен для обеспечения тушения и локализации пожаров и возгораний на верхней палубе и в помещениях аварийного корабля с использованием воды и пены средней кратности в открытом море, у причалов и в доках, а также для проведения аварийно-спасательных, подводно-технических и специальных работ.

Одним из ведущих предприятий специализирующемся на разработке, производстве, комплексных поставках, пуско-наладочных, гарантийном и послегарантийном обслуживании всех видов водолазного оборудования, технических средств обеспечения водолазных, аварийно-спасательных и подводно-технических работ, водолазного снаряжения и инструмента, является АО «Флаг Альфа», расположенная в Санкт-Петербурге.

В рамках разработки «МПСК-МИ» акционерным обществом «Флаг Альфа» было организовано взаимодействие с СПбГУТ по вопросу разработки технического решения и изготовления действующего макета мобильного комплекса связи.

В соответствии с техническим заданием макет мобильного комплекса связи должен обеспечивать передачу видеoinформации с места проведения аварийно-спасательных работ (АСР) на рабочее место командира аварийно-спасательной группы (АСГ) в режиме реального времени и документирования действий личного состава АСГ (л/с АСГ); а также для обеспечивать возможности дуплексной радиосвязи между:

- личным составом АСГ на месте проведения АСР и командиром АСГ;
- личным составом АСГ на месте проведения АСР и оператором модуля автономного пожарного (МАП), на базе стандартного 20-футового морского контейнера;
- личным составом АСГ на месте проведения АСР между собой;
- командиром АСГ и оператором модуля МАП [1].

В результате проведенных исследований был предложен следующий состав мобильного комплекса связи, представленный на рис. 1:

- Ретранслятор – 3 шт.
- Видеокамера – 4 шт.
- Ноутбук – 1 шт.
- Катушка кабельная – 1 шт.
- Штатив – 3 шт.
- Радиостанция портативная – 8 шт.
- Зарядное устройство – 4 шт.



Рис. 1. Внешний вид мобильного комплекса связи

Составные части изделия укладываются в кейсы:

Кейс № 1 –Видеокамеры и блоки питания (далее БП);

- Кейс № 2 – Ретранслятор 1;
- Кейс № 3 – Ретранслятор 2;
- Кейс № 4 – Ретранслятор 3;
- Кейс № 5 – Зарядные устройства БП;
- Кейс № 6 – Зарядные устройства ретрансляторов.

Оборудование радиомоста (Ретранслятор 3 и 2) должно быть установлено в открытом пространстве в зоне прямой радиовидимости. При размещении антенны необходимо учитывать длину шнуров. При прокладке шнура следует избегать острых кромок металлических частей. Радиус изгиба кабеля шнура должен быть не меньше пяти сантиметров;

- оборудование «Ретранслятор 1» должно быть размещено в помещении вблизи места проведения аварийно-спасательных работ;
- оборудование видео фиксации (камеры личного состава АСГ) должны быть закреплены на шлеме пожарного ШПМ-С.

В зависимости от удаленности места проведения аварийно-спасательных работ к рабочему месту командира аварийно-спасательной группы может быть использована либо проводная линия (до 50 м), либо радиопередача (до 300 м).

При прокладке проводной линии следует учесть, что патч-корды не должны испытывать растягивающих нагрузок, радиус изгиба кабеля при прокладке должен быть не менее 20 его диаметров.

Не рекомендуется прокладывать проводную линию параллельно электросети. При необходимости параллельной прокладки необходимо, чтобы расстояние между ними было не менее 0,3 м.

Предложенное техническое решение по созданию мобильного комплекса связи для МПСК-МИ и разработанный на основе решения макет получили положительные результаты на государственных испытаниях.

Мобильный противопожарно-спасательный модуль модульного типа с мобильным комплексом связи принят на снабжение Вооруженных Сил Российской Федерации в соответствии с Приказом Министра обороны Российской Федерации № 523 от 8 октября 2020 года [2].

Таким образом, поставленная задача по разработке технического решения и изготовлению действующего макета мобильного комплекса связи для «МПСК-МИ» была решена успешно.

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. Приказ Министра обороны Российской Федерации № 523 от 8 октября 2020 г.

УДК 004.056
ГРНТИ 20.53.19

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СРЕДСТВ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ

Д. А. Рожков, Д. А. Свечников

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации

В статье рассмотрены требования, предъявляемые к средствам криптографической защиты информации и возможности современных программно-аппаратных комплексов защиты информации "ViPNet" и "Континент" по обеспечению надежности и пропускной способности L3 и L2 VPN туннелей. Проведен сравнительный анализ режимов работы агрегированного интерфейса для СКЗИ "ViPNet" и "Континент". В заключении представлены направления проведения дальнейших исследований.

надежность, пропускная способность, средства криптографической защиты информации, агрегирование сетевых интерфейсов.

К качеству функционирования средств криптографической защиты информации (СКЗИ) предъявляются дополнительные требования по обеспечению надежности, достоверности, своевременности и конфиденциальности передачи данных по каналу связи. При этом системные требования к качеству функционирования СКЗИ и обеспечению безопасности информации взаимосвязаны [1].

Надежность СКЗИ характеризует комплексное свойство средства сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [2].

В статье рассматриваются способы повышения пропускной способности и надежности L3 и L2 VPN туннелей СКЗИ посредством агрегирования сетевых интерфейсов (*Link Aggregation*) в соответствии со стандартом IEEE 802.3ad.

Особенностью применения механизма агрегирования в СКЗИ является объединение нескольких сетевых интерфейсов в один логический на канальном уровне модели OSI с целью образования высокоскоростного канала передачи данных и повышения его отказоустойчивости. Параметрами настройки агрегированного канала выступают: наименование, тип, IP-адрес, маска подсети, состав агрегированного интерфейса, MTU, режим работы.

Используемые в агрегированном канале сетевые интерфейсы находятся в рабочем состоянии, а поступающий трафик распределяется между ними в зависимости от выбранного режима функционирования: активный-резервный или на основе протокола Link Aggregation Control Protocol (LACP).

В режиме активный-резервный в случае неработоспособности основного интерфейса трафик передается по резервному без разрыва ранее установленного соединения. Увеличение пропускной способности канала при этом не происходит, обеспечивается только повышение его надежности.

В режиме LACP обеспечивается балансировка нагрузки между агрегированными интерфейсами. Выявлено, что в различном телекоммуникационном оборудовании и СКЗИ реализация этого режима имеет свои особенности.

Так в ПАК ViPNet версии 4.3 заявлены следующие режимы работы агрегированного интерфейса: `balance-rr`, `balance-xor`, `balance-tlb`, `802.3ad`, `active-backup`, `broadcast` [3].

Режим `balance-rr` применяется для балансировки трафика и защиты от сбоев. Первый пакет сессии передается через первый подчиненный интерфейс, последующие пакеты передаются последовательно и равномерно по всем подчиненным интерфейсам.

Режим `balance-xor` обеспечивает защиту от сбоев и распределение нагрузки так, чтобы пакеты от одного и того же источника к одному и тому же получателю отправлялись через один и тот же подчиненный интерфейс. Определение подчиненного физического интерфейса, происходит по хэш-функции, задаваемой администратором:

- `layer2` использует MAC-адреса отправителя и получателя пакета;
- `layer2+3` применяет как MAC-адреса, так и IP-адреса отправителя и получателя;
- `layer3+4` оперирует IP-адресами отправителя и получателя, а также номерами портов TCP и UDP.

Режим `balance-tlb` предназначен для равномерного распределения нагрузки по подчиненным интерфейсам при передаче пакетов разной длины. В режиме `balance-tlb` все подчиненные физические интерфейсы должны быть подключены к сети через коммутатор.

Режим `802.3ad` – режим динамического агрегирования основанный на применении протокола LACP. Комплексная балансировка нагрузки обеспечивается посредством установления администратором определенного режима функционирования:

- группирование интерфейсов с идентичными параметрами скорости передачи данных `mtu`, `duplex`, `autoneg`;

– группирование интерфейсов *stable*, *bandwidth*, *count*. Режим *stable* выбирает группу интерфейсов с наибольшей суммарной пропускной способностью. Режим *bandwidth* использует интерфейсы с наибольшей пропускной способностью. Режим *count* выбирает группу с наибольшим количеством агрегированных интерфейсов;

– *balance-xor*;

– LACP, в котором между сетевым оборудованием осуществляется обмен пакетами LACP с заданной периодичностью: *slow* через каждые 30 секунд и *fast* через каждую секунду.

Режим *active-backup* обеспечивает только защиту от сбоев и переключение на резервный канал.

Режим *broadcast* предусматривает одновременную отправку копий пакетов по всем агрегированным интерфейсам и требует специальной настройки сетевого оборудования для блокирования дальнейшего распространения по сети копий пакетов.

В СКЗИ «Континент» версии 4 для создания агрегированного интерфейса предусмотрены следующие режимы работы: активный-резервный (*active-backup*); *balance-xor*; по протоколу LACP (802.3ad); адаптивная балансировка нагрузки (TLB); усиленная адаптивная балансировка нагрузки (ALB).

В режиме активный резервный (*active-backup*) передача трафика осуществляется через сетевой интерфейс с наименьшим порядковым номером в списке, остальные интерфейсы выступают в качестве резервных. При выходе из строя (или восстановлении) активного сетевого интерфейса трафик автоматически будет передаваться через резервный интерфейс с наивысшим приоритетом.

Режим *balance-xor* обеспечивает перераспределение нагрузки между физическими интерфейсами входящими в состав Bond-интерфейса.

В режиме агрегации по протоколу LACP выбор интерфейса осуществляется в зависимости от выбранной хэш-политики: *layer2* (по умолчанию); *layer2+3*; *layer3+4*. Для реализации режима необходима настройка оконечного оборудования.

Для расчета надежности СКЗИ и определения его отказоустойчивости применяется коэффициент готовности [1]. Для оборудования сетей передачи данных коэффициент готовности $K_{Г}$, как правило определяется заказчиком и составляет 0,99.

Данный показатель рассчитывается как отношение времени исправного состояния $T_{И}$ к сумме времени исправного состояния $T_{И}$ и времени восстановления $T_{В}$ по формуле:

$$K_{Г} = \frac{T_{И}}{T_{И} + T_{В}} .$$

Поскольку в основу агрегирования положена одновременная параллельная работа нескольких сетевых интерфейсов, то будет обеспечено несколько независимых путей передачи трафика. Таким образом, вероятность исправного состояния СКЗИ определяется вероятностью нахождения в исправном состоянии хотя бы одного сетевого интерфейса:

$$P_n(t) = 1 - \prod_{(i=1)}^n (1 - P_{\text{бр}}),$$

где $P_{\text{бр}}$ – вероятность безотказной работы i -го сетевого интерфейса; n – количество сетевых интерфейсов.

Вероятность безотказной работы СКЗИ вычисляется по формуле:

$$P_{\text{бр}} = e^{-\lambda_{\text{п}} t_{\text{р}}},$$

где $\lambda_{\text{п}}$ – интенсивность выхода из строя сетевого интерфейса; $t_{\text{р}}$ – время работы сетевого интерфейса.

Необходимое количество агрегируемых сетевых интерфейсов $N_{\text{тр}}$ с учетом требуемой вероятности безопасной работы имеет вид:

$$1 - P_{\text{тр}} = (1 - P_{\text{бр}})^{N_{\text{тр}}}.$$

Расчет количества агрегируемых сетевых интерфейсов выполняется по формуле:

$$N_{\text{тр}} = \frac{\ln(1 - P_{\text{тр}})}{\ln(1 - P_{\text{бр}})}.$$

Проведенные расчеты показывают, что для обеспечения требуемой надежности СКЗИ 0,99 при вероятности безотказной работы СКЗИ 0,66 необходимо агрегировать два сетевых интерфейса. Для образования высокоскоростного канала передачи данных и повышения его отказоустойчивости механизм агрегирования является наиболее рациональным по сравнению с резервированием оборудования или перехода на другую более производительную версию платформы.

Направлением дальнейших исследований является разработка и настройка стендов программно-аппаратных комплексов защиты информации "ViPNet" и "Континент" для расчета показателей надежности и пропускной способности $L3$ и $L2$ VPN туннелей для рассмотренных режимов функционирования и проведение натурных исследований в условиях поступления реальной нагрузки.

Список используемых источников

1. ГОСТ РВ 51987-2002. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. М. : Изд-во стандартов, 2002. 53 с.

2. Алексеев Е. Б., Гордиенко В. Н., Гордиенко В. Н., Крухмалев В. В. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей / под ред. В. Н. Гордиенко. М. : Горячая линия-Телеком, 2008. 392 с.

3. Свечников Д. А., Калюк П. А., Фатеев С. С. Обеспечение требуемой надежности программно-аппаратного комплекса ViPNet // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения: материалы XIII Межрегиональной научно-практической конференции, 30 апр. 2021 г. Брянск : БГТУ, 2021. С. 86–89.

УДК 654.026
ГРНТИ 49.34.06

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ В СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. П. Тевс, А. В. Чернышев

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

В статье представлены предложения по применению малогабаритных радиорелейных станций связи для развертывания элементов транспортной сети связи специального назначения. Отдельно раскрыты преимущества применения малогабаритных радиорелейных станций для обеспечения связи должностным лицам пунктов управления тактического звена управления.

транспортная сеть связи специального назначения, радиорелейная связь, малогабаритная радиорелейная станция, оборудование беспроводного доступа, пункт управления, тактическое звено управления.

Радиорелейные средства связи в современных условиях являются одними из основных для построения элементов транспортных сетей связи специального назначения, в том числе развертывания линий прямой связи между пунктами управления, осевых и рокадных линий связи опорной сети связи и линии связи привязки к ней. Радиорелейные системы передачи позволяют строить протяженные линии связи (на сотни километров), обладающие высокой развед- и помехозащищенностью благодаря применению узконаправленных антенн. Радиорелейная связь использует различные технологии беспроводной передачи, в том числе позволяет обеспечивать резервирование трактов (высокочастотных стволов и каналов связи), реализуя так называемые защитные конфигурации 1+1, 2+1 [1].

Малогабаритные радиорелейные станции (МГРРС) представляют собой совокупность высокопроизводительных беспроводных устройств,

называемых еще системами направленного беспроводного широкополосного доступа, используемыми для построения магистральных каналов. Малогабаритные радиорелейные станции при небольших массогабаритных показателях обладают, одновременно, высокой пропускной способностью, эффективным использованием спектра частот и оптимальны для обеспечения связи на расстоянии до 40 км и более как в условиях прямой видимости (LOS – *Line Of Sight*), так и в условиях отсутствия прямой видимости (NLOS – *Non Line Of Sight*). При этом современные МГРРС обеспечивают бесшовную интеграцию с существующим проводными сетями без необходимости установки дополнительного оборудования.

Основное преимущество МГРРС – возможность построения самоорганизующихся «MESH» сетей с произвольными связями MINT (*Mesh Interconnection Networking Technology*) [2], что позволит создавать уже в ближайшей перспективе устойчивые транспортные сети связи специального назначения. Самое главное свойство технологии MINT заключается в том, что она позволяет представлять любую беспроводную (а иногда и проводную, и даже гетерогенную) сеть связи как единый одноранговый сегмент сети Ethernet, а радио интерфейс, подключенный к такой сети, – как обычный интерфейс Ethernet, хотя и виртуальный. Виртуальный потому, что при его настройке всё равно приходится учитывать специфические особенности такого радио интерфейса, такие как частота, тип модуляции и прочее. Но окончательное оборудование, которое работает с ним, не замечает разницы от обычных проводных интерфейсов.

Радиорелейные станции (РРС), в том числе МГРРС, поддерживают различные топологии: точка-точка, точка-многоточка, «MESH», построение узлов ретрансляции. Различные встроенные средства, такие как автоматический контроль мощности/скорости, обеспечивают высокое качество связи в канале.

Малогабаритные РРС уже находят широкое применение в Вооруженных Силах РФ, например, МГРРС «Дина» [3].

Малогабаритная РРС – мобильный комплект оборудования системы беспроводного широкополосного доступа «Дина» (оборудование InfiNet Wireless семейства InfiLINK 2x2 R5000) обеспечивает [4]:

беспроводную инфраструктуру и соединение «точка-точка» на скоростях Gigabit Ethernet;

работу магистральных каналов связи, в том числе для соединения базовых станций сетей GSM/3G/LTE;

подключение удаленных абонентов по каналам в условиях прямой видимости и вне прямой видимости;

надежное резервирование высокоскоростных атмосферных оптических линий связи, каналов в миллиметровом диапазоне волн (радиорелейные станции) или волоконно-оптических линий связи.

Предлагается также в интересах построения сетей связи специального назначения использовать малогабаритную цифровую радиорелейную станцию Р-6 и оборудование высокоскоростного доступа ВКР.

Радиорелейное оборудование Р-6 используется [5] для организации цифровых малоканальных радиорелейных линий связи (протяженностью до четырех радиорелейных интервалов) с групповой скоростью передачи цифрового потока от 192 до 2048 кбит/с в условиях прямой видимости (LOS) совместно с оконечным оборудованием, работающим по каналам Е1 (стык G.703) или Fast Ethernet. Оборудование обеспечивает возможность организации служебной связи и сигнализации и может применяться как для построения радиорелейных линий связи, так и в качестве вставки в проводные (кабельные) линии связи.

Оборудование высокоскоростного доступа ВКР 2/5 ГГц [6] предназначено для развертывания направленных линий связи на дистанции до 60 км при условии прямой видимости между абонентами со скоростью передачи данных до 100 Мбит/с. Изделие применяется для создания территориально-распределенных беспроводных сетей высокоскоростной передачи данных, в том числе абонентского радиодоступа к ресурсам глобальных и локальных вычислительных сетей общего и ведомственного пользования, а также построения производственных беспроводных сетей. Устройство может быть использовано для создания магистральных скоростных каналов «точка-точка», протяженных линий связи с ретрансляцией, или распределенных сетей «точка-многоточка» с несколькими базовыми станциями и множеством клиентов.

Сравнение технических характеристик МгРРС «Дина», Р-6 и ВКР представлено в таблице 1 (см. ниже).

Необходимость внедрения МгРРС в подразделения связи Вооруженных Сил РФ определяется, в первую очередь отсутствием радиорелейных средств в звене «рота-батальон-полк». Для предоставления должностным лицам мультисервисных услуг связи, включающих телефонную связь, обмен данными и видео, в том числе обеспечение видеотелефонной связи, видеотрансляции (видеонаблюдения) и передачи цифровых фотографий местности, получаемых от наземных средств разведки и разведывательных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в указанном звене управления используются либо проводные, либо спутниковые средства связи. Применение проводных средств связи в некоторых видах боевых действий или ограничено, или невозможно. Применение спутниковых средств связи ограничивается ресурсом пропускной способности и зонами покрытия спутников-ретрансляторов.

Использование МгРРС позволяет решать указанные проблемы и обеспечивать устойчивую связь в любых условиях обстановки. Преимущества МгРРС определяются следующими положениями.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики малогабаритных радиорелейных станций

Технические характеристики	Тип радиорелейной станции		
	InfiLINK 2x2 R5000 «Дина»	PPC P-6	ВКР
Скорость передачи данных	до 280 Мбит/с	от 192 до 2048 Кбит/с	до 100 Мбит/с
Диапазон рабочих частот, МГц	Диапазон 1: 4900–6050 Диапазон 2: 6050–6425	Диапазон 1: 394–410 Диапазон 2: 434–450	Диапазон 1: 2200–2700 Диапазон 2: 4900–6100
Дальность связи, км	до 50	до 30	до 60
Вид модуляции сигнала	BPSK, QAM64	DBPSK	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Мощность передатчика, Вт	до 8 (диапазон 1) до 6 (диапазон 2)	до 7	до 1
Проводные интерфейсы	Порт Gigabit Ethernet (10/100/1000 Base-T), разъем RJ-45, порт Serial (RS-232)	Порт Fast Ethernet (10/100 Base-T), порт E1, разъем RJ-45	Два порта Fast Ethernet (10/100 Base-TX)
Электропитание	Переменный ток 110–240 В; постоянный ток 43–56 В	Переменный ток 110–220 В; постоянный ток 12 В	Переменный ток 220 В; постоянный ток 27 В
Вес, кг	до 6,4	4,5	3
Производитель	ООО «Инфинет», г. Екатеринбург	ООО НПФ «Сельсофт», Ростовская область, г. Шахты	ОАО «СТЦ», г. Санкт-Петербург

Во-первых, время развертывания МгРРС составляет 15...20 мин, а средняя дальность связи при высоте поднятия антенны 12 м (что соответствует высоте мачты командно-штабных машин) – до 20 км, что соответствует требованиям тактического звена управления (рота – батальон – полк/бригада – дивизия), в котором время развертывания пунктов управления не должно превышать 30 мин, удаление пунктов управления друг от друга не превышает 10...15 км.

Во-вторых, возможность автономного использования МгРРС после настройки без обслуживающего персонала позволяет использовать их при ведении боевых действий в условиях высотной городской застройки, устанавливая их антенны на крышах высоких зданий или на вышки телевизионных станций и станций сотовой связи.

В-третьих, наиболее перспективным применением МгРРС в современных условиях стоит рассматривать их использование для развертывания линий связи привязки узлов связи пунктов управления (УС ПУ) к элементам транспортной сети связи, в первую очередь к стационарным узлам связи

и элементам Единой сети электросвязи (ЕСЭ) РФ. Зачастую, в связи со сложностью технического взаимодействия средств и комплексов полевых и стационарных узлов связи, по причине применения различных средств и технологий связи, не обеспечивающих встречную работу друг с другом, в особенности с оборудованием ЕСЭ РФ, для отбора каналов и трактов на стационарные узлы связи прибывают аппаратные и станции подразделений связи полевых УС ПУ. Такой подход одновременно сопряжен с проблемой размещения и развертывания в районе стационарного узла связи аппаратных и станций полевых узлов связи, особенно в крупных населенных пунктах с плотной застройкой. Использование в таком случае МгРРС, когда имеется возможность закрепить их антенны на мачте телевизионной станции или станции сотовой связи, на крышах высотных зданий, значительно упрощает решение вопроса развертывания линии связи привязки, в том числе вопросы технического взаимодействия, в особенности при применении для отбора трактов технологии Ethernet.

Таким образом, применение малогабаритных радиорелейных станций, обладающих высокой пропускной способностью и разведзащищенностью, защищенностью от направленных (прицельных) помех, существенно расширяет возможности подразделений связи при построении системы связи тактического звена управления ВС РФ.

В заключение стоит отметить, что в статье рассматривались варианты применения уже имеющихся малогабаритных РРС. В перспективе требуется создание специализированных модульных малогабаритных станций связи, включающих в свой состав приемо-передатчики радиорелейной и тропосферной связи (на основе коммутируемых трансиверов с общей антенной) для построения радиорелейных и тропосферных линий связи (дальностью до 120...150 км). Возможно рассмотреть включение в такую комбинированную станцию и приемо-передатчика спутниковой связи. В любом случае такая комбинированная станция радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи должна изготавливаться в контейнерном исполнении и иметь вес не более 20 кг, с тем чтобы обеспечивать транспортировку и эксплуатацию одним оператором.

Список используемых источников

1. Маглицкий Б. Н. Спутниковые и радиорелейные системы связи: учебное пособие. Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2019. 184 с.
2. <https://academy.infinetwireless.com/ru/online-education> (дата обращения: 25.02.2022).
3. Аппаратные полевых узлов связи: учебное пособие. 2-е изд. / Под ред. В. Г. Иванова. СПб. : ВАС, 2018. 460 с.
4. <https://www.infinet.ru/products> (дата обращения: 25.02.2022).
5. <https://www.selsoft.ru/rrs-390-450> (дата обращения: 25.02.2022).
6. <https://www.stc-spb.ru/produkcija> (дата обращения: 25.02.2022).

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

УДК 519.722:308
ГРНТИ 27.47.17

ЭНТРОПИЯ СОЦИАЛЬНОЙ СРЕДЫ

Ю. В. Арзуманян

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

В статье рассматривается метод оптимизации социальной среды, которая формируется на основе интересов акторов, бизнеса и государства. Рассмотрены возможности использования системного подхода для решения подобных задач. Вводятся понятия целевой функции, модели описания СС, критерия оптимальности и подходов к формированию и трансформации СС на основе заданных критериев. Предлагается использовать понятие Sustainable Development как основную цель формирования СС, а понятие энтропии – для описания состояния СС. Предложено использовать цифровые следы для формирования цифровой модели СС на основании поведенческой траектории акторов. Вводится понятие единицы активности акторов в СС. Предлагается подход к формированию СС, её трансформации в соответствии с критериями оптимальности.

социальная среда, модели описания социальной среды, критерии оптимальности, энтропия, теория информации, поведенческая траектория, цифровые следы.

Социальная среда (СС) – это многоуровневая система, объединяющая инфраструктуру, экономику, экологию, образование, культуру, медицину и сферу межличностных отношений. Эта среда формируется на основе интересов людей (акторов), бизнеса и государства. Для каждого конкретного актора социальная среда – это возможность создавать и пользоваться ценностями, для бизнеса формировать эффективную экономику, для государства обеспечивать баланс всех интересов. Масштабы СС могут быть самыми разными, начиная от небольших городов и заканчивая государством [1].

Для оценки СС сегодня предлагаются такие объективные показатели, как уровень доходов и безработица, состояние инфраструктуры и экологии,

а также субъективные, отражающие удовлетворённость акторов своим социальным положением и сервисами.

В данной работе предлагается рассмотреть использование системного подхода для формирования СС и возможности её трансформации.

Для этого необходимо сформулировать понятие целевой функции, предложить модель описания СС, ввести понятия критерия оптимальности и подход к формированию и трансформации СС на основе заданного критерия.

Последние десятилетия стали временем формирования нового постинформационного общества Smart World, основные тренды которого – это стремительное развитие и перемены во всех сферах человеческого общества и, как следствие, все возрастающая его сложность, многообразие и непредсказуемость. Например, рост потребления и, как следствие, парниковый эффект, глобализация мира и межнациональные конфликты и пандемии, искусственный интеллект и возможные непредсказуемые последствия при потере контроля над ним.

Эти проблемы Smart World были сформулированы международными экспертами комиссии ООН в виде термина Sustainable Development (SD). Суть этого термина заключается в том, что стремительное развитие сегодня не должно привести к потере устойчивости будущего общества.

Основной смысл SD – это постоянное сохранение баланса между развитием и устойчивостью, что является на интуитивном уровне одним из основных запросов акторов в СС.

Именно поэтому в данной работе SD будет выступать в качестве целевой функции.

В данной работе предлагается использовать понятие энтропии для описания СС.

Энтропия – это один из самых сложных и неоднозначно трактуемых терминов, использование которого дает возможность описания любой среды, начиная от газодинамической и заканчивая вселенной.

Математическое определение энтропии было введено Больцманом во втором законе термодинамики.

$$H = K \log Q, \quad (1)$$

где H – энтропия среды, $Q = q/M$, q – количество микросостояний среды, M – количество макросостояний, K – постоянная Больцмана.

Формула (1) носит концептуальный характер, так как нет формализованных требований к показателям Q и M . Формируя эти показатели, мы можем использовать энтропию для описания любой среды.

Дальнейшее развитие этого понятия связано с именем К. Шеннона. Шеннон предложил использовать энтропию для описания информационной

среды (ИС). Согласно Шеннону, микросостояниями ИС являются двоичные последовательности, генерируемые с различной вероятностью источником сообщений. Именно эти двоичной последовательности (микросостояния) и образуют линейные двоичные информационные пространства.

Шеннон ввёл понятие информационной энтропии I источника сообщений, формирующего N -мерное линейное пространство, в следующем виде:

$$I = \sum_{i=1}^N P_i \log_2 \frac{1}{P_i}, \quad (2)$$

где I – информационная энтропия, P_i – вероятность каждого i -го сообщения (микросостояния).

В случае, когда двоичное пространство образуется двумя микросостояниями (0 или 1) с равными вероятностями появления 0,5, информационная энтропия I согласно (2) будет равна 1. Эта величина и есть единица измерения количества информации бит.

Энтропия по Шеннону – это мера сложности источника информации, а значит, и мера сложности среды, которую он создает. Увеличение информационной энтропии – это появление дополнительных возможностей для более полного описания СС, а с другой стороны – возможность потери её устойчивости в связи с увеличением сложности и непредсказуемости этой среды.

Именно двойственный характер энтропии сформулировал математически А. Колмогоров [2].

Пусть переменная x принимает значения, принадлежащие конечному множеству X , которое состоит из N элементов. Тогда энтропия переменных x равна: $H(x) = \log_2 N$.

Указывая определенные значения $x = a$ переменных x , мы «снимаем» эту энтропию, сообщая информацию $I = \log_2 N$.

В данном утверждении x – это макросостояние среды, а N – количество ее микросостояний x_i . Если каждое x_i известно, то есть $x_i = a_i$, то информация, которой мы располагаем, может «снять» неопределенность некой среды, определяя ее энтропию H .

Таким образом, развитие и устойчивость есть две стороны одной и той же сущности, называемой энтропией.

Именно поэтому энтропия – это универсальный и масштабируемый показатель, удовлетворяющий целевой функции SD.

Для формирования критерия оптимальности необходимо определить количественные показатели СС и ввести понятия микросостояния и макросостояния СС. Для этого в данной работе вводится понятие поведенческой траектории акторов, график которой приведён на рис.

Поведенческая траектория акторов – это значение вероятностей P_j отдельных видов деятельности акторов D_j в СС. Для её формирования используются цифровые следы акторов в СС, которые являются основным источником информации об её состоянии.

Располагая большими данными (*big data*) о цифровых следах акторов, можно определить частоту появления отдельных

видов деятельности D_j , а при достаточной статистике и их вероятность.

Поведенческая траектория – это цифровая модель СС, отражающая активность акторов в различных сферах их деятельности.

Перейдя к описанию цифровых следов в линейном двоичном пространстве, можно по аналогии с (2) определить информационную энтропию актора в виде:

$$I_j = \sum_{j=1}^N P(D_j) \log_2 \frac{1}{P(D_j)}. \quad (3)$$

Общая нормированная информационная энтропия акторов I_Σ и энтропия среды H , которую они порождают, равна:

$$H = I_\Sigma = \sum_{j=1}^N I_j.$$

Формула (3) предполагает статистическую независимость видов деятельности акторов, что не всегда корректно. В этом случае значение H – это верхнее граничное значение энтропии. Однако эта некорректность может быть устранена, если использовать методы эффективного кодирования для устранения статистической избыточности исходной информации.

Выражение (3) позволяет ввести единицу измерения активности акторов СС. Рассмотрим случай, когда поведенческая траектория акторов состоит из двух любых видов деятельности D_1 и D_2 с равными вероятностями 0,5. Тогда согласно (3) информационная энтропия будет равна 1. Эта вели-

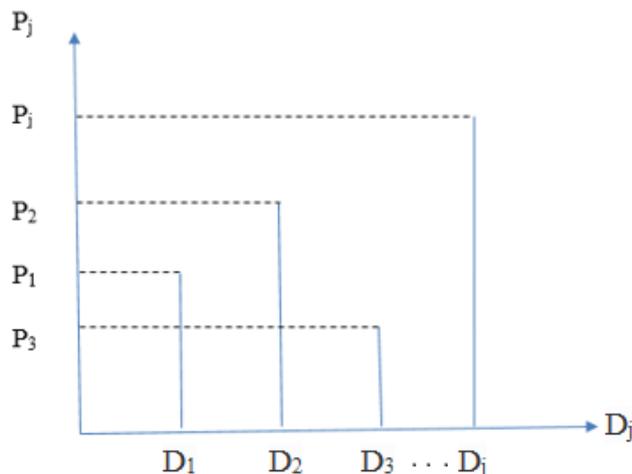


Рисунок. Поведенческая траектория акторов

чина, аналогичная единице количества информации бит, введённой Шенноном, может рассматриваться как единица активности актора в СС (социальный бит).

Таким образом, в зависимости от запросов и потребностей акторов значение энтропии может выступать в качестве универсального и масштабируемого показателя оптимальности СС.

Для построения цифровой модели СС используется средневзвешенная поведенческая траектория акторов, построенная на основе сбалансированной системы показателей, отражающей интересы всех участников СС (акторы, бизнес, государство).

Располагая цифровой моделью СС, можно на основе (2) и (3) определить их энтропию, являющуюся масштабируемым и универсальным показателем состояния СС. Однако созданная таким образом модель справедлива только на этапе её формирования. Это связано с тем, что в открытых средах, какой является СС, их энтропия постоянно изменяется в зависимости от множества как внешних, так и внутренних факторов. При этом возможны два крайних сценария.

Первый сценарий – это неконтролируемое развитие и увеличение энтропии, что приводит к локальным и глобальным кризисам.

Второй сценарий – это стагнация, приводящая к уменьшению энтропии и, как следствие, к невозможности акторам реализовать свои потенциал и потребности.

Для того, чтобы избежать этих крайних сценариев, необходимо обеспечить постоянный мониторинг СС и возможность её трансформации в соответствии с целевой функцией SD.

Согласно Винеру, единственный универсальный механизм поддержания устойчивости функционирования любых сложных сред и систем – это обратная связь. Обратная связь позволяет на основе анализа реакции системы на входное воздействие корректировать алгоритмы её работы.

В нашем случае именно цифровые следы акторов являются реакцией СС как на внешние, так и на внутренние изменения. Поэтому, используя механизмы Big Data для работы с цифровыми следами, следует формировать эффективные методы трансформации СС в соответствии с заданными критериями.

Список используемых источников

1. Арзуманян Ю. В. Инжиниринг социальной среды // 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. 325–330.

2. Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» // Проблемы передачи информации. 1965. Т. 1, вып. 1. С. 3–11.

УДК 37.02
ГРНТИ 14.15.07

ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

**Ю. В. Арзуманян, М. Б. Вольфсон, А. А. Захаров,
Г. Р. Катасонова, А. Д. Сотников**

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

Описывается пространство, в котором ансамбли ключевых понятий учебных дисциплин или их совокупности в ландшафтах образовательных программ рассматриваются как векторы трёхмерного пространства. Приводится методика сравнения ансамблей дисциплин или программ по нормированному размеру вектора отличий.

количественная характеристика ключевого понятия, ансамбль ключевых понятий дисциплины/образовательной программы, ландшафт ключевых понятий образовательной программы, вектор отличий.

В работах [1–4] приводится определение термина «ансамбль ключевых понятий» дисциплины, куда входят как сами ключевые понятия (КП), так и их количественные характеристики. В указанных работах описывается методика вычисления количественных характеристик, в качестве которых могут выступать, например, затраты времени на изучение КП. Каждая такая характеристика есть результат деления времени изучения конкретной темы дисциплины на количество КП, содержащихся в этой теме. Если известны затраты на преподавание учебного предмета в денежных единицах, например, в рублях, то количественные характеристики могут быть пересчитаны рубли и т. д. Последовательность ансамблей, входящих в образовательную программу дисциплин образует ландшафт программы в целом или её отдельной части. Ансамбли всех дисциплин образовательной программы, объединённые в единое множество, образуют ансамбль КП программы в целом.

На рис. 1 в качестве примера изображены ансамбль одной дисциплины (слева) и ландшафт одного семестра (справа) образовательной программы «Менеджмент в электронном бизнесе» (38.03.02) очной формы обучения (СПбГУТ, приём 2019 года).

Анализ трех образовательных программ показал, что их ансамбли могут содержать до нескольких тысяч КП. Такой объём вызывает определённые трудности при проведении сравнений. С этой точки зрения, представление ансамблей КП в виде векторов некоторого пространства позволяет не только более наглядно отобразить исследуемые объекты, но и упростить их анализ.

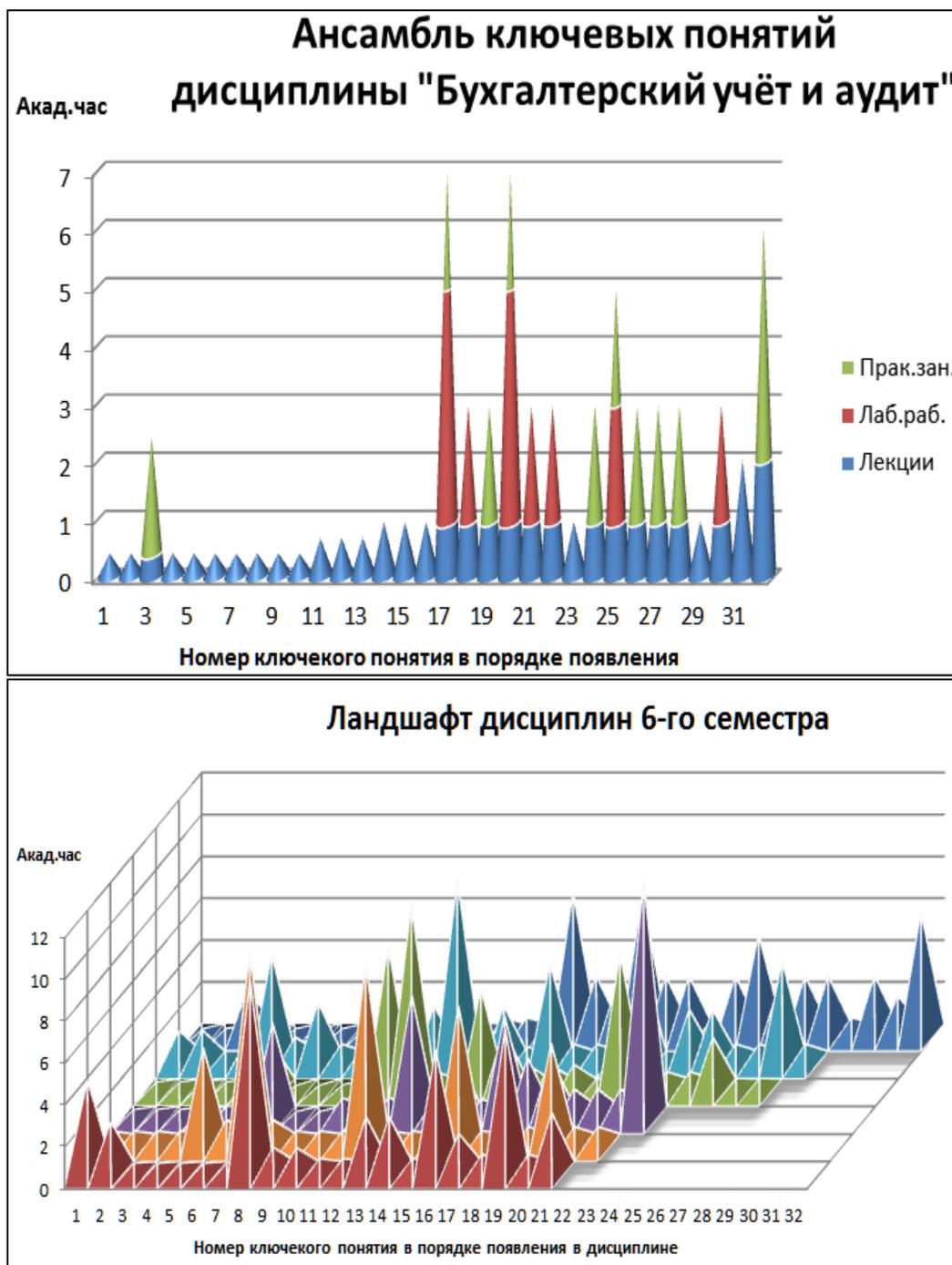


Рис. 1. Ансамбль КП дисциплины и ландшафт программы семестра

Пусть X и Y – сравниваемые ансамбли. Обозначим сумму количественных характеристик КП ансамбля X как V_x , а сумму количественных характеристик КП ансамбля X , совпадающих с КП ансамбля Y как V_{xy} . Для ансамбля Y аналогичные значения будут обозначаться как V_y и V_{yx} соответственно. Величина $(V_x - V_{xy})$ равна сумме количественных характеристик несовпадающих КП ансамбля X , а разность $(V_y - V_{yx})$ определяет сумму количественных характеристик несовпадающих КП ансамбля Y . Как

нетрудно заметить, в случае использования в качестве количественных характеристик КП единиц времени, значения V_x и V_y показывают общий объём учебных часов X и Y соответственно.

Для проведения сравнения осуществим проекцию X и Y на стандартную трёхмерную систему координат следующим образом. Векторы X и Y по двум ортогональным осям имеют координаты $(V_x - V_{xy})$ и $(V_y - V_{yx})$ соответственно, а по третьей оси – V_{xy} и V_{yx} . Рис. 2 иллюстрирует сказанное.

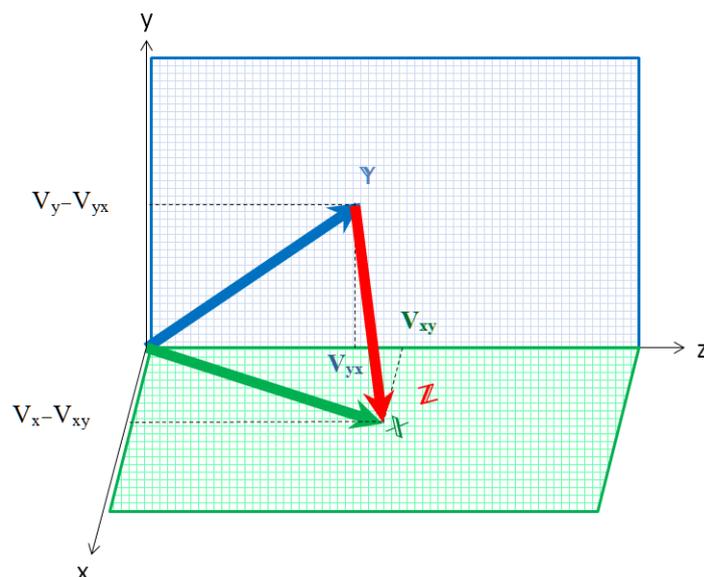


Рис. 2. Векторы X , Y и Z

Выделенный красным цветом разностный вектор $Z = X - Y$ будем называть вектором отличий и по его длине (норме) будем судить о «расстоянии» между X и Y . Как легко заметить, норма вектора Z может быть вычислена по формуле:

$$V_Z = \sqrt{(V_{xy} - V_{yx})^2 + (V_x - V_{xy})^2 + (V_y - V_{yx})^2}. \quad (1)$$

Максимальное отличие X и Y наблюдается, когда у сравниваемых объектов нет совпадающих КП, т. е. $V_{xy} = V_{yx} = 0$. Тогда, из (1) следует, что

$$V_{Z_{\max}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

В таком случае, об отличии объектов друг от друга удобно судить по величине L – нормированной к $V_{Z_{\max}}$ длине вектора Z , т. е.

$$L = V_Z / V_{Z_{\max}}. \quad (2)$$

Как следует из (2) при отсутствии совпадающих КП у X и Y величина $L = 1$ (100 %). Если X и Y одинаковы, то $L = 0$ (0 %). Если ансамбль Y получен из ансамбля X изменением всех временных характеристик с масштабным коэффициентом $\alpha \geq 1$, то $V_y = \alpha V_x$ и $V_{xy} = V_{yx} = V_x$. Подстановка в (2) приводит к формуле:

$$L(\alpha) = \frac{\alpha - 1}{\sqrt{\alpha^2 + 1}}. \quad (3)$$

На рис. 3 показана зависимость (3) от величины α .

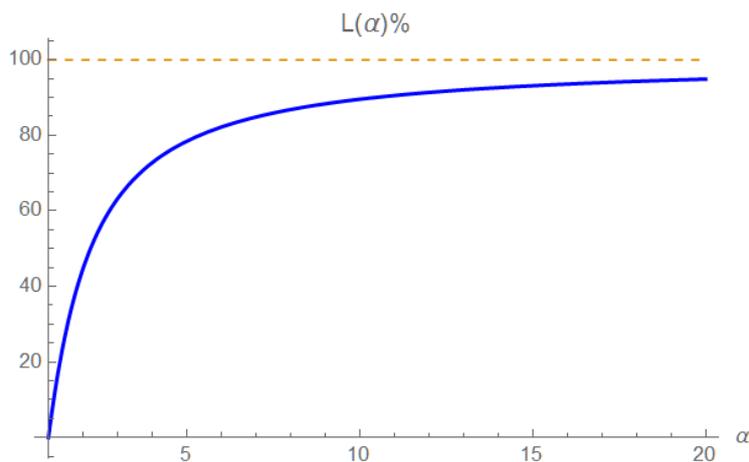


Рис. 3. Зависимость $L(\alpha)$

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты сравнения ансамблей двух дисциплин программы направления «Бизнес-информатика» СПбГУТ и УлГУ. В качестве единицы количественных характеристик КП дисциплин использовался академический час (ач).

ТАБЛИЦА 1. Сравнение ансамблей

Характеристика ансамбля	СПбГУТ	УлГУ
Название дисциплины	Организация электронного бизнеса	Электронный бизнес
Объём ач	20	18
Количество КП	21	32
Количество ач близких КП	12,9	10,2
Величина отличий L (2)	40,4 %	

Представленная методика позволяет, используя различные критерии, решать оптимизационные задачи построения индивидуальных образовательных траекторий на основе формализованных алгоритмов численного анализа. В свою очередь, автоматизированный расчёт по формальным алгоритмам может послужить основой эффективной деятельности интеграторов

образовательных ресурсов по предоставлению качественных услуг, учитывающих интересы как абитуриентов, так и работодателей. Кроме того, при конструировании традиционных образовательных программ методика позволяет снизить временные и материальные затраты, повысить качество учебного процесса и сделать образовательную систему менее инерционной, более динамичной, отзывчивой к быстро меняющимся требованиям общества.

Список используемых источников

1. Арзуманян Ю. В., Вольфсон М. Б., Катасонова Г. Р., Захаров А. А., Сотников А. Д. Особенности моделирования учебных программ при разработке образовательных траекторий обучения ИТ-специалистов // XIX открытая Всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в Российской Федерации». URL: <https://it-education.ru/conf2021/thesis/4648/>

2. Арзуманян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Катасонова Г. Р., Сотников А. Д. Модели учебных программ для задач оптимизации при конструировании индивидуальных образовательных траекторий // 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. 330–335.

3. Арзуманян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Сотников А. Д. Использование количественных методов анализа образовательной программы // 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. 2. С. 601–605.

4. Катасонова Г. Р., Сотников А. Д., Стригина Е. В. Использование моделей информационного взаимодействия в обучении // 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. 2. С. 1557–1561.

УДК 338.4

ГРНТИ 59.29.35, 90.27.34

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ УЧЕТА: ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Т. А. Блатова¹, В. В. Макаров¹, А. В. Федоров²

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

²Филиал ФГУП ЦНИИС – ЛО ЦНИИС

Существенные успехи в развитии микроэлектроники и беспроводных технологий способствовали появлению и внедрению во многие сферы жизни Интернета вещей. Од-

ним из перспективных направлений использования Интернета вещей является автоматизация учета ресурсов в интересах жилищно-коммунального хозяйства за счет установки у потребителей интеллектуальных приборов учета потребленных ресурсов. В связи с тем, что данные по потреблению ресурсов несут в себе приватную информацию о потребителе, проектирование и эксплуатация автоматизированных систем учета должны осуществляться при условии выполнения требований информационной безопасности.

интеллектуальный прибор учета, автоматизированная система, персональные данные, информационная безопасность, Интернет вещей.

Появлению такой инновационной технологии, как Интернет вещей, способствовал ряд факторов, которые обеспечили возможность создания компактных, многофункциональных и универсальных вычислительных модулей с низким энергопотреблением. А широкая номенклатура доступных датчиков позволила создавать законченные решения для автоматизации большого спектра технологических процессов, в том числе процессов сбора и обработки разнообразной телеметрической информации. Облачные сервисы, искусственный интеллект и другие новые цифровые технологии положили начало второй эпохе цифровизации, которая становится вызовом экономической политике [1].

Одним из актуальных и востребованных направлений использования Интернета вещей является внедрение так называемых интеллектуальных счетчиков в интересах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) с целью автоматизации учета ресурсов, потребленных пользователями. Показания в соответствии с заданной периодичностью в автоматическом режиме передаются поставщику коммунальных услуг, что повышает достоверность данных и своевременность их предоставления [2].

Интеллектуальные счетчики в совокупности с автоматизированной системой, обрабатывающей полученные от них данные, образуют распределенную автоматизированную систему учета. Проектирование и эксплуатация любой автоматизированной системы должны выполняться исходя из требований информационной безопасности. Данные по потреблению ресурсов несут в себе приватную информацию о потребителе, так как по ним можно косвенно установить, какое оборудование установлено в жилом помещении, когда именно оборудование включается, когда потребитель находится дома и пр. Таким образом, при внедрении интеллектуальных приборов учета необходимо уделять особое внимание защите данных, которые, с определенными оговорками, можно отнести к «персональным данным». В настоящее время наибольшее распространение получили «умные» счетчики электроэнергии, проблемные вопросы применения которых и рассматриваются в данной статье.

Согласно законодательным актам, интеллектуальные системы учета в первую очередь внедряются для повышения энергоэффективности и контроля энергопотребления потребителей. Так в соответствии с [3] начиная с 2022 года во всех частных и многоквартирных домах будут устанавливаться только «умные» счетчики электроэнергии. Предполагается, что их использование позволит оптимизировать затраты и снизить энергопотребление, например, за счет того, что потребители, получая детальную информацию о своем потреблении, смогут «корректировать» свои привычки и оперативно отслеживать их влияние на энергопотребление.

Особенность работы «умных» счетчиков подразумевает периодическое получение данных о фактическом потреблении и их передачу в систему учета, что приводит к сбору значительного объема данных, непосредственно относящихся к отдельному домохозяйству. Чем чаще осуществляется сбор данных, тем более подробную информацию о потреблении можно получить. Даже считывание данных с интервалом в 15 минут достаточно для идентификации некоторых приборов.

В совокупности собранные данные составляют профиль энергопотребления. Использование инновационных технологий (большие данные, искусственный интеллект, машинное обучение и пр.) для анализа профиля энергопотребления позволяет выявлять приборы, имеющиеся в домохозяйстве [4], а также выяснить образ жизни жильцов. В [5] описана возможность даже идентификации программ телепередач, которые смотрит пользователь.

Из профиля энергопотребления может быть извлечена информация, которая может быть интересна:

- рекламным агентствам;
- работодателям и страховым компаниям;
- арендодателям;
- медицинским учреждениям.

Пример профиля электропотребления приведен на рис. 1 (см. ниже).

Таким образом, прозрачный и объективный доступ к данным о потреблении является важным аспектом процессов автоматизации ЖКХ. Внедрение интеллектуальных счетчиков без учета должных мер по обеспечению информационной безопасности при сборе, передаче, обработке и хранении данных несет риски нарушения частной жизни человека, поэтому необходимо найти компромиссы, учитывающие интересы всех сторон.

Для обеспечения защиты информации необходим комплексный подход, который включает в себя использование технологий повышения конфиденциальности информации, технические меры, шифрование и «запутывание» данных.

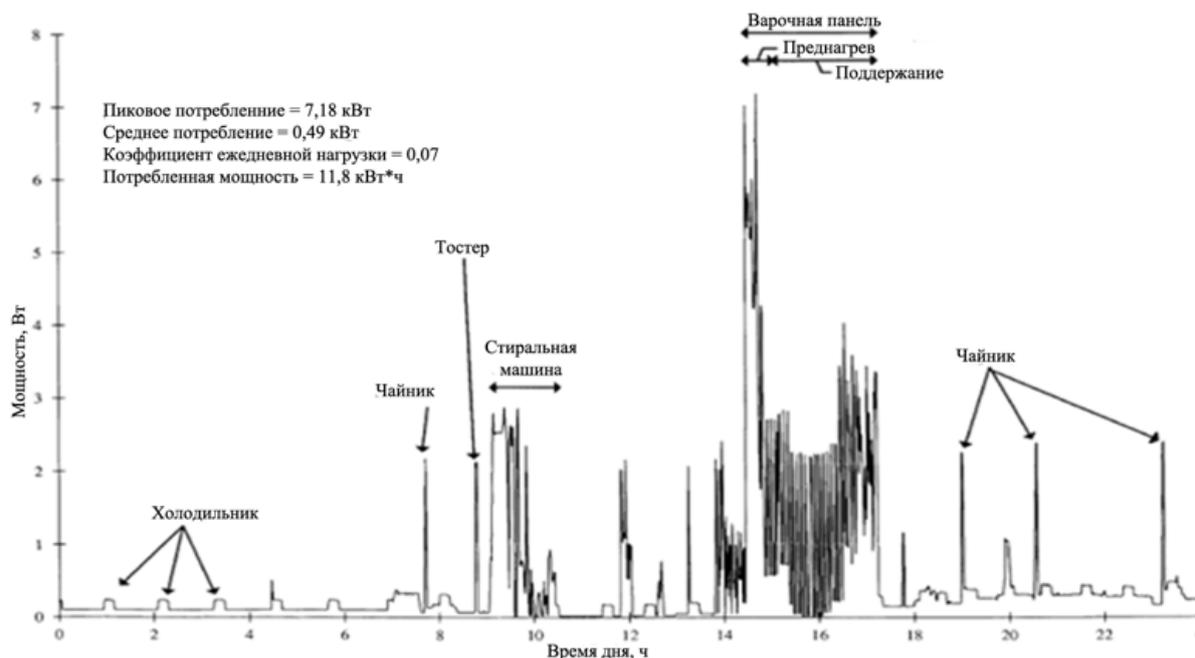


Рис. 1. Пример профиля электропотребления домохозяйства, записанный с интервалом в 1 мин. [4]

К технологиям повышения конфиденциальности информации относятся:

- минимизация данных (например, за счет более редкого считывания данных), подразумевающая, что любая обработка персональных данных должна быть необходимой и пропорциональной, а также ограничена только теми данными, которые необходимы для выполнения договорных обязательств;

- анонимизация данных, которая направлена на их обезличивание, то есть устранение всех идентифицирующих конкретное лицо данных;

- агрегирование данных, при котором реализуется преимущественно локальное и ограниченное по времени хранение данных в счетчике, а во внешнюю систему передаются итоговые данные за большие промежутки времени.

Техническая сторона защиты касается непосредственно счетчиков и каналов связи с внешними системами, которые должны быть защищены от несанкционированного доступа, перехвата и модификации. Это может быть достигнуто с помощью механических замков, установки счетчиков в защищенных зонах, а также использования шифрования и аутентификации. Поскольку современные алгоритмы шифрования могут устареть в будущем, а счетчики могут использоваться десятилетиями, алгоритмы должны быть изменяемы с помощью обновления программного обеспечения с учетом соблюдения требований информационной безопасности.

Доступ к данным потребителя должен быть строго ограничен и разрешен только для уполномоченных сотрудников в соответствии с выданными

разрешениями (правами), а все факты обращения к данным должны фиксироваться в электронных журналах, защищенных от модификации и удаления. При этом конечный потребитель должен знать, для чего используются его данные, а доступ к ним третьих лиц допускается только с разрешения конечного потребителя.

Вышеперечисленные меры защиты находятся исключительно в ведении компании, отвечающей за сбор и обработку данных. Если же потребитель не доверяет ей, то возможно применение так называемого подхода «запутывания» данных, который предполагает маскирование потребления (скрытия нагрузки), путем изменения профиля потребления.

Методы скрытия нагрузки можно разделить на скрытие нагрузки на основе батареи (*battery-based load hiding* – BLH) и скрытие нагрузки на основе регулируемой нагрузки (*load-based load hiding* – LLH) [6].

При использовании BLH используется аккумуляторная батарея (рис. 2), которая заряжается или разряжается таким образом, чтобы сгладить график потребления электроэнергии, так, что невозможно узнать, когда конечный потребитель был дома или использовал устройство.

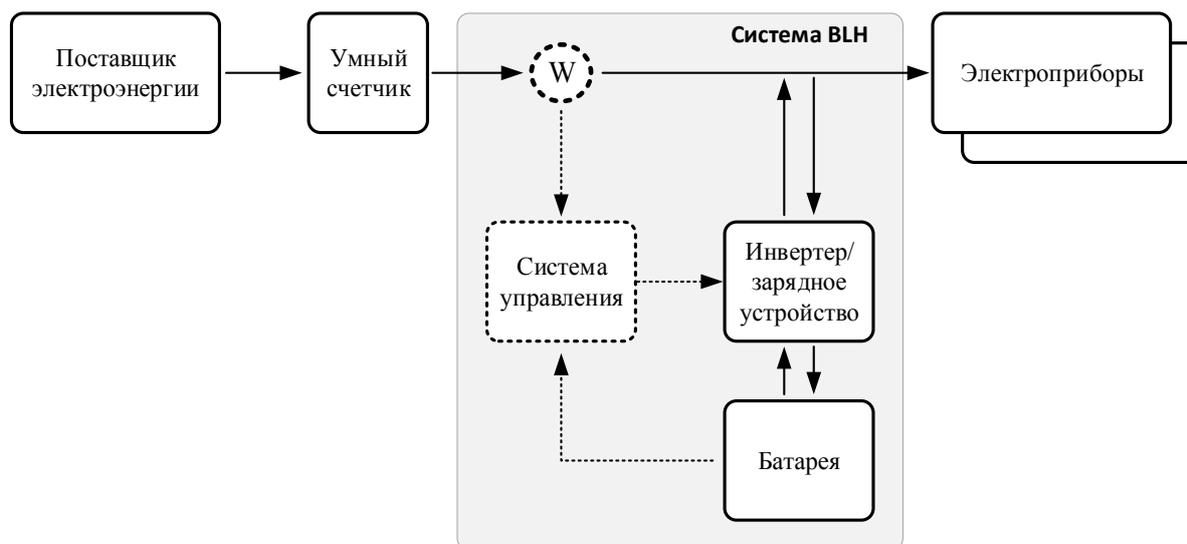


Рис. 2. Реализация метода скрытия нагрузки (BLH)

Метод LLH (рис. 3) предполагает адаптивное управление потреблением мощного оборудования, например, водогрейного котла, которое направлено на маскирование энергопотребление небольших бытовых устройств (компьютер, кофеварка, телевизор и пр.). Для потребителя не ожидается потери комфорта, так как в целом котел будет потреблять типичное количество энергии и производить ожидаемое количество горячей воды. Обратной стороной данного метода является снижение предсказуемости потребления энергии, что является недостатком для сбытовой компании.

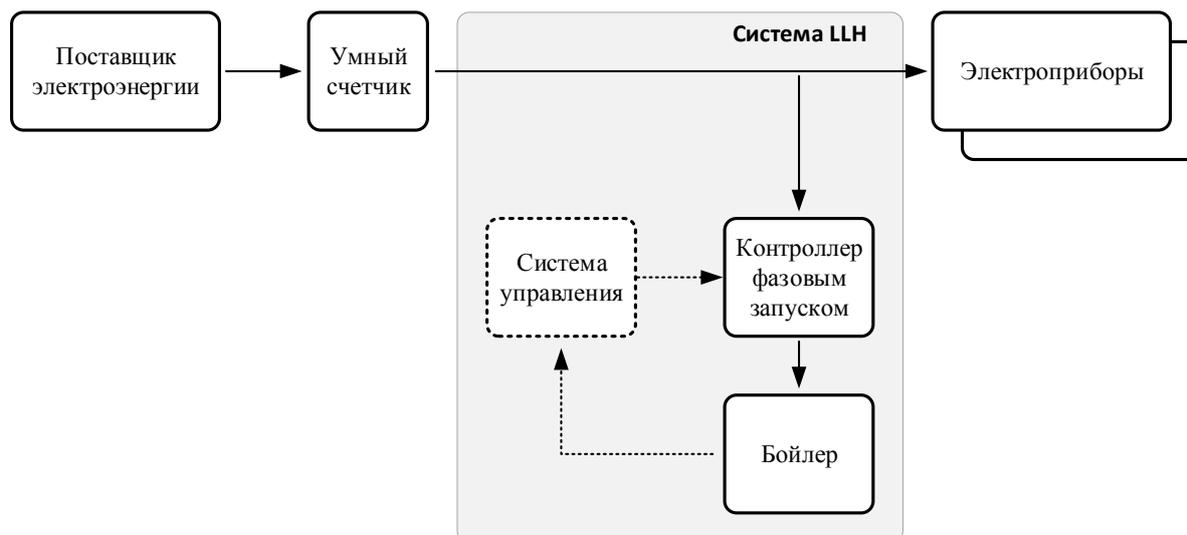


Рис. 3. Реализация метода регулируемой нагрузки (LLN)

На данный момент пока не ясно насколько интеллектуальные счетчики будут влиять на общее потребление энергии. Экономические исследования не были последовательными в вопросе о том, возможна ли разумная экономия в этом случае. С другой стороны, угрозы утечки персональных данных вполне реальны и реализуемы, если автоматизация была выполнена без учета требований и подходов по обеспечению информационной безопасности, как при проектировании автоматизированных систем учета, так и при их внедрении и эксплуатации.

Информационная безопасность является всегда проблемой для любой организации, которая использует информационно-коммуникационные технологии. Данные должны быть надежно защищены, интернет-соединения должны быть защищены от атак, новых вирусов и других видов вредоносных программ, которые появляются почти каждый день [7]. Применение конкретных организационно-технических решений по защите информации определяется возможностями используемых счетчиков, вычислительных платформ, а также производительностью, и наличием соответствующего программного обеспечения.

Помимо рассмотренных интеллектуальных счетчиков, активно внедряются различные датчики (например, датчики дверей, датчики качества воздуха в помещении), данные с которых также могут быть источником приватной информации о жителях.

Дальнейшие исследования по вопросам конфиденциальности в этой области, особенно в условиях совершенствования и распространения инновационных технологий, обязательно потребуются в ближайшем будущем.

Список используемых источников

1. Блатова Т. А., Макаров В. В., Шувал-Сергеева Н. С. Количественные и качественные аспекты измерения цифровой экономики // Радиопромышленность. 2019. № 4. С. 63–72.
2. Makarov V. V., Blatova T. A., Fedorov A. V., Budagov A. S. Metrology in ensuring the quality of products and services in digital economy // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. 2020. С. 490–498.
3. Федеральный закон от 27.12.2018 № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280018> (дата обращения: 01.03.2022).
4. Streubel R, Yang B. Identification of electrical appliances via analysis of power consumption // Universities power engineering conference (UPEC) 2012 47th international, 2012. PP.1–6.
5. Greveler U. et al. Multimedia content identification through smart meter power usage profiles // Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE). – The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp), 2012. PP. 1.
6. Egarter D., Prokop C., Elmenreich W. Load hiding of household's power demand // 2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). IEEE, 2014. PP. 854–859.
7. Шувал-Сергеева Н. С., Блатова Т. А., Макаров В. В. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в организации: от оптимизации структуры до повышения конкурентоспособности // Радиопромышленность. 2017. № 2. С. 101–106.

УДК 336.26; 657. 01
ГРНТИ 06.35

НАЛОГ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ BITCOIN КАК ЕДИНОЙ МИРОВОЙ КРИПТОВАЛЮТЫ

Н. Н. Васильева, А. А. Степаненко

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

Использование криптовалюты BitCoin как единые международные цифровые деньги может обеспечить существенный экономический эффект национальным экономикам и мировой экономике в целом. При этом объективно возникнут проблемы единого бухгалтерского учета и соответственно вопросы налогообложения.

В статье предложен принцип бухгалтерского учета и налогообложения в эпоху криптовалют (BitCoin-BTC) и сформулирован перечень вопросов, требующих решения в будущем.

налогообложение, бухгалтерский учет, финансовая система, цифровая экономика, криптовалюта Bitcoin, BTC-расчетная единица Bitcoin, инфокоммуникации.

Развитие мировой цивилизации сопровождалось открытиями в различных областях научной или инженерной деятельности людей. Эти открытия, например, в области эволюции видов денег и их последующая реализация на практике давали существенные экономические преимущества для тех государств, которые были в тренде. Электронные деньги, как и бумажные по своей природе не отличаются от фиатных денег, со всеми присущими им недостатками. Главные из них это государственное регулирование, в том числе выпуск денежной массы в обращение, и контроль оборота денег. Фиатные деньги, как законное государственное платежное средство, ограничивает использование таких денег границами государства с дополнительной затратностью для бизнеса и экономики. Обязательное наличие посредников для бизнеса (банки и др.) – дополнительные расходы на их услуги.

В условиях рыночной экономики эти недостатки сдерживают свободу и инициативу предпринимательства. Кроме того, существенно повысились требования к информационной безопасности при совершении операций (транзакций). Следовательно, наряду с другими недостатками, в настоящее время замедляются темпы экономического роста и будут неизбежны в будущем.

Анонимность и безопасность первой цифровой валюты в последнее время сделали новую цифровую валюту BitCoin привлекательной настолько, что наступила эпоха криптовалют [1], меняющая мировой экономический порядок.

Важно отметить, что в эпоху криптовалют объективно потребуется увеличение темпов развития цифровых инфокоммуникационных сетей, увеличение на их основе скорости распространения новых знаний (информации). Научно обоснованный объем обмена цифровой информации (данных) за 10 лет с 2016 г. к 2025 г., возрастет с 16 до 160 Збайт (2^{70} байт) [2]. Это может служить ориентиром планирования развития мировой инфокоммуникационной сетей связи. Появление BitCoin, как новый вид мировых цифровых денег [1], является естественным стимулом решения вопроса развития качественной, безопасной цифровой связи. Без этого экономическая реализация инновационной идеи криптовалют (*BitCoin*) останется только в теории. В настоящее время существует около 700 криптовалют с различными характеристиками и спросом.

Использование криптовалюты BitCoin как мировых цифровых денег [3, 4] является сложной инновационной задачей и объективно не может проходить без множества проблем, которые необходимо решать.

Естественно, что это не могло не затронуть интересы тех, кто профессионально освоили, владели понятными им приемами и навыками и не желают их менять. Поэтому появление и развитие всего нового не проходило

без сопротивления консервативных сил, что создавало трудности их реализации, замедляло, а иногда и откладывало новые возможности на долгие годы. Это тормозит развитие мировой экономики, особенно в условиях ее глобализации.

Неизбежные проблемы, на которые ссылаются критики реализации идеи Bitcoin в мировой цифровой экономике можно разделить на следующие основные группы:

1. Организационные (административные).
2. Экономические (теория денег, финансовая система).
3. Налогообложение (бухгалтерский учет, юридические).
4. Психологические аспекты.
5. Образовательные.
6. Технические (искусственный интеллект).

Три вышеперечисленные в сегодняшнем понимании отдельные проблемы в отдаленной перспективе будут тесно взаимосвязаны и представлять довольно сложную интегрированную модель. Нужны масштабные теоретические исследования. Поэтому в данной статье рассматривается узкий экономический вопрос, ограниченный только финансовой сферой.

Любое государство, в ситуации децентрализованных денег беспокоит то, что без администрирования в налогообложении существенно снизится доходная часть казны и могут быть свернуты многие социальные и другие программы. Важность решить вопрос о снижении этого беспокойства трудно переоценить.

В настоящее время проводятся исследования в части особенности эволюции финансовой системы при использовании криптовалюты как файлденьги [5] и в части юридической, правового режима Bitcoin, но только как товара [6, 7]. При этом вопросы рассматриваются с ориентиром на отдельное государство.

Необходимо отметить, что важными функциями существующих финансовых систем, являются бухгалтерский учет (БУ), аудит и налогообложение (Н). В части БУ [8] рассматриваются направления применительно к цифровой экономике. К аудиту осторожный подход в работах [7, 9], а вопросы налогообложения в отдельных странах [10]. Из этого можно понять, что это многогранная задача и в конечном счете не может быть решена без сочетания с множеством экономических факторов [11] и нуждается в их классификации. Поэтому, исследования в данной статье сужены до принципов ведения бухгалтерского учета (БУ) и налогообложения (Н) при условии постепенной замены в обращении фиатных денег на криптовалюту Bitcoin. В современном мире процесс замены быстро развивается на рынке Forex и на специализированном рынке криптовалют.

Любое государство заинтересовано в росте денежных средств в казне, которых тем больше, чем выше темпы роста экономики. В этом случае логична всесторонняя поддержка государством любых новаций, которые могут обеспечить этот рост. В РФ практическими осторожными шагами в этом направлении является программа «Цифровая экономика РФ» (ЦЭ) и в развитие законодательство [12].

Сейчас собственников криптовалют и трейдеров беспокоит неопределенность налогообложения операций с криптовалютой при получении дохода. Например, майнинг, как вид деятельности, который требует начальных инвестиций, затрат на электроэнергию, компьютерную технику и не защищены законом в части налогообложения.

В работе предлагается укрупненный вариант классификации предмета налогообложения и принципа БУ. За основу взято разнообразие подходов в разных странах мира по этому вопросу [11]. При этом далее понятие BitCoin рассматривается не как инфокоммуникационная сеть, а как платежная единица BTC [4].

В условиях использования криптовалюты BitCoin как единой мировой валюты вопросы организации бухгалтерского учета и налогообложения необходимо и возможно решить постепенно, в два этапа:

Первый этап, налогообложение при использовании BitCoin с ограниченными функциями (как платежное средство) совместно с фиатными деньгами.

Второй этап, как стратегический в части БУ и налогообложения, когда, например, BitCoin будет признан и принят мировым финансовым сообществом как единая мировая валюта. Ориентиром может служить опыт с EUR, получившей признание и легитимность в мировом финансовом сообществе.

В рамках первого этапа логично и целесообразно разделить его на два шага.

Первый шаг более быстрый и понятный. Это традиционный сегодня принцип БУ и налогообложения практически во всех странах мира с особенностями в отдельных государствах. Введение обязательной конвертации (обмен) криптовалют (*BitCoin*) в фиатные деньги на существующих рынке Forex и криптовалютных биржах.

Второй шаг, когда в денежном обороте наряду с фиатными деньгами присутствуют криптовалюты. Сегодня несмотря на приватность BitCoin [13] полного запрета во всех рыночных странах нет, но есть отдельные смягчения налогообложения [14]. Целесообразно ввести интегральный, минимально возможный налог на доход от обращения криптовалюты юридическими и физическими лицами. В последующем обязательное декларирование их доходов.

Второй этап чрезвычайно сложен с точки зрения понимания сегодня процесса налогообложения. Налогообложение будет возможно только при

определении статуса BitCoin [15]. Например, это платежное средство, товар, актив, средство сбережения, собственность и так далее, трудный вопрос для теории денег. Необходимо разобраться, что такое BitCoin с юридической точки зрения, без чего нельзя снять риски неопределенности. Работы в этом направлении, являются попытками понять юридические принципы BitCoin [16].

Что должно подлежать налогообложению?

Для физических лиц (в т. ч. индивидуальный предприниматель): майнинг (добывание криптовалюты), прирост капитала, прибыль от торговых операций, курсовая разница актива, НДФЛ.

Для юридических лиц: добавленная стоимость (НДС), BitCoin-транзакции (коммерческие операции), потребление (имущество) и т. д.

Особый подход для благотворительных, некоммерческих, криптовалютных бирж, общественных организаций. Для них и выше приведенных категорий, при всей универсальности BitCoin, как единой мировой валюты, выбор налоговой ставки, которая является регулятором отдельных видов экономической деятельности, должен оставаться в ведении каждого государства. Наконец необходимо единое правовое представление о природе криптовалюты при согласованном подходе государств к учету и налогообложению

Решить вопрос с налогами невозможно без экономически и юридически разработанного бухгалтерского учета в принципиально новых условиях единой мировой криптовалюты BitCoin.

Кроме того, известно, как в сфере финансов важна психология денег. Это направление психологии, изучающее отношение человека к деньгам и к другим людям в связи с денежными отношениями. Для этого необходимо стимулирование массового доверия людей к новым деньгам, к их признанию. Это неизбежно приведет к увеличению спроса и активности бизнеса как мотора экономического развития.

В настоящее время в РФ, учитывая растущий интерес к новому платежному средству, воссоздана структура данных, которыми оперирует сеть BitCoin при создании и проверке транзакций в базе данных платформы 1С (англ. *1С:Buхгалteria*), версии 8.3.10.2561 [17]. Однако платформа 1С предназначена для автоматизации бухгалтерского и налогового учета и подготовки регламентированной отчетности для различных типов организаций. Она создана на современных юридических положениях учета. Это первая проба и возможно ее эволюция покажет, что именно 1С станет основой для учета в новых условиях меняющегося экономического порядка [1].

Список используемых источников

1. Пол Винья, Майкл Кейси Эпоха криптовалют. Как биткойн и блокчейн меняют мировой экономический порядок ; пер. с англ. Э. Кондуковой; [науч. ред. А. Форк]. 2-е изд. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2018. 432 с.

2. Штегмюллер А. Объем мировых данных увеличится к 2025 году десять раз. URL: <http://www.hardwareluxx.ru/index.php/news/hardware/festplatten/41491>
3. Степаненко А. А. Платежное средство BitCoin – как инновационная стратегия изменений финансовой сферы и инфокоммуникаций // 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. 2. С. 424–429.
4. Степаненко А. А., Васильева Н. Н. Объективные условия возникновения криптовалют (Bitcoin) и инновационная идея использования в финансовой сфере // Norwegian Journal of development of the International Science. Норвегия. 2022. № 79. Ч. 2. С. 6–12. DOI: 10.24412/3453-9875-2022-79-2-6-12.
5. Андриюшин С. А., Бурлачков В. К. Биткойн, блокчейн, файл-деньги и особенности эволюции денежного механизма // Финансы и кредит. 2017. Т. 23, № 31. С. 1850–1861. <https://doi.org/10.24891/fc.23.31.1850>
6. Архипов В. Bitcoin: основные принципы и отдельные юридически-значимые особенности. URL: http://protokol.com.ua/ru/bitcoin_osnovnie_printsipi_i_otdelnie_yuridicheski_znachimie_osobennosti (дата обращения: 19.02.2016).
7. Правовой режим криптовалюты Биткойн как товара URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Правовой_режим_криптовалют
8. Карпова Т. П. Направления развития бухгалтерского учёта в цифровой экономике. СПб. : СПбГЭУ. 2018 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-razvitiya-buhgalterskogo-uchyota-v-tsifrovoy-ekonomike/viewer> (дата обращения: 09.03.2019).
9. Фергал Рейд, Харриган Мартин. Анализ анонимности в системе Биткойн // 3-я Международная конференция IEEE по вопросам конфиденциальности, безопасности, риска и доверия, а также по социальным вычислениям, SocialCom. PASSAT '11, 2011. С. 1318–1326.
10. Налогообложение Биткойн в США, 2018. URL: <https://roem.ru/27-12-2017/265908/nalog-na-bitcoin/>
11. Налогообложение операций с криптовалютой в мире // Портал International Wealth. URL: <https://internationalwealth.info/cryptocurrency/nalogooblozhenie-operacij-s-kriptoaljutoj-v-mire-gajd/>
12. ФЗ от 31 июля 2020 г. N 259-ФЗ «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ». URL: <https://base.garant.ru/74451466/>
13. Zerocoin (Miers et al., IEEE S&P 2013), Decentralized Anonymous Payments from Bitcoin. URL: <http://zerocash-project.org/media/pdf/zerocash-extended-20140518.pdf> (дата обращения: 10.02.2022).
14. Обмен традиционных валют на виртуальную валюту «Биткойн» освобождается от НДС // Пресс-релиз Европейского суда № 128/15 от 22 октября 2015 (англ.)
15. Многогранная природа Биткойн. URL: <https://forklog.com/priroda-bitkoina-aktiv-valyuta-tovar-ili-predmet-kollektsionirovaniya/>
16. Архипов Владислав. Bitcoin: основные принципы и отдельные юридически-значимые особенности. URL: http://protokol.com.ua/ru/bitcoin_osnovnie_printsipi_i_otdelnie_yuridicheski_znachimie_osobennosti (дата обращения: 19.02.2016).
17. Объектная структура данных крипто-валюты Bitcoin в базе данных 1С. 2019. URL: <https://infostart.ru/public/824120/>

УДК 331.1
ГРНТИ 06.39.41

МОДЕЛЬ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ МОТИВАЦИИ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИЙ

С. Ю. Верединский, В. В. Макаров, М. Ю. Мамонов

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

Предложена оригинальная модель типизации организаций на основе сочетания таких двух признаков, как эффективность организации и возраст руководителя организации. Рассмотрены стратегии развития каждого типа организаций с точки зрения их собственников. Сформулированы рекомендации руководителям организаций по разработке и реализации эффективных с точки зрения собственников стратегий.

эффективность организации, стратегии развития, мотивация и стимулирование руководителей организации.

С позиций менеджмента-дженерализма для руководителя организации важнейшими являются такие общие компетенции и персональные качества, как: наличие стратегического «видения» будущего конкретной организации; способность обеспечить гармонизацию межфункционального взаимодействия руководителей функциональных направлений; лидерские качества.

Между руководителем организации и непосредственно самой организацией зачастую складываются отношения, подобные семейным («квазисемейные»). Одной из наиболее существенных характеристик руководителя организации является его возраст, который зачастую отождествляют с опытом. Предлагается модель стратегической мотивации руководителей организаций, разработанная на сочетании таких характеристик руководителя и организации, как его опыт и ее эффективность (рис. 1, см. ниже). Двумерное пространство модели сформировано таким образом, что каждый из ее факторов не является функцией от другого.

На шкале эффективности организации принципиальными являются следующие «точки»: А; В; С; 0 (ноль). Точка «А» представляет собой такой уровень эффективности организаций, причем принадлежащих именно к конкретной одной и той же отрасли и сопоставимых по масштабам деятельности, который является «минимально достаточным», чтобы признать деятельность организации экономически безубыточной. В точке «В» организации достигают «пороговой эффективности», при которой любая орга-

низация, индивидуальная эффективность которой оказывается выше «порогового уровня», признается «высокоэффективной». Ниже точки «В» до точки «А» – «достаточно успешной».



Рис. 1. Типизация организаций

В точке «0» эффективность организаций «нулевая» в традиционном «бухгалтерском» смысле этого слова. Известно, что «экономическая безубыточность» в этом отношении отличается от «бухгалтерской». В точке экономической безубыточности (коммерческая) организация демонстрирует некоторую бухгалтерскую прибыль.

В интервале от «С» до «А» оказываются организации с отрицательным уровнем эффективности, и с нулевой эффективностью, и организации, эффективность которых (с бухгалтерской точки зрения) выше нулевой, но ниже так называемой «экономической безубыточности». В долгосрочной перспективе оказывается несущественным «нулевая» эффективность у организации, (допустимо) отрицательная (это называется «планово-убыточная организация») или она колеблется на уровне бухгалтерской безубыточности. Суть стратегических решений относительно дальнейшей судьбы таких организаций принципиально однородна.

Логика градации шкалы «возраст руководителя организации» состоит в следующем. Существуют вполне определенные «пороговые» возраста, при достижении которых существенным образом меняются значимые с точки зрения целей разработки модели характеристики руководителя. Наиболее очевидным в этом отношении является достижение руководителем пенсионного возраста (в качестве которого в целях упрощения модели

предлагается использовать 65-летний возраст руководителя безотносительно его пола). Другим «пороговым» значением является возраст «окончательного формирования» стиля руководителя, его образа в восприятии как работниками, так и стейкхолдерами организации. Эмпирически авторами установлено, что такая «кардинальная трансформация» руководителя, а точнее – его образа в восприятии работников и стейкхолдеров, происходит по достижении 45-летнего возраста в большинстве случаев. Данный «психологический» рубеж окончательно трансформирует «зрелого руководителя» в «опытного руководителя». Далее «Опытный руководитель» постепенно и становится «руководителем-Профи».

«Квазисемейный» характер пары «руководитель/ организация» проявляется в том, что две абсолютно одинаковые организации (с позиций количественных характеристик эффективности их деятельности), принадлежащие к одной и той же отрасли, воспринимаются их стейкхолдерами, работниками и ближайшим деловым окружением как совершенно разные. Таковой феномен восприятия объясняется не только психологическими причинами (отождествления организации с ее руководителем), но и различиями в ожидаемых внешними наблюдателями особенностях рыночного поведения организаций – в реализуемых ими стратегиях развития. Действительно рыночные стратегии развития таких двух организаций вероятнее всего будут различными. Причина заключается в кардинально различной стратегической мотивации руководителей таких двух подобных во всех других отношениях организаций. Необходимо учитывать, что нельзя однозначно заранее сказать какой возраст руководителя является более предпочтительным с точки зрения обеспечения более высокого уровня эффективности организации.

Декомпозиция двумерного пространства модели позволяет выделить следующие наиболее характерные типы организаций с точки зрения восприятия их стейкхолдерами, работниками и ближайшим деловым окружением:

«**Рабочая лошадка**» представляет собой наиболее распространенный тип успешных организаций, эффективность деятельности которых вполне устраивает их собственников. Широко распространенным типом организаций являются организации типа «**Забитый угол**». К этому типу относится широкий спектр малоперспективных организаций с низкой, нулевой и даже отрицательной эффективностью. Тип организаций «**трамплин чемпионов**» представляет собой относительно редкий случай высокоэффективных организаций.

Организации типа «**Золотая жила**» представляют собой наиболее привлекательный для собственников случай, так как обеспечивают им высокую прибыльность инвестиций на протяжении длительного периода своей деятельности. Организации типа «**Тихая гавань**» демонстрируют вполне приемлемый для собственников уровень эффективности и их

не стоит отождествлять с подобием ссылки для неугодных. Организации типа *«выработанная шахта»* демонстрируют недостаточно высокий уровень эффективности. Организации типа *«транзитный полустанок»* являются транзитными для их руководителей в том смысле, что в период наибольшей своей деловой активности они должны каким-то образом себя проявить и зарекомендовать.

Организации типа *«элитный клуб»* представляют собой крайне привлекательный для руководителя организации и ее собственников вариант. Организации типа *«пьедестал победителя»* представляют собой исключительно привлекательный вариант.

Ключевым элементом мотивации руководителей организаций в процессе формирования стратегического видения перспектив развития организаций во всех без исключения случаях является стремление руководителя организации обеспечить повышение ее эффективности. Именно этот мотив является единственным, который принимается собственниками организаций в качестве существенного при определении как механизма стимулирования руководителя, так и дальнейших перспектив его карьеры в этом качестве. Любой руководитель всех типов организаций, рассмотренных выше, стремится максимально соответствовать ожиданиям собственников. Любое отклонение пути развития организации от благоприятных ожидаемых собственниками траекторий развития рассматривается собственниками как явный признак того, что руководитель либо недостаточно высоко компетентен, либо он недостаточно высоко мотивирован, либо в его действиях есть признаки коррупционного поведения. Отдельно следует отметить, что ни отсутствие «везения», ни наличие непредвиденных внешних неблагоприятных обстоятельств, не интересуют собственников. Им важны только фактические достигнутые результаты.

Предлагаемая модель ориентирована, прежде всего, на оценку деятельности топменеджеров организаций. Но она же вполне пригодна для оценки деятельности и всех вытекающих из нее кадровых решений менеджеров других уровней. Также данная модель функционально пригодна для оценки руководителей так называемых «стратегических зон хозяйствования» (или «стратегические хозяйственные единицы»), под которыми в стратегическом менеджменте принято называть «бизнес-дивизионы» или, иначе, «хозрасчетные структурные подразделения» [1].

На рис. 2. представлены возможные варианты стратегий развития деятельности организаций. Зеленым цветом выделены стрелками наиболее желательные как для собственников организации перемены, так и для ее действующего руководителя. Синим цветом – наиболее вероятные. Коричневым цветом показаны неблагоприятные варианты развития событий, при этом риски таких вариантов развития событий должны быть оценены и элиминированы.

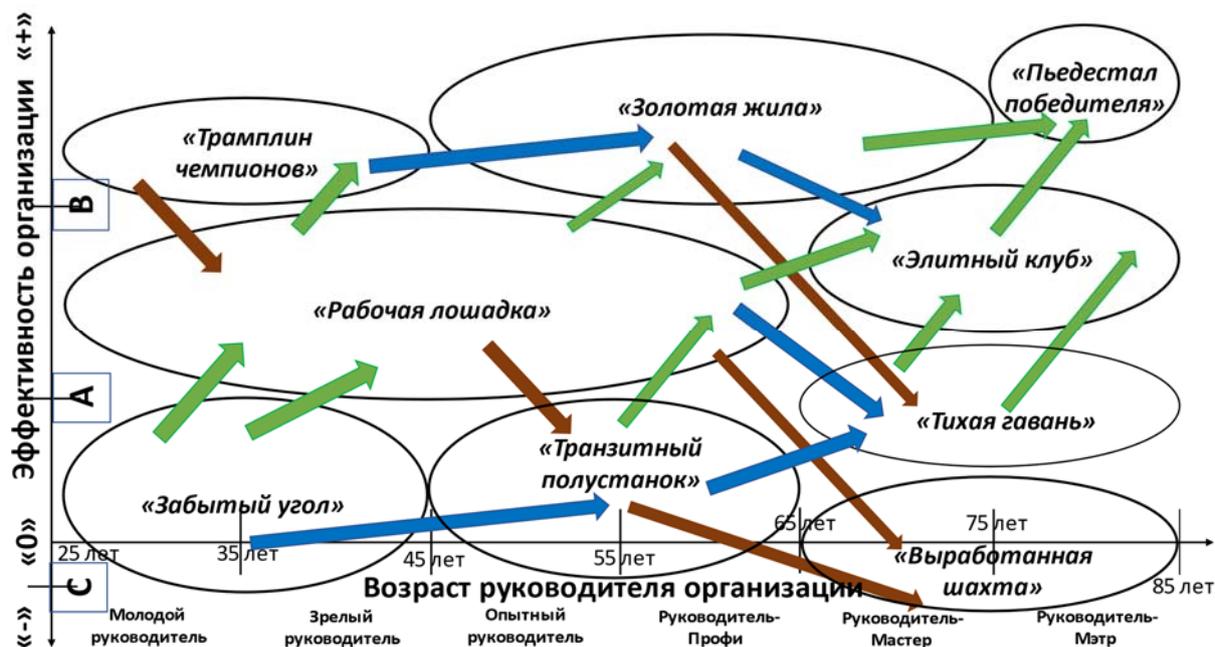


Рис. 2. Варианты возможных стратегий развития организаций

Данная модель может быть использована собственниками организаций, для которых задача оценки эффективности топменеджеров напрямую связана с кадровыми решениями и материальным стимулированием. Предлагаемая модель также может использоваться непосредственно руководителями организаций для разработки и согласования с собственниками эффективных стратегий развития организаций [2]. Полезным также представляется и применение на практике предлагаемой модели руководителями бизнес-дивизионов и всех типов центров финансовой ответственности.

Список используемых источников

1. Верединский С. Ю. Финансовое управление интегрированными организациями бизнеса, Издательство Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. СПб., 2006. ISBN 5-7310-2100-7.
2. Макаров В. В., Горбатько А. В. Инновации, инновационная политика и управление качеством услуг компании мобильной связи. СПб. : СПбГУТ, 2014. 288 с.

УДК 004.7:378
ГРНТИ 20.53.23;14.85

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ТОКЕНОВ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

М. Б. Вольфсон

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

В последние несколько лет в мире получила широкое развитие технология невзаимозаменяемых токенов на основе сети блокчейн, используемая сейчас в основном в сфере коллекционирования цифровых активов, а также для инвестирования.

В статье рассматриваются возможности и перспективы использования NFT в образовательной сфере.

NFT, блокчейн, образование, токены, микро-учетные данные, Ethereum.

В период пандемии COVID-19 во всем мире значительно вырос спрос на дополнительное профессиональное образование: курсы повышения квалификации, переподготовку, реализуемые в онлайн формате. Сейчас работодатели во всем мире ищут сотрудников, обладающих конкретными навыками и способностями. Степень или диплом не всегда могут дать ответ на этот запрос. Электронное портфолио, которое демонстрирует способности, навыки и умения (*hard skills u soft skills*), а также оценка на основе компетенций, проводимая после окончания краткосрочных курсов, часто лучше отвечает потребностям работодателя.

Одними из первых это осознали массовые открытые онлайн-курсы (МООС). Сейчас к ним подключились и высшие учебные заведения.

Выдаваемые ими сертификаты могут быть особенно полезны людям, которые хотят опираться на свои знания, не завершая полную программу высшего образования, а также повысить свою квалификацию или пройти переподготовку для своего профессионального развития.

В этой связи в образовании появились новые понятия «микро-учетных данных», «микростепени» и «микродипломов» (*microcredentials, microdegree*). Это квалификация, ориентированная на конкретную профессиональную дисциплину, подтверждающая результаты обучения, полученные в ходе короткого курса или модуля. В иерархии образовательных квалификаций они могут считаться «сертификатами». В основе их получения лежит образование на основе компетенций (*Competency Based Education, CBE*), цель которого – привязать аттестацию к конкретным наборам навыков.

ЮНЕСКО предложила следующие характеристики микро-учетных данных:

- являются подтвержденным сертифицированным представлением результатов обучения, компетенций или навыков, соответствуют стандартам обеспечения качества и присуждаются полномочным органом;
- обычно ориентированы на конкретную область обучения или технических навыков и часто достигаются в течение более короткого периода времени;
- могут выдаваться коммерческими структурами, профессиональными и общественными организациями;
- имеют самостоятельную ценность и могут объединяться с другими микро- или макро-учетными данными;
- принадлежат, переносятся и могут быть использованы учащимися.

Микро-учетные данные представлены в цифровом формате и соответствуют критериям открытости данных, поскольку могут быть автоматически проверены через Интернет, и обеспечивают более высокий уровень детализации, чем традиционные бумажные аналоги.

С точки зрения информационных технологий микро-учетные данные представляют собой метаданные, сформированные, например, в соответствии с классификацией ESCO (*European Skills, Competences, Qualifications and Occupations*), которая описывает профессии и навыки, связанные с ними, в стандартизованном формате. Это описание становится понятным электронным системам, которые позволяют онлайн-платформам использовать ESCO для сопоставления соискателей с работой на основе их навыков, предлагать тренинги для людей, которые хотят переквалифицироваться или повысить свою квалификацию и т. д.

Однако цифровой формат микро-учетных данных влечет за собой и ряд проблем, связанных в первую очередь с их защитой от подделки, кражи и пр. Одним из возможных решений является использование технологии блокчейн и невзаимозаменяемых токенов.

Токен – это единица учета, используемая для представления цифрового баланса в некотором активе, записанная в регистре цепочки блокчейн. Отличительной чертой невзаимозаменяемых токенов (NFT, non-fungible token) является то, что они неповторимы и существуют в единственном экземпляре, а вся информация о связанном с ним объекте хранится в блокчейне. При попытке копирования файла NFT не скопируется и останется у первоначального файла, делая его оригиналом. При этом только технология блокчейн гарантирует, что каждый токен будет по-настоящему уникальным. Невозможность внести изменения в блокчейне «задним числом» практически исключает подделку уникального токена [1–4].

Чаще всего использование NFT основано на смарт-контрактах, поэтому преимущественно транзакции происходят в сети Ethereum в валюте ETH.

В 2018 г. в Ethereum был утвержден стандарт ERC-721, согласно которому в реестре фиксируется не число токенов, принадлежащих пользователю, а держатель каждого индивидуального токена. Чуть позже был предложен стандарт ERC-1155, позволивший пользователям создавать как взаимозаменяемые, так и невзаимозаменяемые токены в одном смарт-контракте.

Смарт-контракт не определяет авторские права на сам актив. Когда кто-то покупает NFT, он покупает файл метаданных, подтверждающий уникальность и подлинность приобретенного цифрового актива. Смарт-контракт также определяет, как покупателю разрешается использовать приобретенный товар, а также возможные отчисления автору в случае перепродажи. При производстве или продаже NFT необходимо осуществить новую транзакцию для вызова смарт-контракта. После ее подтверждения метаданные и информация о владельце добавляются в новый блок, обеспечивая неизменность истории NFT и сохранения права собственности.

Следует обратить внимание, что сам токен хранит лишь указатель на место хранения объекта. Для хранения же самого объекта есть несколько вариантов:

- централизованное хранение на удаленном сервере. При этом хотя внести изменения в токен нельзя, однако изменить сами данные по URL вполне возможно.

- IPFS – контентно-адресуемый, одноранговый протокол связи. Данные хранятся децентрализованно, однако необходимо обеспечить круглосуточный доступ к нужным данным в пиринговой сети, а также наличие хотя бы одного работоспособного узла.

- децентрализованные облачные хранилища (блокчейн). Блокчейн надежнее IPFS, благодаря алгоритмам консенсуса и шифрованию. Однако не все блокчейны подходят для хранения больших файлов.

По данным The Block Research в 2021 году объем торгов NFT превысил \$13 млрд. Показатель вырос почти в 400 раз, по сравнению с 2020 годом (\$33 млн). В первую очередь это связано с использованием NFT в игровом сегменте, а также в сфере коллекционирования, т. к. NFT решил проблему подтверждения подлинности объектов искусства. В 2021 году Государственный Эрмитаж продал NFT картин на сумму более 32 млн руб. Ранее основатель Twitter Дж. Дорси продал в этом же формате свой первый твит за \$2,9 млн, а художник М. Винкельман продал свою NFT-картину за \$69 млн.

NFT является перспективным решением по защите интеллектуальной собственности на цифровые товары, т. к. он не только подтверждает оригинальность файла, но и несет в себе информацию о его свойствах, которая также не поддается изменению или копированию.

Однако кроме общепринятых областей применения, использование NFT может иметь целый ряд преимуществ и в образовательной сфере.

1) Подтверждение академических достижений учащихся позволит снизить вероятность подделки и мошенничества, а также легкость проверки данных, формирующих образовательный профиль (цифровое портфолио) обучающегося. Смарт-контракт может содержать множество метаданных, таких как: информация об образовательной организации и образовательной программе, о выданном сертификате, об обучающимся и др. Таким образом достижения учащихся начинают принадлежать им, а не учебным заведениям. NFT будет связан с дипломом или сертификатом, который будет иметь временную метку и неизменно привязан к идентификатору (кошельку) учреждения-эмитента.

Наличие цифровых микро-учетных данных, к которым можно получить доступ из любой точки земного шара в любое время, критически важно для многих студентов в эпоху глобализации. Исчезает необходимость через много лет обращаться в свой вуз, колледж или другую организацию за подтверждением выданных дипломов. При наличии собственного кошелька выпускники могут их легко носить с собой в виде токена в личном кошельке и мгновенно предъявить его по запросу работодателя или университета за границей.

2) Выдача NFT после завершения курса или этапа обучения может быть использована как элемент геймификации с целью повышения мотивации обучающихся. NFT могут раздаваться в качестве призов или быть своеобразным символом оценки статуса учащихся. Для этого учебное заведение чеканит NFT, затем переводит их из кошелька учреждения в кошелек преподавателя. После перевода педагог становится единственным лицом, которое может присуждать их, в свою очередь осуществляя перевод токенов в кошелек студента.

При этом каждому студенту предоставляется только один кошелек при входе в систему. Этот кошелек уникален для студента и не привязан к учебному заведению. Это важно для унификации наград NFT в разных учебных заведениях, с которыми студент может взаимодействовать во время учебного процесса.

Полученные студентом микро-учетные данные также могут публиковаться на мобильной платформе или на веб-сайте, чтобы показать прогресс и способности учащегося.

3) NFT позволит подтвердить авторские права студентов на выполненные ими проекты и работы (например, в сфере искусства, компьютерных разработок и пр.), а также права преподавателей, на разработанный ими контент (электронные пособия, презентации и пр.), который в дальнейшем можно успешно коммерциализировать.

5) Система на основе NFT не только позволяет составить более надежное и эффективное резюме, но также дает больше возможностей для взаи-

модействия с компаниями-работодателями. С помощью NFT различные моменты обучения теперь могут быть зафиксированы, храниться на протяжении всей жизни и использованы в качестве «эмпирических» доказательств, что студент освоил практические аспекты курса. Это могут быть первые успешные переговоры, первая заключенная сделка, первая хирургическая операция или первый самостоятельный полет пилота. Рекрутер сможет найти будущего сотрудника не просто по названию специальности, а по конкретным выполненным проектами, полученным и подтвержденным навыками и умениям, которые лучше соответствуют профилю кандидата.

5) В университетах NFT могут использоваться для подтверждения прав студентов на бесплатные онлайн-курсы, билеты на мероприятия, доступ к ресурсам и др.

6) С помощью NFT можно проводить анонимную оценку как преподавателей, так и курсов в целом, результаты которой также будут записаны в блокчейн.

Текущим препятствием для широкого внедрения NFT в данной сфере можно назвать необходимость наличия у студентов криптовалютных кошельков для получения NFT, а также плату за газ для проведения транзакций в системе Ethereum. Однако в настоящее время тенденция такова, что все больше людей будут иметь кошельки, а плата за газ станет ниже. При этом даже без кошелька подтверждение академических успехов обучающихся остается публичным и достоверным, а кошелек может быть создан и позднее.

Кроме того, NFT используют большое количество энергии при их создании. Оценивается, что ежегодно Ethereum использует около 62,08 ТВт мощности, что сравнимо с потреблением энергии Швейцарии и имеет углеродный след 29,49 Мт CO₂, сравнимый с углеродным следом Мьянмы. Понимая эту проблему, Ethereum планирует изменить свой алгоритм проверки работоспособности на более энергоэффективный алгоритм.

Список используемых источников

1. Арзумян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Сотников А. Д. Blockchain – пути развития // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2017. Т. 3. С. 43–47.

2. Арзумян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Сотников А. Д. Модель Blockchain сервисов // 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. 479–484.

3. Арзумян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Сотников А. Д. Распределенные реестры как инструмент цифровой экономики // Технологическая перспектива в рамках евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста. 4-я Международная научная конференция. СПб. : Изд-во «Астерион», 2018. С. 30–34.

4. Арзуманян Ю. В, Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Сотников А. Д. Распределённый реестр для фиксации юридически значимых документов // 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. Т. 3. С. 468–472.

УДК 336.781.5
ГРНТИ 06.73.55

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ АКЦИЙ ПО ЦЕЛЕВЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

М. А. Егорова, В. И. Котов

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

Инвестиционные вложения связаны с желанием приумножить капитал. Использование существующих показателей эффективности портфеля приводит к различным вариантам сочетания инвестиционных инструментов при формировании портфеля акций. Цель данного исследования – рассмотреть отдельные виды целевых показателей и оценить возможности их использования с позиции оптимальности между риском и доходом портфеля акций для инвестора.

оптимальный инвестиционный портфель, коэффициент бета, коэффициент Шарпа, коэффициент Сортино, инвестиционный доход, риск.

Введение

Портфельное инвестирование представляет собой процесс, базирующийся на прогнозировании и математическом моделировании. Формирование инвестиционного портфеля с активным управлением предполагает проведение постоянной аналитической работы по поиску подходящих ценных бумаг на основе текущей биржевой информации.

Главная задача создания портфеля – подбор активов и их оптимальная комбинация с тем, чтобы улучшить общий итог инвестирования от совокупности ценных бумаг. Сочетание активов следует подобрать так, чтобы достичь определенного уровня потенциальной доходности и снизить риск инвестора до минимума. Основными вопросами при формировании оптимального портфеля становятся определение пропорций между активами с различными свойствами и то, каким образом подобрать инструменты так, чтобы защитить деньги от инфляции и увеличить капитал.

На сегодняшний день существует множество подходов построения оптимального инвестиционного портфеля. Портфельные теории Г. Марковица [1], У. Шарпа [2] Дж. Тобина [3] продолжают дополняться все новыми инструментами. Однако пока нет универсальной модели и вопрос отбора инструментов в портфель остается сложной творческой задачей. Существующие методики и модели оптимизации инвестиционного портфеля по выбранным критериям исходят из того, что при прочих равных условиях инвесторы предпочитают больший доход при наименьшем риске.

Поскольку при формировании портфеля невозможно точно определить будущую динамику его доходности и риска, инвестиционный выбор делают на основе ожидаемых значений. Прогнозные величины оцениваются на базе статистических отчетов за предыдущие периоды времени и дальнейшей их корректировки в соответствии с ожиданиями развития конъюнктуры рынка.

В ранних моделях портфельного инвестирования Марковица и Шарпа в качестве меры риска активно использовались стандартное отклонение и бета-коэффициент. Коэффициент бета характеризует среднее отклонение курсов отдельных акций относительно рынка в целом за определенный период и позволяет оценить, как акции вели себя в прошлом относительно рыночного фондового индекса. Но его применение ограничено в силу того, что значения самого коэффициента очень волатильны и могут кардинально меняться во времени, что затрудняет корректную оценку активов как с точки зрения корреляции акции и индекса, так и с точки зрения степени чувствительности реакции акции на движения индекса.

Коэффициент бета показывает локальные и очень краткосрочные рыночные тенденции. С этой точки зрения, расчет коэффициента за короткие промежутки времени отражает сиюминутные настроения рынка и не может применяться с инвестиционными целями. Мы рассмотрим формирование портфеля акций компаний по целевым показателям на основе разработанной компьютерной модели.

Описание модели

Рассмотрим модель распределения капитала по нескольким случайным образом выбранным акциям. Цель – распределить деньги так, чтобы максимизировать ожидаемую доходность при некотором приемлемом для инвестора уровне риска.

Нами была разработана модель, в которую в качестве исходных можно вводить данные о котировках акций нескольких десятков эмитентов, представленных на Московской бирже (МОЕХ) за период с января 2020 по декабрь 2021 г. с шагом в один месяц. Далее из всего массива данных можно выбрать 5–8 эмитентов, для которых проводится анализ динамики доходности каждого вида отобранных акций по месяцам на основе соотношения:

$$r_i(t) = \frac{p_i(t+1) - p_i(t)}{p_i(t)}, \quad (1)$$

где p_i – цена акции i -го эмитента,
 t – период (месяц);
 r_i – доходность акции i -го эмитента.

Для каждого эмитента по каждому году находим среднее значение и стандартное отклонение доходности акций. Далее произвольно выбираем доли акций эмитентов в портфеле W_i так, чтобы сумма весов равнялась 100 %. Для данных первого года (периоды с 1 по 12-й) рассчитываем матрицу ковариаций между акциями. Для этого используем специальную надстройку в *Excel*. выбираем в главном меню закладку «Данные», затем «Анализ данных» и опцию «Ковариация». Получаем квадратную матрицу, порядок которой равен числу эмитентов.

Рассчитываем показатель рискованности портфеля по Марковицу [1]:

$$\sigma_p = \left([Cov(r_{ij}) * [W]^t] * [W] \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $[W]$ – вектор варьируемых весовых коэффициентов (долей акций эмитентов). В дальнейшем этот показатель (2) может быть одной из целевых функций оптимизации портфеля по минимуму риска.

Ожидаемая доходность портфеля находится из выражения:

$$\sum_{j=1}^M ar_j * W_j = r_p, \quad (3)$$

где r_p – ожидаемая доходность портфеля,
 ar_{oji} – средняя доходность акции j -го эмитента за первый год,
 M – количество эмитентов,
 W_e – весовые коэффициенты (доли акций в портфеле) эмитентов.

Далее рассчитываем среднюю доходность и стандартное отклонение ожидаемой доходности портфеля. На данном этапе, изменяя весовые коэффициенты (доли акций эмитентов в портфеле), можно ставить задачу оптимизации портфеля по следующим пяти критериям.

1-й критерий: «Максимум ожидаемой доходности портфеля»

Варьируя W_y с помощью опции «Поиск решения», находим максимум ожидаемой доходности портфеля:

$$r_p = \text{Max} \left(\sum_{j=1}^M \alpha r_j W_j \right), \quad (4)$$

где αr_j – средняя доходность акции j -го эмитента за первый год,
 M – количество эмитентов.

2-й критерий: «Минимум риска портфеля»

Варьируя весовые коэффициенты W_j с помощью опции «Поиск решения», находим минимум дисперсии (среднеквадратичного отклонения) портфеля (по Марковицу):

$$\sigma_p = \text{Min} \left(\left[\text{Cov}(r_{ij}) * [W]^t \right] * [W] \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Это выражение является мерой рискованности портфеля.

3-й критерий: «Максимум коэффициента Шарпа»

Этот коэффициент учитывает доходность портфеля, превышающую безрисковую доходность (r_f), и риск (σ_p) портфеля:

$$R_Sharp = \text{MAX} \left(\frac{r_p - r_f}{\sigma_p} \right). \quad (6)$$

Варьируя весовые коэффициенты W_j с помощью опции «Поиск решения», мы влияем на доходность r_p и показатель риска σ_p (стандартное отклонение), которые определяют коэффициент Шарпа как целевую функцию. Здесь мерой риска является стандартное отклонение доходности портфеля. Следует иметь в виду:

- чем выше коэффициент Шарпа, тем больший доход будет получен на единицу риска и тем более выгоден портфель.
- если коэффициент становится **отрицательным**, то от такого портфеля лучше отказаться, т. к. его доходность ниже безрисковой. Поэтому проще и выгоднее вложиться в безрисковый актив.
- если коэффициент **больше нуля**, но меньше единицы, то риск не оправдан. Такие портфели можно использовать, если нет других альтернатив.
- если коэффициент **превышает единицу**, это означает, что риск оправдан, и портфель можно использовать.

4-й критерий: «Максимум коэффициента Сортино»

Коэффициент был разработан Фрэнком Сортино как модификация коэффициента Шарпа, который в качестве меры риска использовал волатильность инвестиционного портфеля, оцениваемую стандартным отклонением, при этом учитывал как движение цены портфеля вверх, так и вниз. Но резкие скачки цены портфеля вверх способны существенно снизить коэффициент Шарпа, так как они влияют на общую волатильность. Сортино считал это недостатком коэффициента Шарпа, так как по его мнению инвесторы предпочитают большие положительные доходы. Он предложил брать в расчет только периоды с отрицательной (рискованной) доходностью портфеля.

$$R_Sortino = MAX \left(\frac{ar_p - ar_f}{\sqrt[2]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_{ip} - r_{if})^2}} \right), \quad (7)$$

где ar_p – средняя доходность портфеля (зависит от W_j),

ar_f – средняя доходность безрисковых вложений,

r_{ip} – текущая доходность портфеля только в убыточных периодах (также зависит от W_j),

r_{if} – текущая доходность безрисковых вложений,

i – номер периода наблюдения,

n – число периодов наблюдения.

Варьируя весовые коэффициенты, можно максимизировать (7) и получить оптимальный портфель по Сортино. Если коэффициент Сортино оказался более 1, то портфель считается приемлемым.

5-й критерий: «Минимум риска при заданной доходности портфеля»

В этом случае задаем величину приемлемой доходности портфеля в качестве ограничения, варьируем весовые коэффициенты W_j с помощью опции «Поиск решения», находим оптимальную структуру портфеля используя второй критерий – минимума риска. Следует иметь в виду, что при заданной доходности задача может не иметь решения. В этом случае следует снизить требование к доходности и вновь запустить процедуру «Поиск решения».

Результаты моделирования

В качестве безрискового актива выбраны облигации федерального займа со сроком погашения 3 года. Среднемесячная доходность по ним составляла 0,5 %, или около 6,0 % в год. Далее выбирали шаг наблюдения

один месяц, а горизонт планирования два года (2020 г. периоды с 1-го по 12-й, а 2021 г. периоды с 13-го по 24-й). В расчетах участвовали акции пяти компаний из разных отраслей: Лукойл, Ростелеком, Аэрофлот, МТС и Северсталь [4].

Ниже в таблице 1 представлены результаты оптимизации портфеля акций по пяти критериям, описанным выше. Здесь в колонке «Консервативная фактическая доходность» приведены доходности при продаже акций в конце 24-го периода, т. е. в конце 2021 года. В колонке «Активная фактическая доходность» показаны данные при продаже акций в периодах с максимальной ценой акции для каждого эмитента. Здесь фактические доходности оказались выше, чем в консервативном варианте управления портфелем, однако у нас нет никаких гарантий, что удастся угадать период максимальной цены акции для каждого эмитента и получить максимальную доходность.

Заметим, что только при оптимизации портфеля по критерию «Максимум доходности» и критерию «Минимум риска при заданной доходности» ожидаемая средняя доходность портфеля была выше средней доходности рынка во втором году (периоды с 13-го по 24-й). В первом случае доходность была 0,85 % против 2,10 %, а во втором – 0,85 % против 1,39 %, соответственно.

Риски портфеля в нашей модели оценивались по методу Шарпа, Марковица и Сортино. Следует отметить, что оценки риска по Шарпу были наибольшими, а оценки риска по Сортино – наименьшими из указанных трех вариантов оценивания для всех пяти критериев оптимизации портфеля.

ТАБЛИЦА 1. Результаты оптимизации портфеля акций по различным критериям

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ	Периоды	Средняя доходность рынка	СКВО рынка	Ожидаемая средняя доходность портфеля	Консервативная фактическая доходность портфеля	Оценка риска по Сортино	Активная фактическая доходность портфеля
Максимум доходности	1 - 12	1.58%	6.64%	3.90%		2.75%	
	13 - 24	0.85%	4.03%	2.10%	22.89%	4.79%	42.49%
Минимум риска	1 - 12	1.58%	6.64%	1.52%		1.35%	
	13 - 24	0.85%	4.03%	0.07%	-0.15%	2.43%	16.88%
Максимум коэффициента Шарпа	1 - 12	1.58%	6.64%	3.04%		1.14%	
	13 - 24	0.85%	4.03%	0.55%	5.63%	4.11%	29.16%
Максимум коэффициента Сортино	1 - 12	1.58%	6.64%	3.06%		1.15%	
	13 - 24	0.85%	4.03%	0.59%	6.04%	4.12%	29.47%
Минимум риска при заданной доходности портфеля	1 - 12	1.58%	6.64%	3.50%		1.92%	
	13 - 24	0.85%	4.03%	1.39%	14.90%	4.42%	36.32%

Выводы

Все портфельные теории и теории технического анализа, основываются на исторических данных о курсах акций т. е. доходность и риск на будущее прогнозируются на основе их значений в прошлом. Поскольку будущее поведение рынка зависит от множества факторов, оно практически непредсказуемо.

Критики портфельных теорий не отрицают важности исторического анализа котировок акций. Но если этот анализ использовать для прогноза на краткий временной интервал, то возможность предсказания курса акции равна вероятности выпадения «орла» или «решки». Если горизонт планирования инвестиций расширить до нескольких лет, то с помощью портфельного анализа можно получить приемлемые результаты. При этом необходимо анализировать не только динамику курса акций выбранных эмитентов, но и стоимость самих компаний.

Список используемых источников

1. Теория портфеля Марковица. Источник: <https://finplan.org/blog/investitsii/teoriya-portfelya-markovitsa/>
2. Шарп У., Александер Г., Бэйли Дж. Инвестиции: пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2003 XII, 1028 с.
3. Инвестиционный портфель ценных бумаг. Расчет портфеля Дж. Тобина в EXCEL. Источник: <https://finzz.ru/investicionnyj-portfel-cennyx-bumag-portfel-tobina-v-excel.html>
4. Котировки и курсы акций – Investing.com

УДК 004.738.5:334.7; 378.14
ГРНТИ 82.17.03

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

Г. Р. Катасонова, Ю. С. Соломко, А. Д. Сотников, Е. В. Стригина

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

Распределенные информационные системы коллективного пользования являются основой широко распространенных, популярных и стремительно развивающихся технологических решений известных как социальные сети, виртуальные среды, корпоративные информационные системы. Одновременно с этим фактически отсутствуют методы описания информационных процессов, для которых создаются подобные системы. В статье предлагается уточнение и модификация доменной модели инфоком-

муникаций, которая позволяет с единых позиций рассматривать и использовать методы количественного анализа для описания и исследования процессов в подобных системах независимо от их прикладной специфики.

цифровая экономика, виртуальные среды, инфокоммуникации, доменная модель, модели информационных систем, образование.

Характерной чертой современного этапа развития информационного общества является активное расширение областей применения информационных систем коллективного пользования. Они выступают под разными «именами» в зависимости от целей создания и использования, воплощают разнообразные архитектурно-технологические решения, брендированы и обосновано имеют своих адептов и поклонников. При всем различии и многообразии, в эту группу попадают игровые виртуальные миры, профессионально-ориентированные сообщества, масштабные корпоративно-ориентированные системы, цифровые двойники [1], разнообразные сетевые структуры на основе технологий распределенного реестра, социальные сети, многообразные Web-сервисы. Произвольные композиции подобных систем образуют так называемые «экосистемы», имеющие одной из целей обеспечить взаимодополнение систем и создать единую среду для пользователей.

Постоянное технологическое совершенствование и масштабное развертывание подобных систем на разнообразных сетевых платформах, перспективы появления квантовых «вычислительных» систем с практически неограниченной производительностью смещают на периферию принципиальный вопрос об адекватном представлении и детальном анализе процессов в таких системах. Проблема усугубляется недостаточной разработанностью методов формального описания подобных систем [2–5].

Задачу систематизации и анализа таких систем (сред) целесообразно проводить на основе описания и исследования того, что является фундаментальной функцией данных систем несмотря на калейдоскопическое разнообразие реализаций, а именно на основе анализа информационных процессов, обеспечивающих достижение многообразных декларируемых целей, диктующих специфику прикладных решений.

В работах [6–8] предложена, обоснована и достаточно детально рассмотрена фундаментальная основа подхода – доменная модель инфокоммуникаций, которая строится на формальном описании совокупности элементарных информационных взаимодействий, происходящих между источником и получателем посредством многократного преобразования информационных представлений сущностей (объектов) когнитивного (КД) и физического (ФД) доменов, которые реализуются в информационном домене (ИД) и сопровождаются переносом, хранением и презентацией данных за счет соответствующих инфокоммуникационных систем [6].

В формальной нотации элементарное информационное взаимодействие в системе из нескольких информационных источников (сущностей когнитивного и физического доменов) и нескольких получателей информации (аналогичных сущностей КД и ФД) будет описываться выражением

$$\left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^m} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi C^m \xi C^k}} \left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^k}, \quad (1)$$

где A_n – сущности когнитивного или физического доменов;

ξA_n – тезаурус (множество различных состояний) сущности A ;

Q – операция преобразования представления (образа) сущности A_n в тезаурус наблюдателя C_k .

Для описания множества взаимодействующих пар «источник-получатель» и множества информационных систем, обеспечивающих это взаимодействие выражение (1) обобщается как показано в (2).

$$\left[\left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^m} \xleftarrow[Q_{22}^{\xi C^k \xi C^m}]{} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi C^m \xi C^k}} \left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^k} \right]_{m=1, \dots, M}^{k=1, \dots, K}, \quad (2)$$

где сохраняются условные обозначения для выражения (1).

Еще более общая модель, учитывающая разделение пользователей на отдельные группы, объединенные по произвольным признакам представлена выражением

$$\left[U_{S=1}^S \left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^m} \xleftarrow[Q_{22}^{\xi C^k \xi C^m}]{} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi C^m \xi C^k}} U_{P=1}^P \left\langle \left[\langle A_n \rangle^{\xi A_n} \right]_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi C^k} \right]_{m=1, \dots, M}^{k=1, \dots, K}, \quad (3)$$

где $\langle A_n \rangle^{\xi A_n}$ – одно из множества возможных представлений объекта A_n ,

$\xrightarrow[Q_{22}^{\xi C^m \xi C^k}]{} \rightarrow$ – прямое и обратное преобразования тезаурусов систем, представленных в соседних доменах при трансляции информационного представления (образа) объекта между доменами,

N – количество объектов (сущностей),

M – количество информационных систем,

K – количество представлений объектов (сущностей) в ИС,

S, P – количество взаимодействующих групп, при взаимодействии внутри группы $P \equiv S$.

Формула (3) описывает процесс информационного взаимодействия характерный для распределенных информационных систем с выделенными

группами пользователей, что характерно для упоминавшихся ранее классов прикладных ИКС, например, социально-ориентированных прикладных систем (образовательных, медицинских, страховых и т. п.) [9, 10].

Новым элементом здесь является выделение групп объектов в информационном домене. Эти группы, в частности, могут быть пользователями одного из множества сервисов конкретной ИС или их совокупностей.

Для описанной модели следует сделать несколько замечаний отражающих ряд важных характеристик, связанных с функционированием систем подобного типа, которые не нашли отражения в модели (3).

Во-первых, отметим, что в выражении (3) сделано предположение об относительной стабильности групп не учитывающее их динамические (поведенческие) характеристики, такие как «продолжительность жизни», динамика изменения состава участников группы и их взаимных или внешних «тяготений», вовлеченность в другие группы. Рассмотрение этих характеристик, характер и темпы их изменения, влияние на характеристики информационных процессов составляет предмет самостоятельного исследования.

Во-вторых, рассматриваемые системы в большинстве случаев являются полимодальными ИС, использующими одновременно несколько модальностей для представления сущностей КД, ФД, а иногда и ИД [10]. Это обстоятельство отражается в том, что преобразования тезаурусов Q_{xy} в (1), (2), (3) делятся на отдельные группы индивидуальных преобразований тезаурусов. Количество групп преобразований тезаурусов соответственно квадратично растет с ростом количества используемых модальностей сигналов.

Электронные сетевые информационные системы образовательного назначения, например системы дистанционного обучения, или игровые «виртуальные миры» с позиций доменной модели инфокоммуникаций являются однотипными системами [11], которые отличаются количественными характеристиками и степенью «стабильности», т. е. темпом и характером изменения характеристик во времени, несмотря на их множественные технологические различия.

Проведенный анализ структурной организации и количественных характеристик информационных процессов распределенных информационных систем подтверждает и обосновывает достаточно тривиальный вывод о принципиальной возможности использования виртуальных информационных сред для построения прикладных образовательных систем, что на практике подтверждено использованием как специализированных сервисов на платформе Google, так и кроссплатформенных мессенджеров подобных Discord в учебном процессе.

В то же время анализ информационных процессов на основе доменной модели позволяет сформулировать количественные требования, предложить процедуры оптимизации и обеспечения требуемых технических характеристик реализуемых систем, что позволяет конструировать эффективные

прикладные полимодальные информационные системы, ориентированные на задачи образования. Кроме того, становится возможным выдвигать обоснованные требования к создаваемым виртуальным средам, как перспективному направлению технологического развития для коллективной деятельности и организации структурированного образовательного процесса в университете.

Список используемых источников

1. Akishin V., Kislyakov S., Sotnikov A. Customer Experience Model for Communication Service Provider Digital Twin // 24- th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (IEEE DCCN'2021), post-proceedings book (CCIS, volume 1552), 2022.
2. Sotnikov A. D., Rogozinsky G. G. The multi domain infocommunication model as the basis of an auditory interfaces development for multimedia informational systems // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 5. С. 77–82.
3. Сотников А. Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах. СПб.: СПбГУТ, 2007. 124 с.
4. Сотников А. Д. Инфокоммуникационные системы и их модели для здравоохранения // Информационно-управляющие системы. 2008. № 3. С. 46–53.
5. Сотников А. Д., Арзуманян М. Ю. Мониторинг «информатизации» предприятий в процессе перехода к информационной экономике // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. 2008. № 6.
6. Сотников А. Д. Классификация и модели прикладных инфокоммуникационных систем // Труды учебных заведений связи. 2003. № 169. С. 149–162.
7. Арзуманян Ю. В., Захаров А. А., Сотников А. Д. концепция информационного взаимодействия в социально ориентированных сообществах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 688–691.
8. Катасонова Г. Р., Сотников А. Д., Стригина Е. В. Использование моделей информационного взаимодействия в обучении // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 1557–1561.
9. Сотников А. Д. Принципы анализа прикладной области в инфокоммуникационных системах здравоохранения // Труды учебных заведений связи. 2004. № 171. С. 174.
10. Rogozinsky G. G., Sotnikov A. D. Principles of cyber-physical models mapping onto sonification sound spaces // сборник научных статей: 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications. 2018. С. 8350628.
11. Сотников А. Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах: автореферат диссертации д-ра техн. наук :05.13.12 / Сотников Александр Дмитриевич. СПб., 2007.

УДК 338.28
ГРНТИ 06.81.12

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИТ-ПРОЕКТОВ

В. И. Котов

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

Рассмотрена динамическая модель, с помощью которой можно количественно оценить экономическую эффективность, окупаемость и риски внедрения информационных технологий в бизнес. Показано, что все экономические выгоды от ИТ-проектов можно прогнозировать через прирост доходов и снижение текущих затрат.

ИТ-проект, динамическая модель Cash-Flow, чистая текущая стоимость, денежные потоки, коммерческая маржа, срок окупаемости, сценарный подход, риск-анализ.

Введение

Любой ИТ-проект – это прежде всего инвестиционный проект, при разработке которого необходимо оценить его экономическую эффективность, окупаемость и рискованность вложений. При решении этих задач разработчики сталкиваются с трудно измеримыми показателями финансовой отдачи от таких проектов.

Внедрение информационных технологий (ИТ) в бизнесе обычно направлено на:

- повышение эффективности и прозрачности бизнеса,
- улучшение управляемости компанией,
- повышение производительности труда,
- обеспечение единого информационного пространства и т. д.

Под эффективностью любого проекта подразумевается соотношение его затрат и результатов, последние весьма сложно оценить количественно, т. к. они могут быть не только качественными, но и финансовыми. При апостериорном подходе к расчету эффективности ИТ-проекта фиксируются и сравниваются показатели компании до и после внедрения ИТ. При этом бывает трудно доказать, что положительные изменения в компании, если они и произошли, связаны именно с внедряемой информационной системой, а не с тем, что, например, менеджмент компании начал принимать более эффективные решения, или в результате изменения экономической конъюнктуры и др.

При априорном подходе к оценке эффективности ИТ-проекта используются прогнозные значения основных ключевых показателей эффективности и риска, которые определяются на основании разрабатываемых моделей. Это позволяет оценить искомую эффективность до реализации самого

проекта, т. е. еще на этапе разработки бизнес-плана такого проекта. В рамках априорного подхода рассмотрим одно из возможных решений проблемы количественной оценки экономической эффективности ИТ-проекта.

Описание модели

За основу берется динамическая модель денежных потоков *Cash-Flow* [1], показанная на рис. 1.



Рис. 1. Динамическая модель денежных потоков проекта.

Здесь обозначены:

- $CF_{in}(x, t)$ – вектор входных денежных потоков,
- $CF_{out}(x, t)$ – вектор выходных денежных потоков,
- x – вектор параметров проекта,
- t – период (шаг) планирования.

К входным денежным потокам (по всем периодам горизонта планирования) относятся:

- прирост выручки от продаж товаров, реализуемых фирмой, за счет внедрения ИТ;
- доходы от размещения рекламы и сдачи в аренду свободных информационных ресурсов компании;
- полученные кредиты, если использовались заемные средства;
- собственные вложения инвесторов в ИТ-проект.

К выходным денежным потокам (по всем периодам горизонта планирования) относятся:

- оплата прироста текущих условно-постоянных (включая заработную плату персонала) и условно-переменных затрат (поставщикам за приобретенные товары) связанных с ИТ-проектом;
- оплата покупки основных средств для ИТ-проекта (оборудование, ПО и др.);
- погашение кредитов;
- уплата процентов по кредитам;
- уплата налогов государству;
- оплата таможенных пошлин, акцизов и пр., если таковые имели место.

В динамическую модель *Cash-Flow* (например, реализованную в среде *EXCEL*) вносятся параметры денежных потоков, ставки налогов, нормы

амортизации и др. В каждом периоде планирования должно выполняться условие финансовой реализуемости проекта [2]:

$$\sum_{t=0}^T [CF_{in}(x,t) - CF_{out}(x,t)] \geq \Delta_{min}(x, T+1) \quad \forall T, \quad (1)$$

где $\Delta_{min}(x, T+1)$ – минимально необходимый объем денежных оборотных средств к началу следующего периода планирования.

Оценка экономической эффективности ИТ-проектов на основе модели

Основная проблема использования данной модели связана с необходимостью оценки приростных значений входных и выходных денежных потоков на фоне всех денежных потоков действующей компании. Эта проблема может быть решена на основе сценарного подхода [1]. Вначале, на основе модели, показанной на рис. 1, рассчитываются прогнозные показатели эффективности (например, чистая текущая стоимость $NPV(T)$) без реализации ИТ-проекта (первый сценарий), а затем рассчитываются показатели компании с внедренным проектом (второй сценарий). Показатель эффективности самого проекта определяем как разность результатов этих сценариев, а именно:

$$NPV_{ИТ}(T) = NPV_2(T) - NPV_1(T). \quad (2)$$

Такой сценарный подход дает наиболее точный результат, однако требует большого количества исходных данных и расчетных процедур. Рассмотрим метод непосредственного расчета показателей эффективности ИТ-проекта на основе указанной выше модели.

Как известно, основные выгоды от реализации ИТ-проектов могут быть следующими.

1. Повышение объемов продаж за счет быстрого и лучшего информирования клиентов.
2. Повышение качества обслуживания клиентов.
3. Дополнительные доходы от размещения рекламы и сдачи в аренду свободных информационных ресурсов компании.
4. Сокращение времени бизнес-процессов.
5. Повышение производительности труда управленцев (электронный документооборот и пр.)
6. Экономия заработной платы за счет сокращения управленческого и вспомогательного персонала.
7. Сокращение товароматериальных запасов (ТМЗ) за счет более оперативного и точного учета (повышение оборачиваемости ТМЗ).
8. Сокращение времени обработки заказов.

9. Повышение безопасности труда и производственных процессов.

10. Защита имущества предприятия с помощью специализированных охранных информационных систем.

11. И др.

В конечном счете все эти выгоды приводят к двум основным экономическим эффектам, а именно: приросту доходов и снижению текущих затрат (разность между экономией затрат и дополнительными затратами по ИТ-проекту), т. е. к приросту входных и снижению выходных денежных потоков компании.

Пусть до внедрения ИТ в компании выручка (B) и все текущие затраты (C) приносили чистую прибыль в размере

$$\text{ЧП} = B - C. \quad (3)$$

Если после внедрения ИТ оценить прирост объемов продаж за счет выгод 1 и 2 на величину a (в %), то «новая» (B_n) и «старая» (B) выручка компании будут связаны соотношением:

$$B_n - B = \Delta B = B * a, \quad (4)$$

или

$$B_n = B * (1 + a), \quad (4a)$$

Тогда чистая прибыль (ЧП) с учетом (4a) будет

$$\text{ЧП}_{\text{нов}} = (B_n - C - A - A_{\text{ИТ}})(1 - \text{Tax}) = \text{ЧП} + (a * B - A_{\text{ИТ}})(1 - \text{Tax}), \quad (4б)$$

где обозначены: Tax – ставка налога на прибыль, A и $A_{\text{ИТ}}$ – амортизация основных средств (ОС) компании (без ИТ-проекта) и ОС ИТ-проекта, соответственно. Величина a может быть получена на основе экспертных оценок и/или анализа лучших практик аналогичных компаний из той же отрасли, внедривших информационные системы. В этом случае в модель *Cash-Flow* можно ввести в качестве входного денежного потока величину (4), а также денежные потоки от выгоды 3, указанной выше.

Анализируя остальные выгоды от внедрения ИТ, можно оценить возможное суммарное снижение текущих затрат на величину $b \geq 0$ (в %). Снижение текущих затрат компании (без текущих затрат самого ИТ-проекта)

$$C - C_n = \Delta C = C * b, \quad (5)$$

$$C_n = C * (1 - b), \quad (5a)$$

приведет к росту чистой прибыли:

$$ЧП_{нс} = (B - C_n - A - A_{ИТ})(1 - Tax) = ЧП + (v * C - A_{ИТ})(1 - Tax). \quad (5б)$$

Можно представить снижение текущих затрат за счет внедрения ИТ-проекта некоторым эквивалентным приростом $a_{\text{э}}$ выручки B за счет реализации проекта при тех же текущих затратах C . Запишем условие эквивалентности в виде:

$$B_{\text{э}} - C = B - C_n, \quad (6)$$

здесь эквивалентная выручка:

$$B_{\text{э}} = B * (1 + a_{\text{э}}). \quad (7)$$

Если в выражение (6) подставить выражения (5а) и (7), то нетрудно получить показатель эквивалентного прироста выручки:

$$a_{\text{э}} = v * \frac{C}{B} = \frac{\Delta C}{B}. \quad (8)$$

Эквивалентный прирост выручки:

$$\Delta B_{\text{э}} = v * C = \Delta C. \quad (8а)$$

Из (8а) следует: чем больше абсолютное снижение затрат компании за счет реализации ИТ-проекта, тем больше эквивалентный прирост выручки. Ниже на рис. 2 показана функциональная схема моделирования показателей эффективности ИТ-проекта, реализуемого компанией.

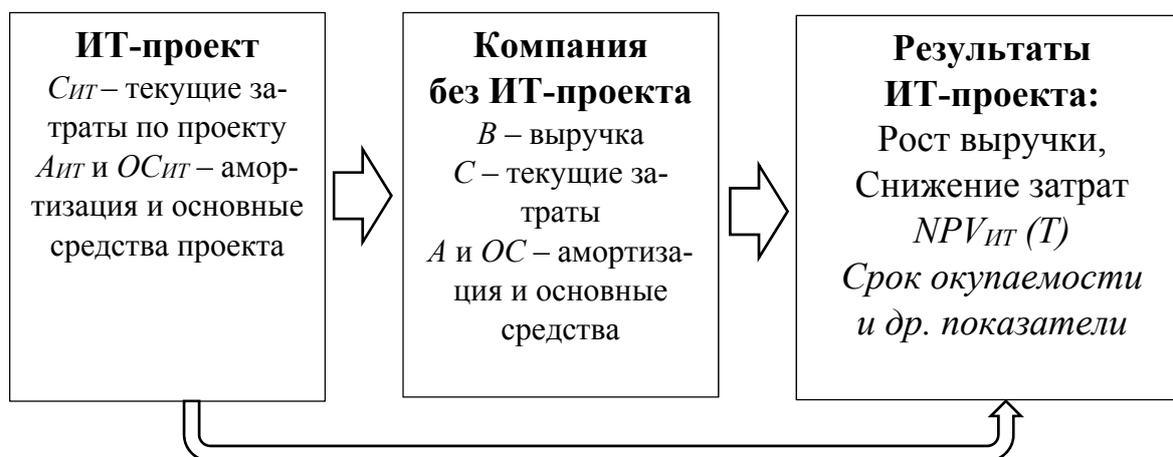


Рис. 2. Функциональная схема оценки эффективности ИТ-проекта

При таком подходе в динамическую модель *Cash-Flow* в качестве входных денежных потоков вводятся, во-первых, прогноз прироста выручки (4) и, во-вторых, эквивалентный прирост выручки (8а) за счет снижения текущих затрат. Все остальные исходные данные ИТ-проекта вводятся в модель как обычно при прогнозировании показателей компании [1]. В результате с помощью модели получаем чистую текущую стоимость ИТ-проекта:

$$NPV_T = \sum_{t=0}^T \frac{\Delta NCF_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{\Delta I_t}{(1+d)^t}, \quad (9)$$

где t – номер текущего периода (шага) планирования,

T – номер периода, для которого производится расчет показателя,

$\Delta NCF(t)$ – прирост чистого денежного потока от реализации данного проекта (чистая прибыль плюс амортизационные отчисления),

$\Delta I(t)$ – прирост инвестиций, связанных с данным проектом (вложения),

d – ставка дисконтирования, учитывающая инфляцию и риски проекта.

Срок окупаемости проекта – это момент времени, когда $NPV(T) = 0$.

В [1] представлена методика работы с подобными моделями и методика риск-анализа инвестиционных проектов на основе функций чувствительности и теории нечетких множеств [3, 4]. Такая методика позволяет не только рассчитать все необходимые показатели эффективности, но количественно оценить влияние различных совокупностей рисков на ИТ-проекты.

Список используемых источников

1. Котов В. И., Риск-анализ инвестиционных проектов на основе функций чувствительности и теории нечетких множеств. СПб. : Астерион, 2019. 350 с. URL: https://elibrary.ru/itembox_items.asp?id=485326

2. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву и архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Косов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. М.: ОАО "НПО" Изд-во "Экономика", 2000. 421 с.

3. Недосекин А. О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. СПб, СПбГУЭФ, 2004. Также на сайте: http://www.mirkin.ru/_docs/doctor005.pdf.

4. Котов В. И. Нечеткая модель риск-анализа // International Scientific and Technical and Methodological Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». SPb. : SUT, 2021.

УДК 65.011.8
ГРНТИ 06.81.12

ЗПИФ - ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ВЛАДЕНИЯ АКТИВАМИ

В. В. Ловцюс, М. Р. Фрейман

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

В современных реалиях бенефициары бизнеса сталкиваются с уменьшением возможных альтернатив в решении одновременно двух задач: сохранения личной икогни- тость и обеспечения уверенного наследования активов. При этом, если в решении пер- вой задачи за последние 30 лет было перепробовано много различных подходов с разной степенью успешности и законности, то вторая задача стала актуально лишь в послед- ние года в связи с тем, что значительная часть тех, кто начинал бизнес в 90-е годы в настоящее время стали задумываться о необходимости организации процесса пере- дачи своих активов наследникам. Причины не афишировать свое участие в бизнесе в ка- честве бенефициаров лежат как в правовой плоскости, например, опасения в рейдерских захватах, так и не теневой плоскости, например, уклонение от налогов или родственная связь с государственной службой, предполагающая необходимость соответствующего декларирования. Перечень корпоративных инструментов, обеспечивающих эффектив- ное решение каждой из перечисленных задач в отдельности, весьма ограничен, а одно- временно двух задач часто ошибочно приставляется пустым множеством.

закрытый паевой инвестиционный, фонд, квалифицированный инвестор, оптимизация налогообложения, коммерческая недвижимость, арендный бизнес.

Одним из достаточно известных, но недооцененных по-настоящему ин- струментов финансовых рынков являются паевые инвестиционные фонды – как открытые, так и закрытые, но в контексте нашего исследования мы об- ратим наше внимание на закрытые паевые инвестиционные фонды (далее – ЗПИФ), которые даже по замыслам законодателя как раз и являются одним из главных инструментов, которые предлагаются бизнесу для поддержания непрерывного реинвестирования части заработанной прибыли.

В начале становления рыночных отношений ПИФ рассматривались главным образом для законного снижения фискального бремени, в тех слу- чаях, когда это было действительно актуальным. Это происходило, отчасти, в силу скоротечности процессов рестроения и самоорганизации в моло- дой рыночной экономике, когда планирование на сроки больше фискаль- ного года считались уделом едва ли не мечтателей.

Несмотря на то, что ЗПИФ, как инструмент налоговой оптимизации, не является чемпионом по эффективности, надо помнить, что и затраты на со-

здание и поддержание необходимой сопровождающей инфраструктуры довольно-таки велики. Самой главной особенностью, или даже можно сказать отличием, мы должны признать фактическую утрату контроля над имущественным комплексом, который передается в управление.

Но время вносит свои коррективы: краткосрочные и высокорентабельные операции с крупными активами, да еще и на постоянной основе, по видимому, уже в прошлом. Слишком редко в последние года случаются крупные и высокодоходные сделки. В противовес этому можно или сохранить на приемлемом уровне рентабельности возврат вложений, только за счет увеличения горизонта планирования инвестиций, или даже перевести наши инвестиции в плановое русло, разумеется, со всеми вытекающими плюсами, как в отношении равномерности загрузки недешевой и весьма сложной инфраструктуры, так и при поддержании такого уровня рентабельности, который практически недостижим сегодня на коротких сроках.

Одновременно с этим набирает силу процесс, при котором владельцы активов все чаще стремятся скрыться от внимания широкой публики. Вряд ли нужно делать акцент на том, что, на самом деле, не только лишь скромностью продиктовано это стремление к скрытности, но часто это первое требование именно безопасности, в самом широком смысле этого слова. Уязвимость предпринимателей в современных условиях сильно выросла, и виной тому не только научно-технический прогресс и информационная революция: сегодняшние процессы меняют устоявшийся уклад, порождая новые, принципиально не существовавшие ранее и риски, и возможности. Но даже переход к среднесрочному планированию, без учета влияния текущего момента, поднимает вопросы удобного, но контролируемого перехода прав собственности и вопросов наследования.

Причем речь идет не обязательно о крупных состояниях: в рамки нашего исследования вполне вписывается если не всякий малый, то уж точно средний бизнес, и даже помимо наследования, вопросы скрытого владения бизнесом такого размера сегодня выходят на первый план. Это связано отчасти с тем, что средний бизнес не может себе позволить тратить необходимые для защиты средства, как это может себе позволить большой бизнес, при этом острота вопроса для него может быть даже выше в силу того, что крупный бизнес заметно менее уязвим, в особенности, из-за своих размеров и влияния на регионы присутствия.

Часто владельцами малого и среднего бизнеса в силу разных причин являются топ-руководители крупного бизнеса, которые по причине особенностей корпоративной политики крупных организаций не могут предавать огласке свои бизнес-интересы в иных отраслях, ну или же в силу стечения обстоятельств становятся владельцами объектов недвижимости или иных имущественных комплексов, при этом, будучи не вправе открыто совмещать и владение, и должностные обязанности.

Существуют и более деликатные моменты, связанные в отдельных случаях с крупными имиджевыми потерями бизнеса, например, если широкой общественности станет известна связь с некими «спорными фигурами», даже если не брать во внимание политиков. В такой ситуации очень часто, ради спасения бизнеса, просто необходимо скрыть от широкой общественности отдельную информацию, не являющуюся как бы жизненно необходимой.

Традиционные методы решения подобных проблем бизнеса часто недостаточно эффективны: это касается и оффшорных операций, но постоянное и неотвратимое ужесточение мирового и российского законодательства в области трансграничных операций и, принимая во внимание бесконечно усложняющуюся международную обстановку, делает паевые инвестиционные фонды весьма привлекательным инструментом, оптимизирующим задачи скрытности и наследования капитала.

Снижение рисков владения: вложенные ЗПИФы

Решением обозначенных задач в управлении активами с точки зрения снижения риска владения:

- снижения публичности бенефициаров и
- обеспечения наследования,

может стать схема вложенности одного ЗПИФ в другой. Очевидно, что паи первого из них, принадлежат реальным собственникам – бенефициарам, при этом никаких проблем в вопросе передачи их прав наследникам не возникает. Данный ЗПИФ через владение паями второго ЗПИФ обладает правами на реальное имущество, генерирующее доход. При необходимости паедержатели первого ЗПИФ могут в момент учреждения второго ЗПИФ и/или по средством дополнительной эмиссии вовлекать инвестиции проект, сохраняя при этом необходимую инкогнитость, т.к. их представителем для всех сделок для внешнего мира будет выступать Управляющая компания.

Однако, практическая реализация этого механизма на практике натывается на препятствие в виде не возможности реализовать права первого ЗПИФ в управлении вторым ЗПИФ через представительство в Инвестиционном комитете последнего.

Согласно ст. 17, п. 1, подпункт 2 Федерального закона от 29.11.2001 № 156-ФЗ «Об инвестиционных фондах» [1] (далее –ФЗ) в состав инвестиционного комитета входят владельцы инвестиционных паев или назначенные ими физические лица. В соответствии с пунктом 6.1 статьи 17.1 ФЗ и Постановлению Правительства РФ от 18.04.2013 № 357 «О внесении изменений в Типовые правила доверительного управления закрытым паевым инвестиционным фондом» [2] (п. 13, в отношении главы III «Инвестиционный комитет (п. 38. 2)) в Инвестиционный комитет не могут входить Управляющая компания (в том числе, когда она является владельцем инвестиционных

паев фонда), её должностные лица и работники, а также назначенные ею лица. Следует отметить, что данное требование является императивным и применяется независимо от содержания правил доверительного управления фондом.

По мнению ЦБ РФ, ФЗ не предусматривает возможности отнесения к компетенции Инвестиционного комитета фонда 1 (ЗПИФ (1)) функций, связанных с голосованием на общем собрании владельцев инвестиционных паев другого фонда 2 (ЗПИФ (2)), инвестиционные паи которого составляют имущество ЗПИФ (1), а также с одобрением решений, принимаемых на инвестиционном комитете ЗПИФ (2).

Согласно пункту 3 статьи 11 ФЗ все права, удостоверенные ценными бумагами, составляющими фонд, в том числе инвестиционными паями, осуществляет управляющая компания данного фонда. Таким образом, ЦБ РФ считает, что ФЗ не предусматривает возможность управляющей компании фонда (фонд 1), в состав которого включены инвестиционные паи другого фонда (фонд 2), делегировать право участия в инвестиционном комитете фонда 2 владельцам инвестиционных паев фонда 1.

Учитывая выше изложенное, в случае если два фонда находятся в доверительном управлении одной управляющей компании и при этом:

- а) имущество фонда 1 составляет 100 % инвестиционных паев фонда 2 – инвестиционный комитет фонда 2 не может быть сформирован;
- б) в имущество фонда 1 входит часть инвестиционных паев фонда 2 – инвестиционный комитет фонда 2 может быть сформирован, но в его состав не включаются управляющая компания, ее должностные лица и работники или назначенные ею лица (в том числе владельцы инвестиционных паев фонда 1).

Однако, существует юридически безупречная схема владения, которая разрушает данный порочный круг. Описанные выше ограничения корпоративного владения не затрагивают возможности полноценного корпоративного управления хозяйственными обществами (например, обществами с ограниченной ответственностью). Таким образом, простым добавлением в ранее описанную схему вложенных ЗПИФов хозяйственного общества получаем недостающий элемент, посредством которого:

- Инвестиционный комитет первого ЗПИФ принимает решения (поручения) обязательные для исполнения исполнительным органом (генеральным директором) хозяйственного общества,

- Инвестиционный комитет второго ЗПИФ включает в себя представителя исполнительного органа хозяйственного общества, который при принятии решений руководствуется, полученными указаниями Инвестиционного комитета первого ЗПИФ.

Очевидно, что помимо устранения указанного юридического препятствия корпоративного управления, такой маневр еще более затрудняет возможность получить достоверную информацию об истинных собственниках имущества, т. к. при регистрации данного хозяйственного общества в ЕГРН в качестве собственника вносятся сведения об Управляющей компании со ссылкой на трастовый характер ее действий.

Принципиальная схема: вложенные ЗПИФ



Рисунок. Принципиальная схема корпоративного управления вложенными ЗПИФами

К сожалению, у данной схемы имеется один минус. Такое ООО «Корпоративное управление» не может применять упрощенные режимы налогообложения. Минфин РФ в своем письме от 05.05.2017 № 03-11-11/27559 пояснил, может ли применять УСН организация, участником которой является управляющая компания ПИФа. Ведомство отмечает, что по нормам статьи 11 НК РФ российскими организациями признаются юридические лица, образованные в соответствии с законодательством РФ. В то же время ФЗ определено, что паевой инвестиционный фонд (ПИФ) – это обособленный имущественный комплекс, состоящий из имущества, переданного в доверительное управление управляющей компании учредителем. ПИФы не являются юридическими лицами. Следовательно, для целей применения законодательства о налогах и сборах данный фонд не признается организацией.

При этом доверительное управление ПИФом осуществляет управляющая компания, которая вправе от своего имени и в качестве доверительного управляющего выступить в качестве участника общества с ограниченной ответственностью.

В случае если доля в ООО управляющей компании ПИФа будет составлять более 25 %, то упрощенная система налогообложения таким обществом применяться не может.

При этом однозначного ответа на вопрос кто является бенефициарным владельцем компании, единственным участником которой является ЗПИФ законодательство не содержит. ФЗ указывает на возможность раскрытия информации о ЗПИФ, если это предусмотрено законом. ЗПИФ вправе не раскрывать информацию о пайщиках. ООО обязано принять меры по установлению бенефициарных владельцев учредителя, в частности направить запрос учредителю, а также принять иные рекомендуемые меры. Если меры по установлению бенефициарных владельцев не дали результата, то банкам дана возможность признать бенефициарным владельцем единоличный исполнительный орган организации-клиента. Поскольку понятие бенефициарного владельца включает физическое лицо, которое имеет возможность контролировать действия организации, то генеральный директор управляющей компании может быть признан таким бенефициарным владельцем, что в полной мере решает задачу по обеспечению инкогнитости реальных владельцев активов.

Список используемых источников

1. Федеральный закон от 29.11.2001 (в редакции от 20.07.2020) «Об инвестиционных фондах».
2. Постановление Правительства РФ от 18.04.2013 № 357 «О внесении изменений в Типовые правила доверительного управления закрытым паевым инвестиционным фондом».

УДК 654.01
ГРНТИ 49.01.75

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ И УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ ОРГАНИЗАЦИИ

В. В. Макаров, Т. Н. Старкова

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

Обновление нормативно-правовой документации, действующей на стыке образовательной системы и реальной экономики, происходит в настоящее время ускоренными темпами. Новые поколения образовательных стандартов, компетенций и профессиональных стандартов, призванные сделать выпускников вузов максимально адаптированными к вызовам современного рынка труда, не дают ожидаемого эффекта. С точки зрения менеджмента знаний, это обстоятельство вызвано несколькими причинами.

Наиболее важными можно считать следующие: отсутствие перечня нормативно-правовых документов из раздела необходимые знания; описания бизнес-процессов, характерных для данного профессионального стандарта и видео фиксации выполнения трудовых действий. Таким образом, представляется наиболее перспективным направлением повышения компетентности и уверенности в собственных силах у выпускников дополнение профессиональных стандартов набором приложений, которые будут разрабатываться вузами и являться их интеллектуальной собственностью.

профессиональный стандарт, описание бизнес-процесса, визуализация трудовых действий, менеджмент знаний.

В концепции бережливого производства метод визуализации применяется в организации с целью представления информации в наглядной форме и доведение её до сведения персонала в режиме реального времени [1]. Информация может быть использована сотрудником для анализа текущего состояния производства и отдельных процессов, принятия обоснованных и объективных решений. Список видов представления информации существенно расширился за последние годы. Это уже не только: рисунок, фотография, график, диаграмма, схема, таблица, карта, но и видео, аудио запись, дополненная и виртуальная реальность.

Рассмотрим пример одной функции профессионального стандарта (ПС) «Специалист по контролю качества информационно-коммуникационных систем и сервисов» [2]. Элемент процесса – управление качеством в организации согласно классификации содержит следующие функциональные характеристики:

- процессы формирования политик управления качеством и создания модели организации для целей управления качеством;
- процессы поддержки всех операционных процессов и процессов жизненного цикла, которые участвуют в построении модели и в управлении ею;
- процессы создания руководств и шаблонов управления качеством для различных областей деятельности организации [3].

Функция ПС «Организация мониторинга и контроля функционирования инфокоммуникационных систем и сервисов» относится к процессам поддержки операционных процессов, при этом трудовое действие «Составлять отчёт о проделанной работе» является обязательным для всех обобщённых трудовых функций. Таким образом, это трудовое действие, при выполнении которого были использованы данные, которые находятся в широком доступе, было визуализировано посредством набора фрагментов карт с отображением состояния характеристик качества для нескольких операторов, действующих на рынке мобильных услуг связи, как представлено на рис. 1.

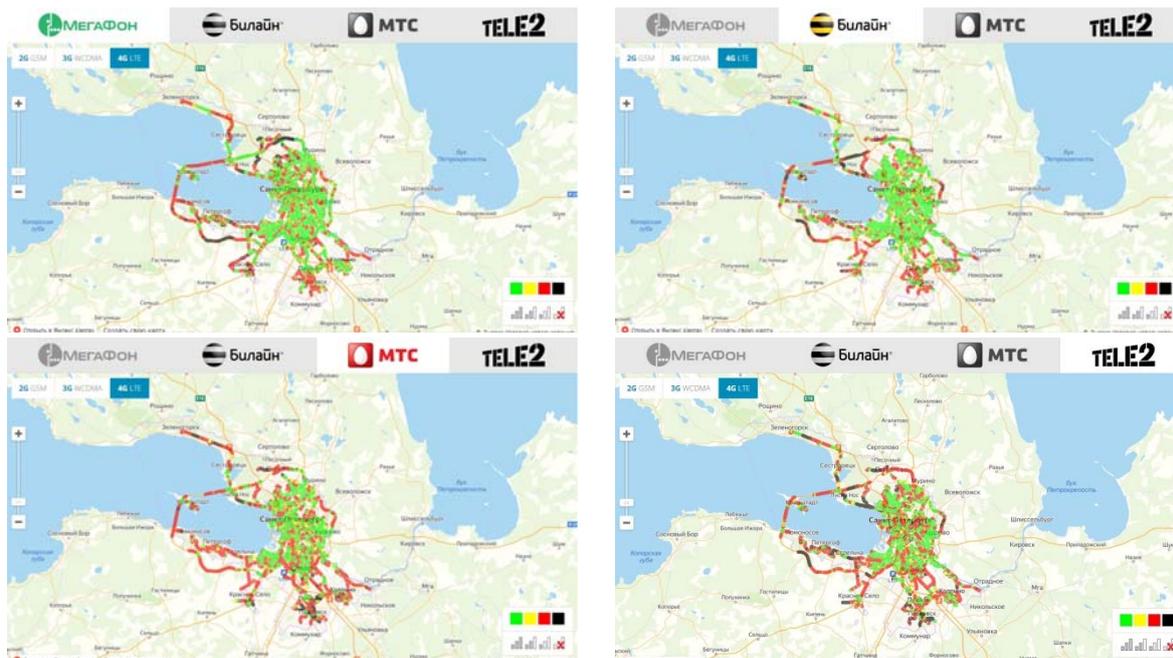


Рис. 1. Качество связи в г. Санкт-Петербурге по состоянию на 07.06.2021 (4G LTE).

Конечно, целесообразно иметь видео сюжет получения данных оценок, то есть, начиная с запроса на сайте качествосвязи.рф, и, заканчивая, собственно, технологией создания отчёта. При этом экспериментально для студентов были распределены по вариантам различные трудовые действия из профессионального стандарта «Специалист по контролю качества информационно-коммуникационных систем и сервисов», и эти задания практически всех поставили в тупик. Ко времени выдачи данного задания студенты выполнили успешно контрольные работы, в которых рассматривались аналогичные трудовые действия. Главной причиной можно считать тот факт, что профессиональный стандарт имеет привязку к инфокоммуникационным системам, которые большинство студентов видели только на выставках или в Центральном музее связи имени А. С. Попова. Конечно, прохождение производственной практики на предприятиях связи было бы очень ценным с точки зрения получения навыков работы, с другой стороны, пока у студентов не будет профессионального стандарта, содержащего ряд приложений, обеспечивающих системный подход к выполнению трудовых действий, они будут проигрывать менее квалифицированным, но более опытным работникам.

Таким образом, уровень разработки ПС (по аналогии с интеллектуальным капиталом [4]) можно представить, как функцию постоянного приращения знаний и навыков относительно некоторой детально разработанной композиции бизнес-процессов, сценариев работы, трудовых действий и необходимых знаний. ПС, имеющий достаточный уровень визуализации, который можно представить в следующем виде:

$$ПС = ПС_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (b_n \cdot K_n^j);$$

где $ПС_0$ – стадия описания знаний и навыков, соответствующая уровню выпускника вуза, которая может служить тренажёром при приёме сотрудника на некоторую должность;

b_n – индекс освоения определённого вида знания и трудовых навыков в процессе производственной деятельности и повышения квалификации;

K_n^j – величина определённого n вида знания (значений величин, идей, методов решения проблем, информационных технологий, коммуникаций, нормативной документации и т. д.) для j – уровня развития отрасли и общества в целом.

Следовательно, для того, чтобы выпускники вузов были востребованными на рынке труда, задачей вуза является детальная интерпретация необходимых знаний и визуализация трудовых навыков хотя бы самого нижнего уровня квалификации. Таким образом, все выпускники должны иметь:

- описание соответствующих бизнес-процессов;
- перечень документов из раздела необходимые знания;
- набор сценариев обобщённых функций и видео сюжетов, в которых они выполняли определённые трудовые действия.

С точки зрения менеджмента знаний в организации, накопление знаний должно быть синхронизировано с совершенствованием трудовых функций.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 56907-2016. Бережливое производство. Визуализация.
2. Профессиональный стандарт «Специалист по контролю качества информационно-коммуникационных систем и сервисов» утверждён министерством труда и социальной защиты РФ приказом от 29 сентября 2020 № 676н.
3. ГОСТ Р 53633.11-2015 Информационные технологии (ИТ). Сеть управления электросвязью. Расширенная схема деятельности организации связи (еТОМ). Декомпозиция и описания процессов. Процессы уровня 2 еТОМ. Управление организацией. Управление эффективностью организации (дата обращения 29.03.22).
4. Макаров В. В., Семенова М. В., Ястребов А. С. Интеллектуальный капитал. Материализация интеллектуальных ресурсов в глобальной экономике / под ред. В. В. Макарова. СПб.: Политехника, 2012. 688 с.: ил. ISBN 978-5-7325-0965-6.

УДК 654.01
ГРНТИ 49.01.75

ЦИФРОВАЯ ГРАМОТНОСТЬ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СФЕРЫ УСЛУГ

В. В. Макаров, М. Ю. Фёдорова

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

Развитие сети Интернет дает возможность субъектам сферы услуг предоставлять и потреблять услуги дистанционно. Данное изменение природы оказания услуг требует и от субъекта, создающего услугу, и от субъекта услугу потребляющего новых навыков и компетенций – цифровых. В статье рассмотрены и обобщены понятия «цифровой грамотности», «цифровых навыков» и «цифровой компетенции» населения. Функционирование выбранной в качестве базовой эндогенной модели развития сферы услуг обеспечивается участием субъектов системы в данном развитии. На основании предыдущих исследований авторами сформулированы общие цифровые навыки, необходимые для развития сферы услуг в сельских поселениях. Авторами также предложен более детальный перечень навыков, необходимых для участия субъекта в предоставлении и потреблении дистанционных услуг.

цифровая грамотность, цифровые навыки, цифровые компетенции, сфера услуг, сельские поселения.

Согласно М. Кастельсу «источник производительности и роста находится в знании, распространяемом на все области экономической деятельности через обработку информации» [1, с. 201]. Таким образом взаимодействие с информацией, умение ее принимать в разных видах, обрабатывать и передавать участнику взаимодействия, учитывая цифровую природу этой информации, – навык, компетенция, которая выходит на первый план в настоящее время в развитых услугах, как их определяет М. Кастельс. На наш взгляд, это применимо к сфере услуг.

Цифровая трансформация бизнес-процессов оказывает влияние на природу потребления и оказания услуг [2, 3]. Так как процесс создания услуги, ее предоставления и потребления становится возможным с применением инфокоммуникаций, физическое взаимодействие потребителя и поставщика услуги перестает быть необходимостью. С одной стороны, это расширяет возможную географию поставщиков и потребителей услуг, с другой – повышаются требования к цифровой грамотности участников данного процесса. Становится необходимым не только уметь создавать и предоставлять

услуги дистанционно, но и потреблять их с применением инфокоммуникаций. Дополнительным, но важным также становится умение защитить себя в данном процессе.

Специфичной чертой сферы услуг в сельских поселениях можно назвать двойственный характер ее развития, который заключается, во-первых, в недостатке услуг внутри социально-экономической системы сельской местности. Этот недостаток может быть восполнен услугами, оказываемыми дистанционно.

Во-вторых, в сельских поселениях имеет место недостаток рабочих мест, что сказывается на общем уровне доходов населения и платежеспособности спроса внутреннего рынка услуг. По нашему мнению, частично недостаток рабочих мест может быть восполнен выходом субъекта социально-экономической системы на рынок оказания услуг с применением инфокоммуникаций, что обеспечивает оказание ряда услуг в дистанционном формате [4]. Но это выдвигает повышенные требования к компетенциям потенциальных участников данного процесса. Общая модель предоставления и потребления услуг в сельской местности дистанционно с применением инфокоммуникаций представлена на рис. 1.

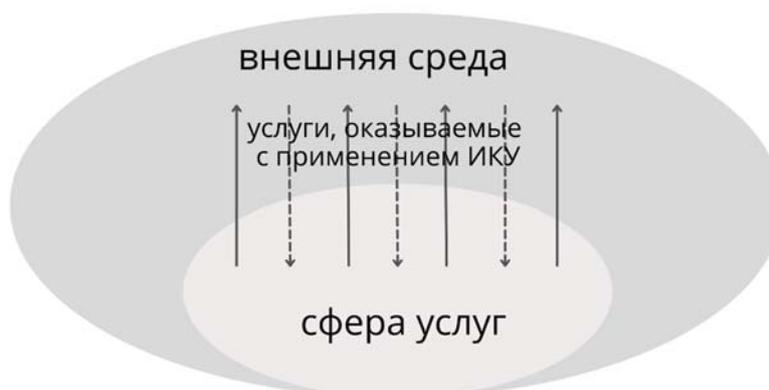


Рис. 1. Цифровые компетенции, необходимые индивиду для взаимодействия в цифровом пространстве с целью потребления и оказания услуг

На наш взгляд, процесс оказания услуг с применением инфокоммуникаций предполагает решение следующих задач:

- изучение предпочтений потребителя услуги;
- проектирование и создания услуги;
- поиск информации о возможности реализации услуги;
- продвижение услуги;
- оказание услуги;
- получение финансового вознаграждения в результате оказания услуги.

Каждый из перечисленных процессов предполагает навык владения рядом инфокоммуникационных услуг в зависимости от поставленных перед

субъектом задачи. Другими словами, это выдвигает требования к цифровой грамотности субъекта.

Первым сформулирован определение «цифровой грамотности» Пол Гилстер, который определяет этот феномен как *«способность понимать и использовать информацию в разных форматах из самых разных источников, когда она представлена через компьютеры»* [5].

Впоследствии учеными были предприняты попытки более детально раскрыть понятие «цифровой грамотности» и дать ему более развернутые определения. В них мы уже встречаем упоминания о *«базовом наборе навыков и знаний, установок»*, *«способностях»*, возможности *«критической оценки»* для решения *«повседневных задач в цифровой среде»* [6, 7]. В 2017 г. на Саммите G20 группой экспертов был предложен подход к оценке цифровой грамотности на основе системы из 5ти индикаторов: информационная грамотность, коммуникативная грамотность, создание цифрового контента, цифровая безопасность и навыки решения проблем в цифровой среде. Таким образом, понятие «цифровая грамотность» уже раскрывается через совокупность компетенций [8].

Согласно осуществленному исследованию понятия «цифровой грамотности» применительно к сфере услуг в общем виде мы определяем его как способность осуществлять коммуникацию в цифровом пространстве с целью получения и предоставления услуг дистанционно.

С учетом исследования понятия цифровой грамотности и его детализации нами была предпринята попытка очертить специфику набора знаний и компетенций, необходимых для развития сферы услуг в сельской местности. В общем виде совокупность компетенций (рис. 2) включает информационную грамотность, компьютерную грамотность, интернет-грамотность, медиаграмотность, грамотность в области киберзащиты, социально-сетевую грамотность.



Рис. 2. Цифровые компетенции, необходимые индивиду для взаимодействия в цифровом пространстве с целью потребления и оказания услуг

Информационная грамотность предполагает умение распознавать информационные потребности, находить и хранить нужную информацию [9, 10].

Компьютерная грамотность означает умение работать с компьютером и различными пакетами компьютерных приложений [11, 12].

Интернет-грамотность подразумевает владение знаниями и навыками по поиску и обработке сетевой информации для решения ежедневных нужд, а также созданию добавленной стоимости информации [12].

Медиаграмотность – это способность к восприятию, анализу, оценке и созданию медиатекстов [13, 14].

Важным компонентом выступает социально-сетевая грамотность, которая предполагает наличие у субъекта совокупности компетенций и навыков, необходимых для взаимодействия в сообществах цифрового пространства [15].

Грамотность в области киберзащищенности, характеризует внешние возможности объекта предотвращать образование ущерба от кибератак или ограничивать его величину допустимыми нормами [16].

Важным вопросом, требующим рефлексии, остается выбор точки отсчета, с которой субъекту социально-экономической системы целесообразно начинать овладевать теми или иными навыками и компетенциями. Очевидно, что предпосылкой к цифровой грамотности сегодня служит наличие навыка получать и овладевать необходимыми знаниями, которые следует приобретать в рамках общего образования. Не менее важный навык, следующий за ним и не требующий предварительного овладения компьютерной грамотностью, - информационная грамотность, которая также требует более глубинного ознакомления с предметом и может быть интегрирована в процесс овладения знаниями и информацией в рамках общего образовательного процесса.

Список используемых источников

1. Кастельс М., Информационная эпоха: экономика, общество и культура. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.
2. Блатова Т. А., Макаров В. В., Шувал-Сергеева Н. С. Количественные и качественные аспекты измерения цифровой экономики // Радиопромышленность. 2019. № 4. С. 63–72.
3. Макаров В. В., Старкова Т. Н., Устриков Н. К. Цифровая экономика: эволюция, состояние и резервы развития // Журнал правовых и экономических исследований. 2019. № 4. С. 222–229.
4. Макаров В. В., Фёдорова М. Ю. Предпосылки развития сферы услуг в сельской местности в условиях цифровой экономики // Экономические науки. 2020. № 192. С. 138–143.
5. Gilster, P. Digital literacy. New York; Chichester: John Wiley, 1997.

6. Шарков Ф. И., Назарова Е. А., Жуков А. В., Цифровая грамотность населения и сетевые коммуникации: социологическое измерение // Коммуникология. 2020. № 3 (8). С. 52–62.
7. Ala-Mutka K., Punie Y., Redecker C., Digital Competence for Lifelong Learning. Policy Brief. JRC48708, European Commission. 2008
8. Цифровая грамотность россиян: исследование 2020 // НАФИ. Аналитический центр. URL: <https://nafi.ru/analytics/tsifrovaya-gramotnost-rossiyan-issledovanie-2020/>. (дата обращения: 06.02.2022)
9. Catts, R., Lau, J., Towards Information Literacy Indicators. Paris: UNESCO, 2008.
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102762>
11. Hunter, B. My students use computers: learning activities for computer literacy. Reston: Reston Publishing, 1983.
12. Bawden, D., Information and digital literacies: a review of concepts // Journal of Documentation. 2001. № 2 (57). pp. 218–259.
13. UK Office of Communications. URL: <https://stakeholders.ofcom.org.uk/market-data-research/media-literacy/about/whatis>.
14. Фёдоров А. В., Медиаобразование и медиаграмотность. Таганрог: Изд-во Кучма, 2004. 340 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/278512949_Mediaobrazovanie_i_mediagramotnost (дата обращения: 15.02.2022)
15. Глухов А. П. Цифровая грамотность поколения z: социально-сетевой ракурс // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2019. № 52. С. 126–137.
16. Алпеев А. С. Терминология безопасности: кибербезопасность, информационная безопасность // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 4 (38). С. 39–42.

УДК 330.1+330.34
ГРНТИ 06.52.13

ЗАВИСИТ ЛИ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКОНОМИКИ ОТ ФОРМЫ СОБСТВЕННОСТИ НА СРЕДСТВА ПРОИЗВОДСТВА?

Г. Н. Сапожников

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Массовый переход от частной формы собственности на средства производства к государственной и обратно происходит только при смене господствующей идеологии, что обычно является результатом политического переворота. Авторы таких перемен утверждают, что смена формы собственности производится для обеспечения роста благосостояния народа и эффективности экономики в целом. Однако, следование идеологическим стереотипам, как правило, не приводит к общему повышению уровня жизни,

поэтому организация экономики, основанная на идеологических предпочтениях, не может быть окончательной. Опыт широкого практического применения разных форм собственности показывает, что эффективность, независимо от формы собственности, можно обеспечить только за счет «разумного управления» экономикой.

частная собственность, государственная собственность, рыночная экономика, плановая экономика, прибавочный продукт, политическая экономия, идеология, диалектика, личный интерес, общественный интерес, разумное управление.

Экономическая деятельность оказывает решающее влияние на все стороны функционирования человеческого общества. Поэтому политическая власть, чтобы обеспечить влияние на все области жизни и деятельности людей в собственных интересах, принимает самое непосредственное участие в управлении экономикой. При этом она выбирает организацию экономических отношений, исходя из своей идеологической ориентации: рыночную, основанную на частной собственности на средства производства, или плановую, базирующуюся на государственной собственности; широко используется сочетание этих форм организации экономики.

Создание и использование политическим руководством нашей страны в прошлом веке плановой экономики на базе государственной собственности на средства производства было обосновано идеологически. То, что этот выбор оказался успешным, подтверждает победа в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. над высокоразвитой техникой и экономически Германией, фактически объединившей всю Европу, кроме Великобритании. Особенно впечатляюще выглядят успехи нашей страны в экономике при послевоенном всестороннем развитии, включая быстрое восстановление ее экономического и оборонного потенциала [1]. Развитие было всесторонним. В перечень достижений можно включить создание ядерного оружия. Сейчас особенно впечатляет тогдашнее опережающее по сравнению с США развитие электронной промышленности, при том, что сейчас в этой области, по крайней мере, в массовом производстве, мы безнадежно отстали. Высокими темпами развивалось и сельское хозяйство, например, карточки на продукты питания мы отменили в 1947 году, почти на пять лет раньше, чем гораздо менее пострадавшая в войну Великобритания. Однако, к концу века эффективность нашей экономики оказалась ниже, чем в ведущих странах с рыночной экономикой, в результате существующие обоснования преимуществ государственной плановой экономики посчитали не убедительными и причинами отставания признали принятую форму организации экономики на основе государственной собственности. Основным аргументом в пользу этого стало мнение, что государственная экономика, при отсутствии личного интереса частных собственников, не может быть эффективна. При этом был проигнорирован тот факт, что в общественной собственности объективно заинтересована основная масса населения, поскольку здесь заложен

личный интерес абсолютного большинства граждан, а не узкого круга частных собственников. То, что идея превосходства государственной экономики не получила признания большинства, говорит только о том, что ее сторонники, в отличие от противников, не нашли достаточно весомых аргументов в доказательство своей правоты, не смогли эффективно противостоять пропаганде «рыночников». Ведь со всех сторон мы окружены западными пропагандистскими центрами, которые при вещании на нашу страну все недостатки практической реализации советской плановой системы интерпретировали как доказательство порочности самой идеи государственной плановой организации экономической деятельности.

Рыночная форма организации экономики сейчас применяется в абсолютном большинстве стран. Даже в странах со значительной долей государственной собственности, таких как КНР и КНДР, экономика имеет многие свойства рыночных отношений. Это происходит видимо потому, что прибыль для частного собственника видна уже в процессе ее возникновения, в то время как преимущества государственной собственности участники производственного процесса непосредственно не ощущают, а показать это через общественные фонды потребления получается не достаточно очевидно.

Экономическое обоснование возникновения прибыли при капиталистическом способе товарного производства более 150 лет назад сформулировал К. Маркс [2]: «прибавочный продукт создаётся исключительно в сфере производства, а не в сфере обращения, в которой он лишь наглядно себя проявляет. Прибавочный продукт существует при любом производстве и служит источником налогов и накопления. Но лишь при капитализме он получает своё окончательное развитие в виде прибавочной стоимости, которая проявляется в форме прибыли, становясь самостоятельной целью производства». Таким образом, обоснованные источники прибыли есть только в товарном производстве.

Недостатки использования рыночной экономики в ряде видов деятельности, где государственная плановая показывает явные преимущества, хорошо проиллюстрировал энергетический кризис в Европе, когда государства в соответствии со своей идеологической приверженностью рынку, пытались отказаться от долгосрочных договоров на поставку газа по фиксированным ценам в пользу рыночного установления цены. В результате рост цен на газ не на проценты, а в «разы», продемонстрировал отрицательные качества рыночного ценообразования. Эти принципиальные недостатки рыночной экономики отметил президент РФ В.В. Путин. Выступая 21 октября 2021 года на международном форуме «Валдай», он сказал, что «существующая модель капитализма в подавляющем большинстве стран – исчерпала себя» [3]. Трагические события января 2022 года в Казахстане показали, что

в число стран, где существующая «модель капитализма исчерпала себя», следует включить и эту страну.

Массовый переход в нашей стране к частной собственности на средства производства в девятые годы прошлого века активизировал противоречия, свойственные влиянию частной собственности на получение прибыли от экономической деятельности. Частная собственность стимулирует рост размеров доходов экономики, но рост происходит в основном у собственников, а не у всего населения. Увеличение размера прибыли собственников усугубляет материальное неравенство в ущерб общим интересам. Кроме того, рыночная экономика в небывалых размерах спровоцировала мошенничество в разных сферах жизни и деятельности. При решении вопросов управления экономикой надо учитывать последствия этих негативных явлений и создавать систему противодействия им.

Какие существуют основания для выбора формы собственности, как основы организации экономики, кроме политического переворота. Их, как известно – два: литературные источники и анализ опыта. Мировая экономическая литература рассматривала эти вопросы задолго до К. Маркса, и даже до А. Смита, и, конечно, в последние 150 лет после Маркса. Но эти источники довольно противоречивы, выводы не достаточно доказательны. Противоречия проявляются не только в понимании вопроса, а даже в разном толковании перевода «Капитала» Маркса. Например, у нас со времен Ленина принята версия, что «стоимость товара» по Марксу состоит из необходимой и прибавочной частей. Но некоторые переводчики понимали это слово не как «стоимость», а как «ценность»; во-первых, потому что стоимость может и не иметь денежного содержания, а во-вторых – якобы не правильно перевели это немецкое слово «Wert». Особую роль в толковании теории стоимости играл созданный в 1956 году Институт мировой экономики и международных отношений (ИМЭМО), который смог, оставаясь в рамках марксизма, внести вклад в пересмотр наиболее противоречащих фактам идеологических догм и анахроничных представлений в области политической экономии капитализма [4].

Таким образом, анализ литературных источников вряд ли поможет достаточно обоснованно определиться с выбором формы собственности, особенно в тех видах экономической деятельности, где нет общепризнанных источников прибыли.

Иначе обосновать форму собственности, частную или государственную, можно на основе анализа имеющегося опыта, с привлечением диалектики Гегеля. Развитие в формальной логике реализуется только в двух вариантах, либо А, либо Б; в нашем случае, это – или государственная плановая экономика, или свободная рыночная. Но в диалектике Гегеля, в отличие от формальной логики, варианты А и Б не исключают друг друга, а сосуще-

ствуют, как противоположности, и порождают свое сочетание. Самое элементарное содержание диалектики Гегеля заключается в триаде: «тезис – антитезис – синтез» [5]. Причем исключение одного из вариантов, или А, или Б, чего требует формальная логика, неприемлемо в диалектике, так как при этом система не может завершить триаду. Таким образом, исходя из диалектики Гегеля, решения только в рамках формальной логики не существует, потому что при отсутствии одного из вариантов, тезиса или антитезиса, триада не может завершиться синтезом. Т. е. собственность может быть как частная, так и государственная, оба варианта допустимы. Причем, эффективность выбранного варианта будет зависеть не только от конкретных объективных обстоятельств, но и субъективных качеств руководителей. Вот как говорит об этом один из авторитетнейших защитников капитализма, Дж. М. Кейнс [6]: «капитализм является весьма неблагоприятным строем, но, если им разумно управлять, он может достичь большей эффективности в достижении экономических целей, чем любая из существовавших до сих пор альтернативных систем». То есть автор не говорит об абсолютных преимуществах капитализма, а его преимущества, по мнению Кейнса, проявляются только при «разумном управлении».

Несколько иначе характеризует ситуацию выдающийся японский предприниматель, миллиардер Хероси Теравама (по другой интерпретации Хироси Терамачи) [7]: «Вся наша экономическая система скопирована с вашей (имеется в виду опыт СССР, начиная с конца тридцатых годов прошлого века), с той только разницей, что у нас капитализм, частные производители, и мы более 15 % роста никогда не достигали, а вы – при общественной собственности – достигали 30 % и более. Во всех наших фирмах висят ваши лозунги сталинской поры». Здесь речь идет об эффективном материальном стимулировании. Только стимулирование при государственной собственности в СССР обеспечивало повышение материальных возможностей трудящихся, а не рост потенциала частных предпринимателей для дальнейшего наращивания их собственности. Причем японцы говорят о «разумном управлении» именно при Сталине, а после него от всех сталинских стимулов мы постепенно отказались, темпы развития упали, экономика наша перестала быть для них образцом для подражания. То есть «разумное управление» экономикой зависит от компетенции руководителей, а не от формы собственности.

Выбор формы собственности в настоящее время решается политическим руководством государств: при капитализме, как правило, выбирается частная собственность на средства производства и рыночная организация экономики, при социализме – соответственно, государственная собственность и плановая организация экономики. В массовом порядке смена формы собственности происходит чаще всего как результат кардинальной смены идеологической основы политической власти вследствие государственного

переворота. При этом, в процессе такого переворота не учитывается множество влияющих факторов как экономического, так и социального характера, кажущихся не значительными по сравнению с масштабом самого переворота, но которые, как, впоследствии, оказывается, вызывают разной напряженности протесты населения и снижают темпы роста экономики. Поэтому выбор формы организации экономики, основанный на идеологических предпочтениях, которые были базой переворота, не может быть окончательным, тем более, что такой подход противоречит диалектике Гегеля, следуя которой, выбирать надо не одну из противоположностей, как в формальной логике, а их сочетание. Принятую организацию экономики нужно постоянно анализировать на экономическую эффективность и социальную обоснованность и, по мере необходимости, корректировать.

Список используемых источников

1. Как СССР восстановился после войны. URL: <https://matveychev-oleg.livejournal.com/7919110.html>.
2. Маркс К. Капитал. Т. 1. М. Политиздат, 1978. 907 с.
3. Путин В. В. Выступление на международном дискуссионном форуме в клубе «Валдай». 21.10.2021 г. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/66975>.
4. Марксистская политическая экономия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марксистская_политическая_экономика#.
5. Диалектика Гегеля кратко и понятно, с примерами. URL: <https://zen.yandex.ru/media/edstar/dialektika-gegelia-kratko-i-poniatno-s-primerami->
6. Кейнс Д. М. Избранные произведения. М.: Экономика, 1993. 643 с.
7. Разработанный в 1939 году в СССР Метод повышения эффективности экономики. URL: <https://marafonec.livejournal.com/2078431.html>.

УДК 008.2
ГРНТИ 02.01.29

ИНФОРМАЦИЯ КАК КАПИТАЛ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНУЮ ЭПОХУ

Н. И. Сухих

Уральский технический институт связи и информатики (филиал)
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

В статье показано значение термина «информация» для изучения процессов в социально-технических системах материале работ Э. Тоффлера. Исследуется возможность применения трактовки информации как проявлений разнообразия для осмысления трансформации капитала на всем протяжении эволюции общества. Обосновывается

значение такой трактовки для понимания современного состояния экономических процессов.

информация, проявления разнообразия, Гоффлер, капитал.

Употребление термина «информация» имеет давнюю традицию. Латинское слово «informatio» имело два основных значения: первое было связано с ознакомлением или разъяснением, второе – приданием чему-либо формы или свойства.

В XIV в. под информацией понимали акт божественного творения, «вложения» Богом в тело человека духовной составляющей. Однако примерно в этот же исторический период информацией стали называть процесс передачи знаний с помощью книг. Со временем «тварное» значение отошло на второй план, а чуть позднее было окончательно вытеснено другим: информация теперь не сводилась к «вложению божьей искры» в человеческое тело, но представлялась как сообщение о каком-либо событии, «сюжет» той или иной истории [3].

Наиболее широкое распространение термин «информация» получил в первой половине XX века, когда вышел ряд работ, заложивших фундамент кибернетики и общей теории систем. Так, основоположник кибернетики Н. Винер сформулировал свое знаменитое определение информации: «информация есть информация, а не материя и не энергия» [1, с.201]. Это утверждение признается многими исследованиями, но по замечанию Д. С. Чернавского, представляющемуся нам справедливым, «отрицание не может претендовать на роль определения» [8, с.135]. Позитивных определений информации существует большое количество.

Мы будем исходить из атрибутивной концепции информации, согласно которой информация есть проявление разнообразия. Такая точка зрения на информацию получила развитие в кибернетике (У. Р. Эшби [10], В. М. Глушков [2]) и ряде философских направлений (И. Земан, В. С. Тьютин [6], А. Д. Урсул [7]). Так, У. Р. Эшби представлял информацию в качестве «передаваемого разнообразия». Для Эшби «передаваемая информация не является внутренним свойством индивидуального сообщения» [10, с. 177], а «когда разнообразие измеряется в логарифмической форме, единицей ее является «бит» [10, с. 179]

Дефиниция разнообразия включала в себя множество различных элементов, связей и свойств исследуемых объектов. У. Р. Эшби, Я. К. Ребане, А. Д. Урсулом и рядом других исследователей вполне допускалась атрибутивность информации, т. е. одно из ее свойств – возможность являться важной составляющей каких-либо объектов, явлений или процессов. Однако атрибутивность здесь ограничивалась либо «отражением» (понимаемым в духе диалектического материализма) в сознании, либо в качестве свойства какого-либо материального носителя. С позиции А. Д. Урсула, информация –

это образ, возникающий в сознании, являющийся лишь частью отражения. Образ как более общее понятие связан с материальным носителем, а информация «теряет» многие важные энергетические и пространственные характеристики объекта. Ю. И. Шамакин разделяет понятия «информация» и «знание». При этом знание для него – это потенциальная форма информации, заключенная в предмете, а информация – актуализированное знание [10, с. 26–27].

Не противоречит атрибутивистской концепции информации и трактовка этого понятия Э. Тоффлером. Он понимает под информацией разнообразные сведения, воспринимаемые человеком через органы чувств или получаемые по иным каналам связи (беседы с другими людьми, чтение, знакомство с материалами СМИ и т. д.). Большее значение для Э. Тоффлера имеет то, как информация кодирована. Если человек получает сведения от органов чувств (шум листвы на ветру, запах готовящейся пищи и т. п.), то это не кодированные сведения. Если человек участвует в беседе, и получает какие-либо сведения от собеседника, то это уже кодированная информация, «упакованная» в самодельные сообщения. Но сообщение – это не спроектировано, в отличие от тех, что транслируются при помощи средств массовой информации. «Индустриальная революция, способствуя небывалому развитию средств массовой информации, вносит коренные изменения в природу информации, получаемой обычным человеком. В дополнение к некодированным сообщениям, получаемым из окружающей среды, и кодированным, но «самодельным» сообщениям от окружающих, индивидуум получает всевозрастающее количество кодированных и предварительно спроектированных сообщений» [5, с.188].

Уже в индустриальном обществе человек находится под всевозрастающим потоком спроектированных кодированных сообщений, формирующих реальность символов. В постиндустриальную эпоху эта тенденция усиливается многократно: в музыке увеличивается количество акустической информации, передаваемой за единицу времени, возрастает темп появления новых и исчезновения действующих слов в языке, значительно растет число научных работ и т.д. Информация посредством кодирования сообщений конструирует символы, которые формируют постиндустриальную реальность: реальность «сверхсимволической» экономики.

В эпоху аграрного общества основным капиталом (в данном случае под капиталом мы имеем в виду богатство, вложенное в рост производства) была земля, а владевший ей феодал досконально знал, чем он владеет, объезжая сам (или через представителей), принадлежащие ему территории. Земля тогда являлась финитной, то есть никто, кроме собственника не мог использовать ее в то же самое время. Когда в индустриальную эпоху основной формой капиталовложения становятся промышленные предприятия, они по-

прежнему принадлежат и используются одновременно только собственником и существуют в материальной форме. Однако инвестор капитала уже не посещает эти предприятия, он получает богатство не в материальной форме – он получает ценные бумаги, несущие символическую нагрузку.

Капитал постиндустриальной эпохи имеет, по Тоффлеру, символическую природу: привлекательность ценных бумаг высокотехнологичных компаний ни в посевных или производственных площадях, ни в сельскохозяйственном или промышленном оборудовании, а в их способности продавать свою продукцию и качественно вести маркетинговые компании, осуществлять научно технические разработки и эффективное управление. Иными словами, «символическая доля в товаре означает, как это ни удивительно, ничего более, чем другие символы» [4, с.87].

«Оторванными» от материального посетителя становятся и деньги. Конечно, нельзя говорить о полном отказе от монет и банкнот, но капитал теперь основывается на деньгах, имеющих символическую, информационную, природу. Такие деньги ставят под угрозу существование традиционных институтов власти, поскольку могут привести к становлению параллельной финансовой инфраструктуры и перераспределению полномочий. В центре перераспределения находятся «информационные» деньги. Эти деньги, «деньги Третьей волны», как их описывает Тоффер, становятся «электронным импульсом» [4, с. 85]: они перечисляются моментально, появляются в одном месте финансовой системы и, через мгновение, оказываются в другом. По сути, деньги становятся информацией, еще одним проявлением разнообразия.

Эволюция денег является интересным примером того, как растет значение информации в процессе усложнения социальных коммуникаций. Действительно, чем более разнообразными они становятся, чем больше «информационная нагрузка», которую они несут, тем отчетливее видно, что информация связана с разнообразием как форм, так и содержания. Высказанные соображения являются примером того, что понимание информации как проявлений разнообразия может быть положено в основу изучения процессов коммуникации в социально-технических системах, показав их с необычного ракурса.

Список используемых источников

1. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и в машине. 2-е изд. М. : Сов. радио, 1968. 326 с.
2. Глушков В. М. Кибернетика. Вопросы теории и практики. М.: Наука, 1986. 488 с.
3. Попов Л. В., Седов А. Е., Чудов С. В. Развитие концепций информации. URL: https://www.yaneuch.ru/cat_38/razvitie-koncepcij-informacii-v-kontekste/104830. 1599323.page1.html (дата обращения: 27.01.2022).
4. Тоффлер Э. Метаморфозы власти. М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. 670 с.
5. Тоффлер Э. Шок будущего. М.: ООО «Издательство АСТ», 2000. 588 с.

6. Тюхтин В.С. Отражение, системы, кибернетика. М.: 1972 174 с.
7. Урсул А.Д. На пути к информационному обществу // Философия науки. 1996. № 5. С. 50–58.
8. Чернавский Д.С., Синергетика и информация. М.: Наука, 2001. 305 с.
9. Шемакин Ю. И. Семантическая парадигма самоорганизующихся систем // Синергетика, человек, общество. М.: 2000. С. 25–29.
10. Эшби У. Р. Введение в кибернетику, М.: Издательство иностранной литературы, 1959. 432 с.

УДК 338.1
ГРНТИ 06.52.13

ТРЕНДЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

И. Б. Щербаков

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

Пандемия, случившаяся в 2020 году, несомненно, внесла серьезные изменения в деятельность и дальнейшее существование на рынке абсолютно всех компаний, от крупных предприятий-производителей до небольших предприятий среднего и малого бизнеса. Но при этом, пандемия стала именно тем толчком-катализатором, который ускорил развитие цифровой экономики в мире, а введенный режим самоизоляции не только заставил бизнес перейти на удаленный способ работы, но и заставил активно начать развивать и внедрять онлайн-сервисы, необходимые для оперативного управления предприятиями. Кроме того, сам путь цифровой трансформации, который раньше мог растянуться на несколько лет, многие предприятия прошли всего за пару месяцев. Цифровая трансформация порождает технологический сдвиг и в короткие сроки преобразует вид глобальной бизнес-среды предприятия, а это является довольно важным этапом для бизнеса, который продолжает адаптироваться и становится все более цифровым и гибкими, где цифровые технологии становятся основным моментом в «перезагрузке» функционирования предприятий, способствуя дальнейшему развитию цифровой трансформации.

пандемия, программное обеспечение, цифровая трансформация, цифровая экономика, цифровизация.

Случившаяся в 2020 году пандемия COVID-19 серьезно повлияла на всю мировую экономику, что негативно отразилось на результатах деятельности многих предприятий, которые не смогли быстро адаптироваться к изменившимся условиям внешней среды и были вынуждены даже приостановить свою дальнейшую деятельность. Именно поэтому цифровые

технологии стали одним из главных средств, которые способствовали непрерывности взаимодействия и протекания многих экономических и социальных процессов, не только внутри самого предприятия, но и при осуществлении контакта с окружающим миром. Таким образом, произошедшая пандемия COVID-19 привела к значительному увеличению количества дистанционных коммуникаций, которые стали как приоритет применяться для участия в видеоконференциях, осуществления удаленной работы персонала, торговли и обучения. В результате, процесс цифровой трансформации стал той реальностью без которого уже не может обходиться современный бизнес [1].

Цифровая трансформация начала изменять рынок труда, и вопросы о том, что будет представлять собой трудовая деятельность все еще остаются открытыми, а в условиях пандемии, которая способствовала распространению удаленной формы работы на предприятиях, этому моменту следует уделять особое внимание.

Пандемия наглядно продемонстрировала не только потенциал, но и показала возможности цифровой трансформации, которые серьезно повлияли на развитие цифровой экономики во всем мире, ведь цифровизация стала одним из главных трендов развития современного бизнеса.

Цифровизация бизнеса – это внедрение современных информационных технологий в бизнес-процессы, что позволяет перейти на новый качественный цифровой уровень ведения бизнеса [2].

Цифровизация бизнеса основывается на следующих составляющих [3]:

- способы хранения и передачи информации (электронная почта, мессенджеры, облачные технологии);
- интеграция цифровых технологий (электронный документооборот, 3D печать, онлайн документы, искусственный интеллект);
- продвижение бизнеса при помощи интернет-каналов;
- защита цифровых сведений, в том числе использование антивирусного программного обеспечения;
- повышение уровня цифровой грамотности у сотрудников.

Конкурентная рыночная среда, в которой находятся предприятия подталкивает к ускоренному интегрированию цифровых процессов в свою структуру, что позволяет не отставать от современных тенденций и даст возможность улучшить показатели работы [4]. Осуществлять данный процесс необходимо быстро и поэтапно, то есть вначале оснастить предприятие цифровой инфраструктурой, сформулировать стратегию цифровизации с интеграцией в бизнес-процессы и запустить соответствующие проекты, которые и смогут трансформировать бизнес [5]. Реализация данных этапов позволит предприятию осуществлять более гибкую и эффективную стратегию развития в цифровом мире.

Пандемия спровоцировала инвестиции в цифровизацию бизнеса, но акцент сместился с технологических прорывов к решению актуальных задач конкретного предприятия, что привело к росту повышенных требований к обеспечению кибербезопасности в цифровом пространстве, что в свою очередь создает новую парадигму, которая осуществляется на принципах проактивного противодействия внешним угрозам и использованию доверенных программных и аппаратных компонентов всей информационной системы предприятия [6].

Можно выделить следующие ключевых технологические тренды цифровой трансформации, произошедшие в современном бизнесе в условиях пандемии:

- произошел переход на цифровые каналы связи для быстрого и оперативного взаимодействия не только с клиентами, но и со всеми сотрудниками на предприятиях;

- происходит процесс роботизации для сокращения ручного труда в подразделениях предприятий, где роботы становятся все более умнее, так как разработчики уходят от детерминированных алгоритмов и переходят к нейронным сетям;

- наблюдается рост отечественного открытого программного обеспечения в рамках концепции импортозамещения;

- произошло развитие цифровых экосистем;

- увеличивается спрос на построение специализированных платформ с базами данных из-за роста объемов собираемых данных и наблюдается стремительный рост российского рынка унифицированных коммуникаций;

- происходит рост адаптации клиентов к общению с голосовыми и текстовыми помощниками, так как бизнес во всем мире старается наращивать внедрение виртуальных ассистентов в свою деятельность и бизнес-процессы;

- наблюдается интерес к проектам лицевой биометрии на платформах AVI (Actionable Video Intelligence), которые позволят продвинуться к более сложной аналитике, и в том числе к предиктивной, но при этом необходимо уделить внимание на создание нормативного регулирования в области лицевой биометрии для снижения возможности бесконтрольного применения в бизнесе и усилить защиту создаваемой базы данных;

- происходит интеллектуализация программного обеспечения для устранения рутинного процесса, где разработчик осуществляет только творческую функцию, а всё остальное создается с помощью различных цифровых помощников внутри программного обеспечения. В качестве примера можно привести цифровой суфлер, который уже есть в разрабатываемом программном обеспечении Call-центров для заполнения озвученного клиентом адреса доставки вместо оператора Call-центра;

– произошло возникновение нового класса в программном обеспечении бизнес-процессов предприятий – работа со смыслом. Это разрабатываемое семантическое программное обеспечение может решать смысловые задачи, искать противоречия и коллизии, что позволяет, например, делать из разрозненных документов связанную базу через кросс-линкование, которое будет создаваться автоматически по смыслу слов или с учетом синонимов [7].

Выделенные ключевые технологические тренды цифровой трансформации вызваны необходимостью снижать затраты и быстрее адаптироваться к изменениям, происходящими в мире. Данные изменения могут потребовать от предприятий быстрой адаптации и скорости реакции для координации глобальных взаимодействий на цифровом рынке, так как они находятся на разных уровнях в цепочке создания ценности [8].

В ближайшее время указанные тренды в цифровой трансформации и платформенные решения в программном обеспечении окажут довольно серьезное влияние на мировую экономику, так как именно они создадут возможность предприятиям самим создавать новые продукты и услуги и, кроме того, позволят обмениваться совместно созданными ценностями на цифровом рынке, а внедрение платформенных решений сможет расширить уже существующие рынки, создать новые, ускорят процессы производства и обмена и повысят производительность труда [9].

Таким образом, цифровая трансформация является важнейшим условием успешного функционирования и дальнейшего развития предприятий после завершения пандемии COVID-19.

Список используемых источников

1. Инновации в эпоху COVID-19. URL: <https://rtlq.ru/static/docs/COVID-19-business-digital-innovation-transformation.pdf> (дата обращения: 30.03.2022)
2. Ивельская Н. Г., Султанова Е. В., Фардзинова З. А. Опыт цифровой трансформации России // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2021. Т. 10. № 4 (37). С. 255–258.
3. Увалиева Ш. Д. Тренды цифровизации бизнеса в условиях пандемии и кризиса // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 11-2 (69). С. 143–145.
4. Макаров В. В., Блатова Т. А., Ворошилова Е. Ю. Ускоренное развитие информационных технологий в период пандемии // Экономика и качество систем связи. 2021. № 2 (20). С. 12–19.
5. Блатова Т. А. Цифровые инновационные технологии как фактор экономического роста в период постпандемии // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб. : СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 344–349.
6. Паньшин Б. Н. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Наука и инновации. 2016. № 157. С. 21–30.
7. Тенденции и перспективы цифровой трансформации предприятий и органов власти. URL: <https://www.itweek.ru/digitalization/article/detail.php?ID=220241> (дата обращения: 30.03.2022).

8. Кунцман А. А. Трансформация внутренней и внешней среды бизнеса в условиях цифровой экономики // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2016. № 11 (93). С. 14–21.

9. Бойко И. П. Экономика предприятия в цифровую эпоху // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 7. С.117–126.

ANNOTATIONS

RADIO TECHNOLOGY COMMUNICATION

Aleksandrov A., Golovinov O., Makarov A. Method for Estimating the Range of Vision of an Underwater Television Camera. – PP. 5–9.

Proving that a television camera meets with requirements is an important part of the development process. At all stages of development, it is advisable to evaluate this compliance and, if necessary, make adjustments. The article describes a technique for estimating the range of vision of an underwater television camera.

Key words: underwater surveillance, distance of viewing, Secchi disk.

Aleksandrov A., Golovinov O., Ukrainskiy O. Television Methods for Detecting Fire Hazardous Situations. – PP. 9–13.

Detection of fire hazard situations at an early stage is a task that always remains relevant. The article provides a brief analysis of the technical solutions that perform this task using video systems and image processing techniques.

Key words: fire extinguishing systems, fire alarm, television camera.

Andreev R., Prasolov A., Fedorov A. Applicability Analysis of Prominent Radio Propagation Models for LoRa Technology. – PP. 13–17.

Coverage area predesign is due to be held for correct planning and deployment of radiocommunication network. To do this, serve radio propagation models. Brief overview, conditions of use, features and characteristics of prominent radio propagation models are presented. Applicability analysis for LoRa technology is carried out. Graphical and tabular results of calculations are presented.

Key words: LoRa technology, noise stability, radio communication range.

Andreev R., Prasolov A., Fedorov A. Applicability Analysis of Prominent Radio Propagation Models for NB-IoT Technology. – PP. 17–21.

Coverage area predesign is due to be held for correct planning and deployment of radiocommunication network. To do this, serve radio propagation models. Brief overview, conditions of use, features and characteristics of prominent radio propagation models are presented. Applicability analysis for NB-IoT technology is carried out. Graphical and tabular results of calculations are presented.

Key words: NB-IoT technology, noise stability, radio communication range.

Andropov A., Kuzmin S. The Amplitude-Phase Distribution Searching Technique for a low-Profile Combined Ring Concentric Antenna array. – PP. 22–26.

With the development of light and ultra-light aviation, compact and low-profile antennas are required to provide radio communications, but at the same time, without limiting functionality. Concentric antenna arrays help to solve this problem. Due to the strong mutual coupling of the radiators, it is difficult to find the necessary amplitude-phase distribution. The paper presents a search technique based on the summation of partial radiation patterns multiplied by weight coefficients. The desired amplitude-phase distribution, or the indicated weight coefficients, is found as a result of optimization by the particle swarm method.

Key words: radiation pattern, ring antenna array, radiation pattern synthesis, particle swarm method.

Babanov I. Study of the Properties of Signal-Forming Sequences of the 5G NR Standard – PP. 26–31.

The principles of organizing and ordering the roots of signalling sequences for generating RACH preambles are considered. Formats of possible configurations of random access channel preambles are given. The study of the correlation properties of preambles ordered in different ways is carried out. The levels of correlation coefficients are calculated and an analysis of the distribution of their values is given depending on the length of the ZC-sequence and the method of ordering the roots.

Key words: 5G NR, PRACH, ZC-sequence, correlation coefficient, random access.

Babanov I., Vorobiev O. Checking Detection Quality of Preamble of Random Access Channel with Matlab Model Usage. – PP. 32–36.

The variant of usage of MatLab model for checking detector of preambles produced by external vendor on the example of srsRAN solution. An example of signal generation is demonstrated as well as model and experiment scheme. Results of practical testing for specified channel and test parameters are published.

Key words: 5G, NR, 4G, LTE, PRACH, ZC-sequence, MatLab, srsRAN, Lte Toolbox.

Babin N. Topical Ka- Range Usage Questions in Satellite Communication Systems. – PP. 36–41.

The frequency overload resource of the C- and Ku- ranges and increased requirements for the satellite communication system capacity require the development of higher frequencies. The Ka- range usage allows for reuse of radio frequencies using multi - beam antennas. At the same time, the energy potential of satellite radio lines increases, and the capacity of onboard repeaters abruptly increases. The use of the Ka - band allows the implementation of communication satellites such as HTS.

Key words: Ka - frequency range frequency, multi - beam antennas, component beam, served area.

Baryshev O., Fokin G. Functionality of 5G Matlab. – PP. 41–45.

In this paper, the functionality of MATLAB in the field of NR system modeling is considered. Scenarios for using 5G NR and 5G Toolbox application field are considered. 5G NR user plane

protocol layers for user equipment and NR radio access network node are presented. The physical, transport and logical uplink and downlink channels affected by 5G Toolbox are considered. The 5G Toolbox provides standard functions and reference examples for modeling, simulating and testing 5G New Radio communication systems.

Key words: 5G Toolbox, Matlab, eMBB, mMTC, URRLC, QoS Flows.

Bashlakov P., Kuzin P., Starikov D., Lukanin V. Method of Proactive Control of the Parameters of the Radio Control Complex in the VHF-SHF Range. – PP. 46–50.

This article presents a method for proactive control of parameters of radio monitoring complexes in the VHF - microwave ranges, which consists in building a mathematical model based on system analysis and synthesizing a control algorithm with prediction.

Key words: radio control, VHF - microwave radio links, predictive model, radio control complexes.

Belyaeva N., Duklau V., Smaglienko T., Ukrainskii O., Fedorov S. Development of a Laboratory Workshop on Digital Conversion of Component Signals in Television. – PP. 51–55.

The concept of component signals is very old, as a color television. These signals are the basics of the electrical transmission of the image – both analog and digital. The study of working with such signals using analog laboratory equipment does not allow realizing all the variety of possible methods for processing a television image.

The report describes the modeling of the main methods of image signal processing for their transmission over a modern broadcast television channel, as well as the results of the developed algorithm in the MATLAB environment. It contains information about the experience of studying the work with component signals during the practical education.

Key words: component signals, color images, signal processing.

Boyko I. Estimation of Imperfect Channel Correlation Matrix in Massive MIMO Systems. – PP. 56–60.

The purpose of this work was to obtain an estimate of the correlation matrix when the static information in the uplink of MIMO systems is inaccurate. We consider the solution of the problem of correlation matrix estimation when the static observation sample size is small, when the channel matrix can become degenerate or ill-conditioned. In this case, the correlation matrix estimation can be obtained by approximating the correlation matrices of the pilot signals and the channel by the regularization method. The mathematical description of signal processing in the uplink model for MIMO systems is given, as well as simulation of the results of the described algorithm in MATLAB environment. On the basis of results of modeling the analysis of MSE of an estimation of a channel vector from change of parameters of regularization of algorithm, volume of sampling and quantity of elements of an antenna lattice of BS is spent.

Key words: MIMO, estimation of imperfect correlation matrix, correlation channel matrix, iterative algorithms, MATLAB, regularization.

Buniak G., Dmitrieva V. Antennas with Circular Polarization. – PP. 61–65.

In this paper, the main types of antennas with circular polarization are considered – as a rule, spiral antennas belong to such antennas. The types of polarization – linear, elliptical (circular), as well as the use of various types of polarization in radio engineering are analyzed.

The basic properties and geometry of spiral antennas are presented. The main characteristics, namely the radiation pattern, gain and impedance, are obtained.

Key words: circular polarization, Spiral antenna, printed antenna.

Bukharin A., Kuzin P., Mishina S., Chapurin E. Model of the Process of Radio Control of Radio Lines in VHF – SHF Range. – PP. 66–70.

This article presents an energy model of the process of radio monitoring of radio lines in the VHF – SHF range, during the operation of terrestrial radio lines, which will further investigate and identify the main dependences of the indicators of the electromagnetic availability of monitored objects on internal and external parameters.

Key words: radio control, VHF radio lines - microwave range, radio-electronic means.

Buchatskiy A., Rekichinskiy A. On the Issue of the Effectiveness of Monitoring Remote Objects of Digital Television Broadcasting Based on the Analysis of the Degree of Importance of the Parameters of Objects. – PP. 71–76.

This paper considers the possibility of improving the efficiency of monitoring remote objects of digital television broadcasting based on the results of the analysis of determining the degree of importance of critical network monitoring events. The results of an experimental study in the branch of RTRS "Saratov ORTPC" are presented. The data obtained were used to develop monitoring tables for remote digital broadcasting facilities in the DataMiner software.

Key words: monitoring, receiver-decoder, digital transmitter, television broadcasting, visio, DataMiner, SPLICER, replicator.

Buchatsky A., Tatarenkov D. About the Application of a Random-Dot Stereogram for the Diagnostics of Pathologies of the Stereovision. – PP. 76–80.

The main parameter of stereo vision is the depth discrimination threshold or stereo acuity (the smallest relative displacement of two objects in depth that a person is able to notice). The article proposes a computer implementation of a technique for testing stereoacuity of vision, an important diagnostic indicator, on the basis of which it is possible to recognize the symptoms of visual system disorders in the early stages and prevent their progression.

Key words: disparity, stereoacuity.

Vasilev N., Tsyganov D. Creation of an Automatic Method for Deploying the R-431AM Antenna Module Using a Neural Network. – PP. 80–85.

In this article, an example of creating an automatic method for deploying the R-431AM antenna module using state monitoring sensors using a neural network was considered. The upgraded model of the antenna module, the created software and the neural network were considered.

Key words: graphical interface; programmable controllers; Arduino controller; position monitoring sensors in space; neural network.

Veremyev V., Vorobev E., Quan N. V., Markelov O. Multistatic Radar System Monitoring Shipping using Satellite Signals Illumination. – PP. 85–90.

The use satellite transmitters as signal illumination for radar system monitoring is a new direction in the design and development of modern radio engineering. In the field of monitoring river and sea at short distances, a radar system monitoring with based on satellite signals has proven that it is possible to detect and track shipping traffic in river and coastal sea areas. In this paper considers the result of studying an experimental model of the receiving station of a bistatic radar system monitoring using signals illumination GPS L1 frequency range. In addition, to improve the possibility of target detection, it is proposes to create a multistatic radar system monitoring based on several satellite transmitters signals illumination and one receiver station.

Key words: radar monitoring, multistatic radar system, monitoring shipping, satellite system, signal illumination, coastal area.

Veresov V., Fedorov S. Ability to Transmit 360-degree Video using the DVB-T2 Standard. – PP. 91–94.

The article has a 360° panoramic video output, the ability to transmit standard video in the DVB-T2 television television standard. The market for video cameras is considered, as well as software for working with such video. Transmission conditions and signal parameters are set, as well as the necessary equipment for the end user. Interaction with the HbbTV standard.

Key words: DVB-T2, digital terrestrial broadcasting, panoramic video, spherical video, UHD, HbbTV.

Vinogradov P., Sazonov A. Possibilities of Building Power Supply Systems for Base Stations Based on Renewable Sources. – PP. 94–100.

Renewable energy sources are energy sources that should be used today. Their main advantages are: environmental friendliness, safety of use, most of them are highly available, and their volume is much more than the predicted need for all mankind. Unfortunately, in addition to the qualities of RES, they have disadvantages, the main of which are their low saturation, heterogeneity and inconstancy (dependence on the season, time of day, weather). The lack of large investments in the research, production and implementation of technologies based on the principle of using alternative sources of electricity also hinders their development in Russia. Despite this, even now the technological level makes it possible to successfully use renewable energy sources to supply autonomous communication facilities with electricity under certain circumstances.

Key words: renewable sources, energy production, power plant, alternative sources, power supply of communication facilities.

Vinogradova N., Grekov K. Intensification of Destruction of Polymeric Materials in the Processes of Their Utilization. – PP. 100–102.

Most of the polymeric materials, especially packaging materials, are currently not recycled, but buried in landfills and even turn out to be simply on the relief. The low rate of destruction of polymeric materials in natural conditions makes it necessary to look for ways to increase it. Various methods and mechanisms of intensification of processes of destruction of packaging polymer materials are investigated in the paper. It is shown that the most effective are ultraviolet irradiation and treatment with hydrogen peroxide. Ways to reduce the negative impact on the environment of recyclable polymeric materials are proposed.

Key words: polymer waste, polymer destruction, ultraviolet irradiation of polymers, hydrogen peroxide treatment.

Vladyko A., Pylaev M., Fokin G. Simulation Model of Mobile Devices Positioning with Fusion of Range and Bearing Measurements in the Extended Kalman Filter. – PP. 103–108.

The proposed simulation model is intended for graphical visualization of the positioning of a mobile device with the integration of range and bearing primary measurements collected by the receiving reference points, with their subsequent secondary processing by integration in the extended Kalman filter. The scope of the proposed simulation model is a graphical visualization of the achievable accuracy of estimating the coordinates of a mobile device in intelligent transport systems, depending on the territorial separation of the measuring reference points of the road infrastructure and the accuracy of estimating the angle and time of arrival of signals, as well as the initial desynchronization of the source and receiver of measurements. The functionality of the proposed simulation model includes the estimation and graphical visualization of the root-mean-square error of estimating the coordinates of a moving object when moving in a straight line and maneuvering using the extended Kalman filter.

Key words: positioning, mobile device, range and bearing primary measurements, extended Kalman filter, graphical visualization.

Vladyko A., Fokin G., Khorev T. Simulation Model of Mobile Devices Positioning with Fusion of Range, Bearing and Inertial Measurements in the Extended Kalman filter. – PP. 108–113.

The proposed simulation model is intended for graphical visualization of the positioning of a mobile device based on range and bearing primary measurements, collected by the road infrastructure receiving points, with their subsequent secondary processing by fusion with the measurements of the onboard inertial navigation system in the extended Kalman filter. The scope of the simulation model is to study ways to improve positioning accuracy in ultra-dense V2X/5G radio access networks for turning vehicles at intersections by combining range and bearing primary measurements with measurements of inertial navigation systems. The functionality of the simulation model includes estimation and graphical visualization of the root-mean-square error of the speed and coordinates of the vehicle when driving in a straight line and maneuvering, as well as establishing ways to improve positioning accuracy up to one meter when turning at an intersection.

Key words: positioning, mobile device, range and bearing primary measurements, extended Kalman filter, onboard inertial navigation system, graphical visualization.

Vorobyov O., Kokin S., Moshkov V. Ionospheric Non-Linear Effects Observed During Very-long-Distance HF Propagation. – PP. 114–118.

The purpose of this work was to study the excitation of ionospheric waveguide due to scattering of HF heating wave by artificial ionospheric turbulence (AIT). In addition, probing of stimulated ionospheric inhomogeneities can be obtained from the analysis of signals obtained at a long distance from the ionospheric heater. This work uses a new method of scattering RF radiation by the heater to diagnose nonlinear effects on ultra-long radio paths. Experiments were carried out using different far apart receiver sites. The key problem for the ultra-long-range propagation mode is to power the ionospheric waveguide. The energy must then exit the waveguide at a particular location to be detected by the surface receiver.

Key words: artificial ionospheric turbulence, ionospheric waveguide, EISCAT, HAARP, Arecibo.

Vyalshin E., Ukrainski O. Satellite Ship Complex Video Communication System. – PP. 118–124.

Recently, more and more often there is a need to install a satellite video communication system on a ship. Differences of such systems from terrestrial ones are connected with additional requirements of geometric positioning, for example, in connection with sea rolling, from climatic conditions, from movement on the water surface relative to the satellite, etc. The report analyzes the features of the use of satellite video communication technology and the prospects for its further development, and analyzes the characteristics of a number of developments in this area.

Key words: satellite dish, video communications, ship complex.

Gizatulin D., Glushankov E., Rylov E., Sviridov A. Systolic Array for Implementing Antenna Array Adaptation Algorithms. – PP. 124–129.

In this paper, we synthesize a systolic array, which implements a direct algorithm for the adaptation of antenna arrays, based on the circulation of selective circular correlation matrices. Correlation matrices in circular antenna arrays have such properties. The general structure of the calculator consists of a processor for evaluating the matrix and for calculating the vector of weight coefficients by the matrix.

Key words: antenna array, systolic array, AR adaptation algorithm, correlation matrix, vector of weight coefficients.

Glushankov E., Kurbatova E., Mebonia M. An Algorithm for Decoding Block Codes Using Pseudo-Circulation of the Generating Matrix. – PP. 129–131.

An algorithm for decoding block codes using pseudo-circulation of the generating matrix is considered. A modified pseudo-circulation algorithm based on the skeletal representation of a square matrix is proposed and the possibility of its application for decoding is shown.

Key words: block codes, generating matrix, pseudo-circulation of the matrix, decoding.

Glushankov E., Purshel V. Analysis of the Efficiency of Using a Random Interleaver in Radio Communication Lines with Error-correcting Coding. – PP. 132–135.

The paper considers the use of interleaving to improve noise immunity in radio communication lines. An analysis of the use of a random interleaver in radio links with error-correcting coding has been carried out. Various types of interleavers and various types of error-correcting codes are considered. The analysis was carried out in the Simulink environment.

Key words: error-correcting coding, symbol interleaving, Simulink.

Glushankov E., Purshel V. Research of Signal-Code Structures Based on MKM with TC/QAM. – PP. 135–138.

The paper considers the use of signal-code structures with MCM based on turbo codes and QAM. A model of such signal-code constructions is developed and their analysis is carried out in the Simulink environment. Based on the analysis, the high efficiency of such methods of joint

coding and modulation is shown, which allows us to recommend them for use in radio engineering systems.

Key words: signal-code constructions, error-correcting coding, Simulink, Solomon-Read code, turbo code.

Glushankov E., Razmyslova V. Development of an Algorithm for Estimating the Coordinates of an Object in Low-Orbit Satellite Systems. – PP. 139–144.

In the problem of estimating the coordinates of moving objects, the Kalman filtering algorithm has been widely used in practice, which implements the optimal Bayesian solution, provided that the models of the dynamic system and observations are linear, and the statistical characteristics of noise are Gaussian. The paper synthesizes a modified Kalman filter for estimating coordinates in low-orbit satellite radio engineering systems and simulates its operation in MATLAB.

Key words: MATLAB, Kalman filter, coordinate estimation, equation of state, observation equation.

Glushankov E., Khrenov A. Spatial Signal Processing in Rectangular Antenna Arrays Taking into Account the Block-Template Structure of the Correlation Matrix. – PP. 144–149.

Many algorithms are used for spatial signal processing, but each has its own characteristics. In this article synthesized and analyzed using MATLAB environment Vojvodin's algorithm for implementation in rectangular antenna arrays, taking into account the block-teplitz structure of the correlation matrix.

Key words: spatial signal processing, Voevodin algorithm, block-teplitz matrix, signal to noise and interference ratio, error value, signal arrival angle.

Glushankov E., Tsarik V. Analysis of Algorithms for Adaptive Spatial Filtering of Signals in a Ring Antenna Array. – PP. 149–154.

Adaptive spatial signal filtering algorithms based on direct methods taking into account the geometry of the annular antenna array (AR) and iterative procedures are considered. A comparison of algorithms for real signals and interference affecting the AR input obtained on the basis of experimental studies of radio lines is carried out.

Key words: antenna array, spatial filter, direct adaptation method, iterative algorithm, conjugate circulant matrix.

Glushankov E., Tsvetkov D. Development of a Demodulation Algorithm for MIMO Systems that is Optimal According to the Isced Criterion. – PP. 154–157.

A demodulation algorithm for MIMO systems, optimal by the criterion of minimum root-mean-square error, based on a modified Kalman filter has been developed. The accuracy of the algorithm and sensitivity to deviations of the model parameters are investigated by simulation modeling in the MATLAB environment. The sensitivity was investigated by the additional movement of the filtration quality indicator with variations in the model parameters.

Key words: demodulation, MIMO, MATLAB, kalman filter, sensitivity.

Godina V., Pereygin S., Stein B. Measuring Signal with Exponential Frequency Modulation. – PP. 157–162.

The article investigates the properties of a special measuring signal with an exponentially increasing frequency (ESS-signal). Expressions describing the ESS signal in the time and spectral domains are presented. The procedures of Professor Farina's method using the ESS signal are given and illustrated: their comparison with traditional methods of measuring device characteristics is given.

Key words: exponential frequency modulation, impulse response, spectral density, convolution.

Gorobtsov I., Kirik D., Kositsyna T. Features of Building a Radio Communication Channel with Mobile Objects. – PP. 162–169.

The article considers a model of a communication channel with mobile objects. The model is given by the impulse response $h_x(t)$ with two variables, where x represents the location of the receiver. The model consists of two submodels, one of which describes the trajectory of the line of sight, and the other – the signal that reaches the receiver with a single reflection.

Key words: communication channel, mathematical model, receiver.

Grigoriev M., Tumanova E. Methods for Assessing the Quality of Acoustic Systems. – PP. 169–172.

In the modern world there are a large number of different acoustic systems. In this regard, consumers, and, first of all, manufacturers, face the task of evaluating a particular product. For these purposes, there are various methods for assessing the parameters of the audio systems: objective and subjective.

Key words: audio systems, methods, objective and subjective characteristics.

Guzeva Y. New Approaches and Technologies for Creating Virtual Studios. – PP. 173–178.

The report focuses on new technologies and approaches to the development of virtual studios today. Virtual studios are a technology that has a great impact on modern television and video. Virtual studio technology is constantly evolving and uses the latest advances in computer hardware and software. Such technologies as "digital wall", augmented reality (xR), LED screens as an alternative to chromakey are considered. On the basis of these technologies the creation of virtual studios takes a completely new form, which allows to fully implement the cinematographic and television concept of "what you see is what you get".

Key words: virtual studios, digital wall, augmented reality, LED screens.

Guminskiy O., Myshyanov S. Development of a Signal Synchronization Algorithm for a DRM Mode E Radio Receiver. – PP. 178–183.

When receiving OFDM signals the accurate synchronization of the receiver and transmitter is particularly important. A successful solution to this problem can significantly improve the receiver's noise immunity. Numerous studies have been devoted to the problems of synchronization of OFDM-systems, and the synthesis of new and the optimization of known algorithms in terms of improving the performance and the possibility of hardware implementation are being conducted. The paper presents the results of the study of synchronization algorithms applicable for signal processing of DRM mode E digital radio

broadcasting standard, the implementation of the synchronization system in Matlab/Simulink environment is presented.

Key words: MATLAB, Simulink, DRM, synchronization.

Dao V. L., Konovalov A., Le M. H. Surface Target Tracking Using an Interactive Multi-Model Algorithm. – PP. 184–189.

Surface target tracking using trajectory filters has attracted considerable attention in recent years. An interactive multi-model filtering (IMM) is considered for solving the problem of tracking surface maneuvering targets. The simulation results are presented.

Key words: trajectory filtering, IMM-filter, target tracking, Kalman filter.

Demchenko L., Moshkov V., Yurackov D. MAC-address Substitution Study By Frequency Shifting In Wi-Fi Networks. – PP. 189–194.

The paper is devoted to find MAC address spoofing in Wi-Fi network based on signal frequency offset measurement with application of short and long training sequences in the received packet. The study is conducted using SDR equipment and GNU Radio Companion software. The well-known approach [1] to detect MAC address spoofing is based on the hypothesis that the calculated offset frequency is uniquely determined by the parameters of the transmitter's master oscillator. This paper investigates the influence of other factors on the calculated offset frequency.

Key words: LimeSDR, GNU Radio Companion, SDR, software-defined radio, Wi-Fi, MAC.

Denisov A., Maslakov M., Saulenko E. Application of Chirp Pulse to Probing the Absorbing Medium. – PP. 194–197.

In modern problems related to the spreading of radio waves, not only the question of determining the position of an object in space is raised, but also an interest arises in determining various characteristics of the internal state of a body or environment. This research can be carried out by probing the surface with short electromagnetic pulses, followed by analysis of changes in the profile of the reflected signal.

Key words: chirp signal, probing, regularization method, reflection coefficient.

Deshina N., Kubalova A., Ryzhikova T. Investigation of Stepped Elliptical Microwave Filters with Implementation on Planar Transmission Lines of the Same Length. – PP. 197–201.

The article is devoted to the consideration of stepped elliptical microwave filters on transmission lines of the same length. The most promising way to implement stepped elliptical filters is a structure of two parallel connected arrays of connected lines with a surge of wave resistance at the junction point. The advantage of such structures is the greatest compactness due to the implementation on planar transmission lines.

Key words: elliptical filter, planar transmission lines, microwave devices, step filter, wave resistance.

Deshina N., Kubalova A., Ryzhikova T. Investigation of Stepped Elliptical Microwave Filters with Implementation on Planar Transmission Lines of Different Lengths. – PP. 202–205.

The article is devoted to the consideration of stepped elliptical microwave filters on transmission lines of different lengths. The attenuation characteristic of this filter pulsates both in the passband and in the barrage band, and has transmission zeros at finite frequencies. These properties make it possible to approximate the characteristic of an ideal filter using the smallest number of resonators. To reduce the weight and size characteristics and increase the manufacturability of the device, a planar implementation of a stepped elliptical filter is used.

Key words: approximation, planar transmission lines, microwave devices, step filter, barrier band, bandwidth.

Elistratova A., Manvelova N. Environmental Problems of Sewage Sludge Processing, Search for the Most Effective Disposal Technology. – PP. 206–210.

Sewage sludge is a solid fraction of organic and mineral substances formed at sewage treatment plants; it is the main waste of the wastewater treatment process. The volume of OSV in Russia is estimated at more than two million tons of sediment per year based on dry matter. The most commonly used method of treatment of OSV is their combustion, for example, in multi-pod furnaces, furnaces with a fluidized bed of inert material, however, the use of these technologies is accompanied by secondary pollution of the environment by toxic products of high-temperature combustion of precipitation. It is proposed to use the latest method of low-temperature combustion of OSV in the catalyst layer, which avoids the disadvantages of high-temperature disposal methods.

Key words: sewage sludge, secondary environmental pollution, utilization of precipitation by combustion in furnaces with a fluidized bed of catalysts.

Ermolaev D., Kalinin I., Kulinkovich A. Environmental Policy in the Baltic Sea Region. – PP. 210–213.

The article deals with the issues of environmental policy in the Baltic Sea region. The sources of pollution of the Baltic Sea are shown. The issues of regulation and economic mechanisms of influence on various structures for the conservation of ecosystems in the Baltic Sea area are discussed. It is concluded that it is necessary to comprehensively address the issues of environmental conservation in the region under consideration.

Key words: ecosystems, Baltic Sea, environmental conservation.

Kalinin I., Kulinkovich A., Panikhidnikov S. Environmental Policy in Central and Eastern Europe. – PP. 214–219.

The article discusses the history of the creation of the modern concept of environmental protection in Central and Eastern Europe. It is noted that the environmental policy in Eastern Europe until 1989 was based on national environmental quality standards, which were often more stringent than Western ones. The reasons are revealed. For which the countries of Eastern Europe have not been able to achieve satisfactory environmental results. The transformations for overcoming the created ecological crisis are discussed. It is concluded that it is necessary to develop an "eco-strategy" for one's own survival and its application on a global scale.

Key words: environmental policy, Central and Eastern Europe, environmental energy sources, ecostrategy.

Kozintseva D., Fedorov S. Key Features of the H.266/VVC Video Coding Standard. – PP. 219–223.

The new VVC (Versatile Video Coding) video compression standard, compared to previous versions of the standards, allows you to further reduce the flow rate. The standard is focused on processing video information in 4K, 8K and 360⁰ formats.

The article presents the key features of video information processing in this standard, its differences from previous video information coding standards (AVC and HEVC). It is noted that the increase in compression efficiency is achieved due to a significant complication of algorithms, which leads to an increase in the requirements for computing resources in hardware implementation.

Key words: encoding of video information, H.265, H.266, immersive reality.

Koptyaev D., Perelygin S. Tube-Semiconductor Low Frequency Amplifier for a Special Antenna of Long Radio Waves ("Magnetic Loop"). – PP. 224–229.

The article describes the use of the "Magnetic Loop", the authors' version of the amplifier for it and creating a radio repeater or an audio guide based on it. The differences between the "Magnetic loop" and the existing radio transmission systems are considered. The article presents different variants of its application in wireless radio broadcasting and on the set to control the camera crane and moving props.

Key words: radio transmission, broadcasting, magnetic loop, amplifier, repeater.

Korovin K., Shandrovsky A. Methods of Detecting Objects in Rooms Outside the Line of Sight. – PP. 230–234.

The article describes the use of the method of radar observation of obstacles (STTW see through the wall), the method of indirect laser location and the radar method for detecting objects in rooms outside the line of sight. The physical principles and methods of signal processing for each and the specified systems are described, a comparative analysis of the characteristics and scope of the systems is given.

Key words: signal processing, radar, laser location, thermal imaging, wave reflection.

Korotin V. Service-Aimed Modification of Inherited TDMA Radio Access Systems. – PP. 235–239.

The technological modification of inherited TDMA radio access systems for coverage spread and/or number of traffic channels increase is discussed using DECT-based systems as an example. As well the ability for video conferencing traffic transmission is estimated. With the didactic purpose the exposition is presented in "goal – solution – result evaluation" manner what is especially useful for student's perception of TDMA radio access networks specific.

Key words: DECT, TDMA, guard time, network depth.

Korotin E., Moshnina A. Investigation of Noise Immunity in the Li-Fi Communication Channel. – PP. 240–244.

Each of us uses smart gadgets with different technologies in the modern world. The number of devices is growing exponentially every year, which can lead to a limitation of the radio frequency spectrum. One of the technologies that can solve this problem is wireless data transmission via light, which can be used indoors. For example, in hospital wards, on airplanes,

in warehouses. This article analyzes the performance parameters of Li-Fi communication in a hospital ward during data transmission.

Key words: BER, visible light, SNR, communication channel, Li-Fi.

Krotov R., Rybakov A. Research and Analysis of the Main Qualitative Characteristics of the Radio Channel Model with a Variable Preamble. – PP. 245–249.

The purpose of the research work is to consider the main advantages of short-wave radio communication are the use of reflection of radio waves from the ionosphere and the presence of the ionosphere itself over the territory of our planet. To realize the advantages, a description of a promising and new method of adapting a digital communication channel is proposed. It is proposed to consider a new method of adaptation - by the length of the preamble (variable preamble). The obtained channel characteristic is used to correct all characters of the processed frame, after which it is recalculated according to the following preamble. It is worth noting that the equalizer, configured according to the preamble, allows you to effectively eliminate the phase surge in frequency communication channels, in the presence of clock synchronization errors.

Key words: equalizer, variable preamble, clock synchronization, detection methods, radio channel model, decoder.

Kryurov V., Molchanov A. Media of a New Type in a Promising Model of Television Broadcasting in the Russian Federation: Analysis of Opportunities and Implementation. – PP. 250–252.

The concept of the development of television and radio broadcasting in the Russian Federation for 2020–2025 is designed to implement a number of activities that are related to problems in the field of media.

Key words: mass media, broadcasting, media broadcasting model, analysis.

Kulikov S., Tumanova E., Fedorov S. On the Need to Ensure Information Security of the Broadcasting Industry in the Russian Federation. – PP. 252–257.

In the formation and distribution of media content, mainly foreign-made equipment is involved. In this regard, questions arise about the need to ensure the information security of technical complexes for the production, distribution and reception of media content.

The elements of the television path are considered. Possible vectors of attacks from the outside in relation to the hardware and studio complex, equipment for the distribution of broadcasting programs are given.

Key words: digital broadcasting, information security, hardware and studio complexes, distribution network equipment, cyber threats.

Likontsev A., Nev D. The Ways to Improve the Quality of Cooperative Satellite Systems. – PP. 257–262.

Satellite communication technologies are the next step in the development of communications. More and more systems and algorithms are constantly appearing to improve the quality of communication, including in cooperative satellite networks. It is necessary to highlight the "High Throughput Satellite" (HTS) system, the peculiarity of which is the use of point beams that allow you to concentrate power in the right service areas. Due to this, this system can

provide higher throughput compared to conventional ones. This report examines the main ways to improve the quality of cooperative satellite systems, including using HTS.

Key words: ACM, HTS, Cooperative satellite systems, adaptive modulation.

Likontsev A., Osipova V. Analysis of the Possibility of Refusing the Use of Foreign Communication Satellites. – PP. 263–268.

This report provides an survey of the main technologies for building satellite communication systems, as well as the possibilities of their application in multi-station access systems in conditions of limited frequency and orbital resource. The features of the use of each technology, its pros and cons are considered.

Key words: satellite communication systems, rejection of foreign satellites, import substitution in the field of communications.

Likontsev A., Chervinko E. Development of an Optical Locator Layout for Laboratory Work. – PP. 268–273.

At present, any radar is a rather complex, expensive and large system, most often it is a military development, which is almost impossible for universities to use for scientific and educational purposes. In this regard, students studying such courses as “Fundamentals of Radar and Radio Navigation” and others do not have the opportunity to gain practical experience due to the lack of operating equipment that can simulate the operation of a radio location station (RLS). To improve the comprehensibility of the course, it is advisable to conduct research using the current radar layout. In this regard, there was a need to develop a small-sized mock-up with the ability to simulate the main functions of the radar, while the mock-up should determine objects whose effective scattering area (ESR) will not exceed several square centimeters.

This article describes the process of developing such a layout using the VL53L1X optical ToF-sensor of distance, and also provides a working prototype of the device.

Key words: radar, arduino, hardware development, education, VL53L1X.

Loginovskaya A., Sheiko D. Analysis of the Radiation Situation in the Territory of the Kirovsky District of St. Petersburg Using GIS Technologies. – PP. 273–277.

In this work, an analysis of the radiation situation on the territory of the Kirovsky district of St. Petersburg was carried out. Measurements of the field equivalent background dose of gamma radiation were carried out at 53 points of the region with further plotting the results on maps using GIS technologies.

Key words: radiation, GIS technologies.

Losev A., Rogozinsky G. Development of a Generative-Adversarial Network for an Automatic Generation of Subtitles. – PP. 277–282.

At present moment, technologies of audio processing are based on a wide variety of working with digital signals. There were new methods of working with digital audio, which were invented during the evolution of computers. These methods are oriented for working with multichannel audio, effective data compression, building sonification systems and other tasks. The developers were interested in sound processing “on the fly”, in real time, without any delay, because development of an audio recording was oriented drastically on a broadcast purpose. The significant progress has been made during the launch of computers, which were

capable of 32-bit float operations, but since that moment the way people process digital audio has changed a lot. One of the most important technologies, which is accelerating its integration in various spheres of life, is an artificial neural network. Neural networks are capable of automatic reverberation setting, sorting human voice from background noise and making some musical compositions using a genetic algorithm. Our work is focused on development of a neural network model, which is focused on speech recognition for implementation in automatic subtitles generation system.

Key words: generative-adversarial network, spectral analysis, automatic generation of subtitles.

Luzhkovskaya V., Fedorov S. DVB-I Standard – Internet Based Solution for Linear TV Services. – PP. 282–285.

In the era of the Internet, where television is rapidly losing its appeal to the audience, multi-platform is gaining popularity, where created content is distributed in all viewing formats.

One of the directions for the development of terrestrial television is the creation of hybrid networks that combine terrestrial digital television broadcasting facilities and 5G base stations for online transmission of multimedia content to mobile and stationary devices.

This stage in the development of technology will allow television to continue to develop, as hybrid systems successfully combine the possibility of high-quality signal transmission to TVs with large diagonals and the convenience of receiving multimedia information online on mobile devices. This is enabled by a single technological platform based on the IP protocol. Therefore, the further development of the European digital television system also provides for the transition to the IP platform and integration with internet services (DVB-I).

Key words: DVB-I, standard, digital television, video content, Internet.

Lyalina A. Development of Program Set for Studying MIMO Detection Methods with Spatial-Time Coding. – PP. 285–290.

Currently, the most promising and widely used method for increasing the spectral efficiency in the field of wireless communication is the use of MIMO systems. This report will present the result of developing a set of programs for the study of such systems. With their help, various methods of detecting MIMO systems can be studied, the degree of influence of various kinds of fading on transmission can be determined, and the effectiveness of the joint use of known methods of space-time coding and signal-code structures can be estimated. The result of the development can be useful both from a research point of view and in designing the most optimal telecommunication systems.

Key words: MIMO, line detection, ZF, MMSE, ML, STC, fading.

Makarov L., Protaseny S. Information Entropy of Neurotransmitters. – PP. 290–294.

The development of information technologies for the study of the properties of the manifestation of the vital activity of many organisms is formed on a large theoretical basis, conceptually presented in classical physics, biophysics, biochemistry, mathematics. The synthesis of a generalized understanding of the complexity of starting and constant monitoring of vital processes of the body seems appropriate to be considered in terms of the theory of signals, the complexity of which is estimated in bits.

Key words: information entropy, neurotransmitters, homeostasis of the body.

Manvelova N., Rebenko G. The Foundry Waste Disposal on the JSC Nevsky Zavod Example. – PP. 295–300.

The foundry production of the joint-stock company "Nevsky Zavod" in accordance with Federal Law No. 116 refers to hazardous production facilities. During the metal melts production process formed with a temperature reaching 1700 degrees, there are dangerous chemical compounds used for the molds and cores manufacture. The main large-scale waste foundry production of JSC "Nevsky Zavod" is the spent molding sand (OFS). The analysis of innovative technologies for the use of OFS in the construction industry was carried out: for backfilling dirt roads, in asphalt concrete and cement mixtures, etc. The use of OFS in the construction industry makes it possible to reduce the environmental load on the territory of landfills and exclude direct contact of waste with the environment.

Key words: metallurgical production, waste molding sands (WMS), regeneration, utilization of WMS in the construction industry.

Markova L. Results of Research of the Energy Losses in Power Amplifiers of Various Classes Working on a Hydroacoustic Aerial. – PP. 300–307.

The results of studies of energy losses in amplifiers of various classes for operating on a load with a pronounced capacitive component of the impedance are presented. A comparison is made of the relative energy losses with and without a regeneration link in amplifiers of classes B, G, H. An analysis of the quantitative characteristics of linear and key power amplifiers is carried out, and the prospect of using class D amplifiers for high-power devices in hydroacoustic transmitting tracts is shown.

Key words: pulse-width modulation, hydroacoustic transmission path, linear power amplifier, switch power amplifier.

Mezhevov P., Mukhina A. Direction of the Signal Arrival Using the MUSIC Algorithm. – PP. 307–313.

One of the main tasks of radio communication is to maintain error-free reception of signals. This paper considers a theoretical approach to determining the angle of arrival of a useful signal, the principle of operation of the MUSIC algorithm. Most of the known methods are a method of estimating the frequencies of the incoming signal to isolate it from white noise. This method of determining angular coordinates in digital antenna arrays is no exception. However, unlike others, it uses multiple signals, and also increases the accuracy of the results. In addition, the paper analyzes the influence of the method on the modern approach of signal reception and its contribution to the development of communication.

Key words: DoA-algorithms, MUSIC, pseudospectrum.

Nesterov A., Simonina O., Hripunov E., Shalaeva M. Experimental Assessment of the Quality Indicators in the Wireless Room Monitoring System. – PP. 313–318.

This article presents the results of the development, implementation and testing of a wireless monitoring system for industrial premises. The hardware base was chosen, algorithms for the microcontroller were developed, programs on ArduinoC were implemented. A presentation layer protocol has been developed that defines the order of encapsulation and decapsulation of transmitted data. A series of experiments was carried out on a real object, quality indicators were determined: the dependence of the number of successfully received packets on the transmission rate, the dependence of the number of received packets on the radio communication range, the probability of successful packet delivery, and two-way delay. The

probability of message delivery is 94% without the use of additional measures to improve noise immunity.

Key words: monitoring system, IIoT, quality indicators.

Nikitin I., Fokin G. MIMO Application for mmWave Radio Communication. – PP. 319–324. *Application of millimeter wave radio communications allows the use of a much wider channel bandwidth than was previously available, while it becomes possible to use tens and hundreds of antenna elements in user devices, base stations and access points. Today, MIMO technologies such as spatial multiplexing, beamforming, and diversity are widely used in low-frequency systems such as Wi-Fi and LTE. This paper explores the fundamental issues involved in selecting the best solutions for mmWave data transmission, and presents the ideas, challenges, and appropriate use cases for each MIMO technique based on prior knowledge of the mmWave propagation environment.*

Key words: 5G, Beamforming, MIMO, mmWave, Spatial Multiplexing.

Pavlova G. Drones – Unmanned Controlled Aircraft (UAVS), Their Application. – PP. 324–329.

The devices that we call "drones" are divided into two categories: one is a completely autonomous gadget that flies without any human intervention, the other works on remote control – the pilot stands on the ground and monitors the movements of the drone or watches it from the screen or using special glasses. Both species use different technologies and have different potential, but are equally considered drones.

Key words: on-board control system, ground control system, software, radio communication range, data recording and information transmission.

Roshchinskiy R., Fokin G. Device-to-Device (D2D) Technology in 5G Networks. – PP. 329–334.

Technology (D2D) is an important part of the fifth generation (5G) system. Thanks to the development of this technology, it will be possible to improve public safety communications, autonomous driving and infotainment services. 3GPP has defined the core functionality of D2D communications in relation to public safety; D2D applications for cellular networks were also considered. This paper provides an analysis of the features of the construction and operation of D2D technology in networks of the fifth and subsequent generations.

Key words: 5G, LTE, D2D, 3GPP.

Rylov E. Spatiotemporal Signal Processing with FHSS in HF Radio Channels. – PP. 334–339. *Quality analysis of spatiotemporal processing signal with frequency-hopping spread spectrum based on mobile facilities in HF radio channels for transient signal-to-noise ratio was carried out.*

Key words: frequency-hopping spread spectrum, adaptive array, correlation matrix.

Ryutin K., Fokin G. Features of Implementing a Positioning System Receiver in the LTE Network Using PRS by the OTDOA. – PP. 339–344.

The rapid deployment of LTE (Long Term Evolution) mobile networks and the potential capabilities of network positioning make this technology a promising candidate for location

scenarios. This article provides an overview of the hardware and software implementation of an SDR receiver capable of determining locations in LTE networks using PRS signals.

Key words: positioning, LTE, PRS, OTDOA, SDR.

Ryabikov D., Fokin G. Three-Dimensional Beamforming. – PP. 344–349.

Beamforming is a signal processing technique that generates antenna patterns using multiple antenna elements on a transmitter or receiver. Through 3D beamforming, it is possible to direct the transmitted signal in the desired direction and at the same time avoid receiving an unwanted signal from an unwanted spatial direction when operating in ultra-dense radio access networks. Most of the beamforming schemes currently used in wireless cellular networks control the radiation pattern in the horizontal plane. Unlike 2DBF (2D Beamforming), 3DBF adapts the radiation pattern in both azimuth and elevation to provide more degrees of freedom while supporting simultaneous user radio sessions in space. This paper analyzes the benefits of 3D beamforming, including higher user throughput, lower inter-cell and inter-sector interference, higher power efficiency, improved coverage, and increased spectral efficiency.

Key words: antenna pattern, 2D beamforming, 3D beamforming.

Smirnova K., Fokin G. Beam Management Procedures in 5G Networks: Downlink Beam Refinement – PP. 350–354.

When we talk about the deployment of 5G NR networks, despite the possibility of using frequencies below 6 GHz to implement the new standard, mmWave frequencies are of greatest interest to telecom operators. Therefore, high frequency deployment is one of the most important characteristics of 5G NR. However, due to the nature of the use of high frequencies for deploying 5G NR networks, the signal must be transmitted in the form of a beam. The aim of this work is to analyze the special procedures by which the formation and control of the beam is carried out. In particular, one of the main such procedures, the P-2 procedure, which is responsible for beam refinement in the downlink, will be analyzed.

Key words: 5G, mobile, directional radio links, beam sweep, P2 procedure.

Smirnova K., Fokin G. Directional Radio Links in 5G Networks: Beam Sweeping During Initial Connection Establishment. – PP. 355–359.

The rapid growth in the number of simultaneously operating transceivers in deployed radio access networks of the fifth and subsequent generations leads to the problem of an unacceptably high level of intra-system interference, provided that they are compacted to one device per square meter. Adaptive beamforming can potentially compensate for a high level of interference by forming the maximum antenna pattern to the source/receiver of the useful signal and the minimum antenna pattern to the source/receiver of the interfering signal. The wide distribution of diagram formation in radio access networks of the fifth and subsequent generations is facilitated by the transition of the radio interface to the millimeter wave range and the development of multiantenna systems. Minimization of intrasystem interference of devices operating in the common frequency range in the beamforming mode is carried out due to their spatial multiplexing and angular/territorial separation. In this paper, we consider the procedure for the initial establishment of directional connections in 5G networks by sequential beam scanning using blocks of SSB synchronization signals.

Key words: 5G, mobile, directional radio links, beam sweeping, P1 procedure.

Smirnova K., Fokin G. Directional Radio Links in 5G Networks: Beam Refinement During Radio Communication. – PP. 360–365.

To control the radiation pattern in 5G networks, the well-known approach of preliminary analysis of training sequences about the current situation in the CSI (Channel State Information) radio channel can be used, but its overhead becomes unacceptably high in conditions of an ultra-dense distribution of mobile and stationary devices. An alternative approach to beamforming is the so-called LAB (Location Aware Beamforming). Validity, relevance and prospects of this approach are determined by the fact that for 5G networks in the latest 3GPP specifications, in contrast to networks of previous generations, the requirements for device positioning accuracy up to one meter are formalized for the first time. Achieving such accuracy becomes possible due to the new radio interface at the physical layer, however, the new device-centric architecture of the radio access network, including the direct connection of devices to each other D2D (Device-to-Device), creates new problems for managing the radiation pattern of devices at the channel and network layers. One of these problems is the beam refinement in radio communications, for which the 3GPP formalized the P2 procedure.

Key words: 5G, mobile, directional radio links, beam refinement, P2 procedure.

Sozinova M. Application of a Structural Algorithm to Recognize Group Targets from Infrared Images. – PP. 365–370.

This article presents an algorithm for recognizing IR images based on structural analysis. This approach involves analyzing the image in order to construct its structural description and subsequent recognition by comparing the structure of the current and reference images. The results of an experimental evaluation of the effectiveness of the proposed recognition algorithm are presented.

Key words: structural recognition algorithm, IR image recognition.

Stepanets I. Calculation Method for Capacity of Microwave Link Interval with Adaptive Modulation under Conditions of Rician Fading. – PP. 371–376.

One of the indicators of the quality of functioning of a microwave link interval with adaptive modulation is the estimation of its capacity. The article is devoted to the description of the method for capacity calculating for a microwave link interval, which operates based on adaptive modulation. The general sequence of steps for performing the calculation is presented, as well as mathematical expressions are given that allow to calculate particular indicators of the capacity of microwave link intervals under conditions of radio wave fading. The Rice channel is taken as a model of a microwave link channel. The results of capacity calculation for various parameters of the Rice channel are presented.

Key words: microwave link, adaptive modulation, Rician fading, capacity.

Stepanov A. Implementation of the Signal Wavelet Compression Algorithm on a Microcontroller with Ultra-Low Power Consumption. – PP. 376–381.

The paper is devoted to the description of the basic principles of the implementation of the algorithm of wavelet compression of signals on a microcontroller with ultra-low power consumption. The Texas Instruments MSP430G2553 microcontroller is considered as the element base. The results of the operation of this device with the use of various wavelets and compression coefficients are presented. The feasibility of using this microcontroller in the implementation of signal compression algorithms is evaluated.

Key words: wavelet compression of signals, microcontroller, ultra-low power consumption, implementation, integrated development environment.

Stepichev A., Steputin A. The Problem of Providing the Speed Indicators of 6G Networks. – PP. 381–386.

The implementation of the sixth generation of mobile communications is expected in the second half of the 2020s – 2030s. It is expected that in addition to all sorts of improvements and innovations, 6G mobile networks will provide subscribers with multicast data rates at the level of 1 Tbps. Various combinations of technologies such as mMIMO, carrier aggregation, high-order modulation-coding schemes and the use of the sub-terahertz frequency spectrum will be applied to achieve such throughput rates. Also, the multiple access method used in the network plays an important role in ensuring speed indicators. In mobile communication networks of the fourth and fifth generations, OFDM modulation is used, which provides spectral efficiency sufficient for these networks. But at the same time, we are already have alternative digital modulation methods, such as N-OFDM.

The purpose of this work is to study OFDM and N-OFDM modulation methods and determine technological solutions and the required frequency band to provide a 6G network bandwidth of 1 Tbps.

Key words: 6G, 2030 Networks, cell networks, OFDM, N-OFDM.

Tatarenkov D. Use of Addressed Leds for Visualization of Generative Graphics. – PP. 387–391.

In recent years, there has been a significant increase in interest in the formation of a single composition of the stage space using lighting devices. A well-discovered artistic environment significantly enriches the impression of a concert or performance, the frequency feeling of integrity from it, helps the actors to present their manifestations. The art of scenography uses many professions, among which an important place is occupied by a lighting designer. The article is devoted to the analysis of scene design processing tools. Additions to the lighting design with addressable LED strips and panels are proposed. The installation for generating generative dynamics and transferring it to LED devices has been implemented.

Key words: generative graphics, immersiveness, addressable LEDs.

Tatarenkov D. Using the Unreal Engine Platform to Create Virtual Reality Apps. – PP. 392–396.

In recent years of technology, mixed reality has gained a lot of popularity. The number of manufactured devices is constantly growing. The main parameters of head units are improved: resolution, display refresh rate, viewing angle, performance of video processors. At present, the challenge of the availability of a large amount of resources suitable for use in industry is particularly acute. A special place here is occupied by the formation of the atmosphere and the embedding of emotions in sensations, including avatars, in the metauniverses. The article is devoted to the methodology for creating a laboratory complex of works for students, the development of skills in 3D modeling of objects, random features and their transfer to virtual spaces.

Key words: virtual reality, 3D modeling, mixed reality.

Ukrainskii O. About the Application of HDR Technology in Television Broadcasting. – PP. 397–401.

The quality of the image in television is constantly improving with increasing clarity, using 3D technology and, mainly, with improving the reproduction of brightness and color, which can be realized using HDR technology. The developments of the leading manufacturers in this area – Apple, Samsung and others – turned out to be quite diverse and led to the need for the emergence of appropriate standards.

The report provides an annotation of the developments of leading manufacturers, of new standards about HDR image transmission and of the modern trends in the area of television technology

Key words: high dynamic range, Dolby Vision, signal processing.

Ushkova I., Fokin G. Study of the Correlation Properties of Signals in GNSS System. – PP. 401–406.

The issues of positioning devices in modern and future mobile radio networks are inherently related to the use of global navigation satellite systems (GNSS, GNSS – Global Navigation Satellite System) in line-of-sight conditions. The positioning accuracy of devices in GNSS systems, among other conditions, is determined primarily by the correlation properties of the signals used. Potential in favorable operating conditions can reach a few centimeters. In this paper we consider the procedure for determining satellites in line-of-sight conditions with a ground-based GNSS receiver, as well as a preliminary assessment of the correlation properties of the signal used.

Key words: GNSS, Doppler frequency, code phase, correlation function, cross-correlation function, noise.

SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORKS

Anisimov V., Lepeshkin O., Ostroumov M., Ostroumov O. To the Question of the Communications System Functional Stability Ensuring. – PP. 407–410.

One of the main requirements for complex systems such as communication and control systems is sustainability. The systems functioning stability is achieved by ensuring the required survivability and reliability, however, if these requirements are met, the system may not perform its functions. To ensure the performance of each function, tasks are solved in the system using the available resource. The paper proposes an approach to ensure the fulfillment of the system intended purpose and its functional stability due to the maneuver not only with resources, but also with the tasks and functions of the system. At the same time, first of all, it is necessary to ensure the functioning of critical facilities and critical information infrastructure facilities.

Key words: critical information infrastructure, critical facility, information security, communication system, control system.

Bashkintseva M., Karpenko P., Maltseva O. Field Means of Radio Relay Communication. – PP. 411–419.

An important link of numerous communication systems for various purposes is the means of radio relay communication. Noticeable development of these tools and systems has occurred

over the past sixty years. After such a period of time, a huge number of samples of military, special and commercial radio relay stations were developed and produced by the joint efforts of domestic and foreign specialists. All the presented material reflects a chronological analysis of the characteristics of domestic radio relay communication stations for special purposes. A brief overview of the historical stages of the creation and development of domestic radio relay stations for special (military) communication networks is also presented.

Key words: radio relay communication, radio relay stations, wired communication, radio communication, radio relay lines, communication systems.

Bashkirtsev A., Kryukova E., Mikhailichenko N., Parashchuk I. Tasks and Specifics of the Stages of Creating a Methodology for Analyzing the Quality of Data Centers and Electronic Libraries in Conditions of Uncertainty. – PP. 419–423.

The features of the stages of creating a methodology for analyzing the quality of data centers and electronic libraries under uncertainty are considered, the elements of the structure and content of such studies are formulated taking into account various quality indicators, a variety of types and aspects of uncertainty affecting the analysis procedures and operational management of the structure, parameters and operating modes of systems of this class. A variant of the formulation of direct and inverse problems of analyzing the quality of data centers and electronic libraries is given.

Key words: quality analysis, methodology, data center, electronic library, uncertainty, quality indicator, model, requirements.

Belyaev D., Dadaev I. IPSec Cryptotunnel Formation in the Astra Linux Operating Systems. – PP. 423–426.

The article proposes an algorithm for configuring IPSec protocols using the development and use of a bash script that allows you to generate keys and create IPSec policies using standard Astra Linux operating system tools. The article takes into account the peculiarities of Linux terminal commands used to automate key management procedures and create IPSec policies.

Key words: the Astra Linux operating system, IPSec cryptotunnel, random numbers generation.

Belyaev D., Shorokhov E. Secure Transmission System Development of Operational Messages on the Crypto API Functions. – PP. 427–431.

The article proposes an algorithm for creating secure messaging system using the development of programming interface CryptoAPI. In this article is described way of key container management for exchanging of public keys and using them for securing instant messages.

Key words: CryptoAPI, crypto service provider, export, import.

Bogolepov G., Mikhailichenko A., Parashchuk I., Seleznev A. Assessment and Forecasting of Reliability of Mobile Data Centers: Mathematical Models of State Change of Absence of Equipment Failures, Durability and Maintainability Parameters. – PP. 431–436.

Possible approaches to the selection and justification of the use of mathematical models of various types for the tasks of modeling the processes of changing the state of the parameters of absence of equipment failures, durability and maintainability, which characterize the reliability of modern mobile data centers in the complex, are considered. The analysis of the advantages

and classification features of mathematical models applicable to solving problems of this class is carried out.

Key words: mathematical model, mobile data center, reliability, parameter, absence of equipment failures, durability, maintainability, assessment, forecasting.

Vanyugin D., Gridnev V., Glushko A. The Specifics of Building Modular Mobile Communications in the Arctic Zone on the Sea. – PP. 437–441.

The Arctic zone, due to its specificity, has a significant impact on the organization of radio communications due to the conditions for the propagation of radio waves of various frequency ranges, a large spatial scope of the territory, including the marine part occupied by islands and continental land. The article presents specific proposals for the use of communication means of various ranges for the organization of management of Arctic territories.

Key words: Arctic zone, maritime space, radio communication, frequency range.

Vasiliev D., Gordiychuk R., Sagdeev A., Slyusar V. Model of an Integrated Information and Telecommunications System for Military Purposes as an Object of Control. – PP. 442–445.

The processes of functioning of the integrated ITCS of the VN, as an object of control of security against TCR, can be represented by a model or their interrelated set. This model of the object of research is intended for the formation of the initial set of data that characterize the conflict situation. The purpose of the simulation is to obtain a set of statistical values of the IP of control objects according to the parameters of the integrated ITCS of the HV, taking into account the required quality of its work.

Key words: information protection, information and telecommunications network, control, communication system.

Velichko V., Protsenko M., Sagdeev A., Sidorenko E. Organization of a Video Transmission Subsystem for a Mobile Communication Complex of a Mobile Fire-Rescue Complex of Modular Design. – PP. 445–449.

During emergency rescue operations, it is necessary to carry out video transmission between the emergency rescue group and the commander of the emergency rescue group to monitor the activities and document what is happening. This article is devoted to the implementation of video transmission mechanisms in difficult conditions of radio signal propagation.

Key words: mobile communication complex, emergency rescue operations, mobile fire-rescue complex, video transmission.

Vyugov S., Kozlov S. Analyzing the Characteristics and Capabilities of a Virtual Network Based on Network Namespaces in the GNU/Linux Operating System. – PP. 450–454.

One of the key elements of the GNU/Linux operating system is process isolation. The internal namespace mechanism implemented in this operating system allows processes to be isolated at the kernel level. The Network process tree, has its own set of routing tables. It is possible to tunnel traffic of individual applications and to create virtual network models with defined quality characteristics of the communication channel.

Key words: namespace, physical stack, virtual stack, communication channel characteristics.

Gavryushchenko A., Kuranda A. Application of Digital Methods for Processing Audio Signals. – PP. 454–457.

It is proposed to automate the process of assessing the health of internal combustion engines of automotive vehicles, as well as diesel and gasoline generators by using the procedure for assessing health by the sound emitted by a running engine. A smartphone or tablet computer can be used as a sound recording and signal processing device.

Key words: audio signals, digital processing, audio signal recognition.

Glushko A., Grigorchuk A., Znobishev R., Sagdeev A. A Meaningful Description of the Methodology for Substantiating the Composition and Structure of the Network Security Control System For Elements of a Military Information and Telecommunications Network Integrated with a Public Communications Network in the Context of Technical Computer Intelligence. – PP. 457–461.

This article discusses the methodology for substantiating the composition and structure of the network control system for the security of the elements of the ITCS VN, which allows and justifies the reduction of the list of IP elements of the ITCS VN in the characteristic space of the SSOP of the ESE of the Russian Federation, ensuring the preservation of a given level of awareness about the objects of control and the probability of their recognition.

Key words: information protection, information and telecommunications network, control, communication system.

Gontar D., Petrunin D., Stakheev I., Titova O. Prospects for the Use of Robotic Systems in Hybrid Wars. – PP. 461–465.

The article analyzes the processes of formation of one of the main types of military-purpose robotic complexes, namely unmanned aerial vehicles, as a means of confrontation in modern armed conflicts. The features of single and group use of military robotic complexes, including those based on swarm technologies, are considered. The analysis of the main postulates and principles of conducting hybrid wars is carried out, according to the results of which possible ways of using robotic complexes for military purposes are formed. It is determined that the complex can be used not only to perform combat and support tasks, but also to cause economic damage by destroying (damaging) infrastructure facilities, implementing various forms of non-military violence.

Key words: unmanned aerial vehicle, hybrid warfare, swarm of UAVs.

Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Kuranda A., Sagdeev A. Wavelength Selection for Atmospheric Optical Communication Line (FSO). – PP. 465–469.

Atmospheric Optical Communication Line (Free Space Optics, FSO) is a bidirectional data transmission technology based on the emission and reception of a beam of light rays. In FSO systems, a laser beam propagated in the line-of-sight area through the air is used for broadband data, voice and video transmission from one access point to another. This technology can be considered the wireless equivalent of wired optical communication carried out over optical fiber. FSO modules are connected to a local computer network using copper or fiber-optic cable lines that meet the requirements of TIA and EIA standards.

Any application whose data can be transmitted over the Internet, namely speech, data and video, can use the FSO system.

Key words: wavelength, FSO, lasers, spectrum, detectors, sensors.

Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Kuranda A., Samarkin D. The Problem of Integration of the Military Information and Telecommunication Network with the Public Communication Network in the Conditions of Technical Computer Intelligence. – PP. 470–473.

The article describes approaches to modeling the provision of connections (parts) of control (communication), ready for use as intended by communication technology and automated control systems.

Key words: security, communication technology and automated control systems, readiness for intended use, system indicators, failure.

Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Kuranda A., Sidorenko E. Methods of Technical Computer Intelligence and Destructive Software Impacts on the Military Information and Telecommunications System. – PP. 474–479.

The article describes approaches to modeling the provision of connections (parts) of control (communication), ready for use as intended by communication technology and automated control systems.

Key words: security, communication technology and automated control systems, readiness for intended use, system indicators, failure.

Grigorchuk A., Dobrovolsky S., Sagdeev A., Sukachev V. Building a Data Center Planning and Design Model. – PP. 479–482.

The article provides a number of requirements that are an integral part of the successful construction and further functioning of the data center. The topic of data center design is relevant today and will be relevant for many years to come, due to the need for enterprises and organizations to ensure stable and trouble-free operation of network equipment and network infrastructure as a whole.

Key words: data processing center, management information system, capital expenditures, total cost of ownership.

Dobrovolsky S., Drobyaskin A., Sagdeev A., Samarkin D. Methodology for Substantiating the Composition and Structure of the Network Control System for the Security of Elements of the Military Information and Telecommunications Network, in the Conditions of Conducting Technical Computer Intelligence. – PP. 483–487.

The developed methodology solves the problem of collecting information about the state of control objects, and, if necessary, the recommendations of the automated control system for transferring them to a new (required) state. The methodology is intended for the OIA and for the network control system bodies at the stages of formation, deployment and functioning of the network control system structure, in the conditions of conducting TCR and the dynamics of changes in the operational situation.

Key words: information protection, information and telecommunications network, control, communication system.

Zabelo A., Nguyen H. B. Evaluation of the Influence of Destructive Radio-Electronic Impact on the Elements of a Multichannel Radio Communication Network by the Maximum Element Method. – PP. 488–492.

The paper presents a model and describes an algorithm for assessing the impact of destructive electronic interference on a multichannel radio network. An algorithm for assessing the degree

of impact of destructive radio interference on the elements of a multichannel radio communication network is presented.

Key words: multichannel radio communication network, stability, destructive electronic interference.

Zapeka V., Kritsky K. Features of Routing in Distributed Self-Organizing Special-Purpose Radio Networks and Promising Protocols for Its Implementation. – PP. 493–497.

The text discusses the key characteristics of promising distributed self-organizing special-purpose radio networks at sixth-generation radio stations, conducts research on routing protocols of various varieties, forms requirements for the selection of routing protocols for the intended communication network.

Key words: special purpose radio network, radio station, routing protocols.

Zubakin V., Sazonov V., Tokarev I. Simulation Modeling Fixed Data Network Special Purpose. – PP. 497–502.

The article develops a simulation model of a stationary data transmission network for special purposes, built on complex equipment facilities. The GNS3 emulator was chosen as the simulation environment, which made it possible to develop a physical and logical structure with elements of complex equipment objects: a firewall, a router, a switch, servers, workstations.

Key words: simulation model, GNS3 emulator, server, operating system, Astra Linux, Debian, IPsec tunnel, decoys, firewall, data link distortion, Wireshark.

Ivanov V., Kolesova K., Lukyanchik V. Development of a Methodology for Creating an Electronic Reference System for Studying Means and Communication Complexes. – PP. 502–508.

The article deals with the issues of methodology for creating an electronic reference system. A model of an electronic reference system is presented, which allows using a clear example of the organizational and technical construction of a command post communication centre.

Key words: electronic reference system, model, means of communication.

Isachenko V., Polyakov S., Tevs O. The Calculation of the Accessibility Indicators of a Special Purpose Communication System. – PP. 508–514.

The article presents a methodology for estimation the accessibility of a special purpose communication system, which consists in assessing the availability of communication nodes to the transport communication network resource based on the accessibility factor of the communication node, determined through the functional dependence of the access communication lines capacity and communication range. The suggestions make it possible to evaluate the accessibility of communication system in order to ensure timely transmission (reception) of messages to officers.

Key words: accessibility communication system, accessibility communication node, accessibility indicators, accessibility factor, special purpose communication node, access node, transport communication network, access communication line, capacity, communication range.

Isachenko V., Tevs O. The Spatial Model of a Field Component of a Special Purpose Communication Network. – PP. 514–520.

The article presents a spatial model of a special purpose communication network, developed for formalization and performing of parametric-topological synthesis of the field component communication network structure. The model is based on the “path method”, where the main indicators of the message delivery route are the capacity and survivability of the path, and the resource of forces and means of communication are restrictions.

Key words: the field component of a special purpose communication network, the spatial model of a special purpose communication network, topological structure, forces and means of communication, capacity, survivability.

Kozyrev V., Lashin U., Novak A. Methods of Conducting Military-Political Work at the Military Training Center at the St. Petersburg State University named after Professor M. A. Bonch-Bruевич. – PP. 520–524.

Since 2019, military and political work has been organized in the Armed Forces of the Russian Federation, civilian universities where military training is carried out. The organization of military-political work in the Armed Forces is carried out in accordance with the regulatory framework of the Russian Federation.

The methodology of conducting military-political work at the Military Training Center at St. Petersburg State University will be described in this article.

Key words: military training, military training center, methodology, preparation, occupation.

Kruger V., Morozov A., Sirko N., Halepa S. An Approach to Modeling the Provision of Control (Communication) Connections (parts), Ready-to-Use Communication Technology and Automated Control Systems. – PP. 525–530.

The article describes approaches to modeling the provision of connections (parts) of control (communication), ready for use as intended by communication technology and automated control systems.

Key words: security, communication technology and automated control systems, readiness for intended use, system indicators, failure.

Malofeev V., Parashchuk I., Sundukov V. Departmental Infocommunication Networks: Basic Requirements for Network Attack Detection Systems and Means of Multi-Factor Authentication of Users. – PP. 530–534.

The main requirements for network attack detection systems and means of multi-factor authentication of users of departmental infocommunication networks are considered, systematized and analyzed. The analysis of classification features of various costs for maintaining the operability of such systems and facilities is carried out, taking into account the costs of eliminating the consequences of violating the information security policy of departmental networks of this class.

Key words: network attack detection system, tools, multi-factor authentication, user, infocommunication network, requirements, resources.

Panin R., Putilin A., Titov V. Analysis of Multiple Access Methods for a Group of Shared Anisotropic Channels in a Packet Decameter Radio Network. – PP. 535–540.

The possibility of constructing a decameter radio communication network with pseudo-random tuning of the operating frequency with the collective use of a group of anisotropic radio channels is considered. The features of these networks are resistance to changes in the network infrastructure and interference environment. The collective use of the frequency-time resource and the optimization of multiple access to it can improve the efficiency of the use of allocated resources and the bandwidth of the decameter radio communication network.

Key words: packet radio network, decameter radio communication, pseudorandom frequency hopping, multiple access protocol.

Protsenko M., Sagdeev A., Samarkin D., Sidorenko E. Development of a Mobile Communication Complex of a Mobile Fire-Rescue Complex of Modular Design. – PP. 540–542.

In order to carry out emergency rescue operations in the fleet, fire-fighting and rescue complexes are used, for the high-quality functioning of which it is necessary to equip them with communication complexes, the development of which is devoted to this article.

Key words: mobile communication complex, emergency rescue operations, mobile fire-rescue complex, modular design.

Rozhkov D., Svechnikov D. Comparative Analysis of the Capabilities of Cryptographic Information Protection Tools to Increase the Throughput and Reliability of Cryptographic Tunnels. – PP. 543–547.

The article considers the requirements for the means of cryptographic protection of information and the capabilities of modern software and hardware complexes of information protection "ViPNet" and "Continent" to ensure the reliability and throughput of L3 and L2 VPN tunnels. A comparative analysis of the modes of operation of the aggregated interface for the "ViPNet" and "Continent" are defined.

Key words: reliability, bandwidth, means of cryptographic protection of information, aggregation of network interfaces.

Tevs O., Chernyshev A. The Use of the Compact Radio Relay Stations in Special Purpose Communication Networks. – PP. 547–551.

The article presents suggestions to use of the compact radio relay stations for the deployment of a special purpose communication network elements. Set out separately are the advantages of using compact radio relay stations to provide to command centre officers of the tactical command level.

Key words: special purpose transport communication network, radio relay communication, compact radio relay station, wireless access equipment, command centre, tactical command level.

**DIGITAL ECONOMY, MANAGEMENT
AND BUSINESS INFORMATICS**

Arzumanyan Y. Entropy of the Social Environment. – PP. 552–556.

The article discusses the method of optimizing the social environment, which is formed on the basis of the interests of actors, business and the state. The possibilities of using a systematic approach for solving such problems are considered. The concepts of the objective function, the model for describing the social environment, the criterion of optimality, and approaches to the formation and transformation of the social environment based on specified criteria are introduced. It is proposed to use the concept of Sustainable Development as the main goal of the formation of the social environment, and the concept of entropy – to describe the state of the social environment. It is proposed to use digital footprints to form a digital model of the social environment based on the behavioral trajectory of actors. The concept of a unit of activity of actors in a social environment is introduced. An approach is proposed to the formation of the social environment, its transformation in accordance with the criteria of optimality.

Key words: social environment, social environment description models, optimality criteria, entropy, information theory, behavioral trajectory, digital footprints.

Arzoumanian Y., Volfson M., Zakharov A., Katasonova G., Sotnikov A. Vector Representation of Educational Programs. – PP. 557–561.

The space is described in which the ensembles of key concepts of educational disciplines or their combination in the landscapes of educational programs are considered as vectors of three-dimensional space. A technique for comparing ensembles of disciplines or programs according to the normalized size of the vector of differences is given.

Key words: quantitative characteristic of a key concept, ensemble of key concepts of a discipline/educational program, landscape of key concepts of an educational program, vector of differences.

Blatova T., Makarov V., Fedorov A. Intelligent Metering Devices: Problems of Personal Data Protection. – PP. 561–567.

Significant advances in the development of microelectronics and wireless technologies have contributed to the emergence and implementation of the Internet of Things in many areas of life. One of the promising directions of using the Internet of Things is the automation of resource accounting in the interests of housing and communal services by installing intelligent metering devices for consumed resources from consumers. Due to the fact that data on resource consumption carry private information about the consumer, the design and operation of automated accounting systems should be carried out subject to compliance with information security requirements.

Key words: intelligent metering device, automated system, personal data, information security, Internet of things.

Vasileva N., Stepanenko A. Tax When Using Bitcoin as a Single Global Cryptocurrency. – PP. 567–572.

The use of the BitCoin cryptocurrency as a single international digital money can provide a significant economic effect to national economies and the global economy as a whole. At the same time, there will objectively be problems of unified accounting and, accordingly, taxation issues.

The article proposes the principle of accounting and taxation in the era of cryptocurrency (BitCoin-BTC) and formulates a list of issues that need to be addressed in the future.

Key words: taxation, accounting, financial system, digital economy, Bitcoin cryptocurrency, BTC – Bitcoin unit of account, infocommunications.

Veredinskiy S., Makarov V., Mamonov M. The Model of Strategic Motivation of Heads of Organizations. – PP. 573–577.

An original model of typification of organizations based on a combination of two features such as the effectiveness of the organization and the age of the head of the organization is proposed.

The development strategies of each type of organizations are considered from the point of view of their owners. Recommendations are formulated to the heads of organizations on the development and implementation of strategies effective from the point of view of owners.

Key words: the effectiveness of the organization, development strategies, motivation and stimulation of the leaders of the organization.

Volfson M. Prospects for the use of non-fungible tokens in the field of education. – PP. 578–583.

In the past few years, the technology of non-fungible tokens (NFT) based on the blockchain network has been widely developed in the world, which is now used mainly in the field of collecting digital assets and for investing.

The article discusses the possibilities and prospects of using NFT in the educational field.

Key words: NFT, blockchain, education, tokens, microcredentials, Ethereum.

Egorova M., Kotov V. Comparative Analysis of Share Portfolio Formation by Targets. – PP. 583–589.

Investments are associated with the desire to increase capital. The use of existing portfolio performance indicators leads to various options for combining investment instruments when forming a stock portfolio. The purpose of this study is to consider certain types of target indicators and evaluate the possibilities of their use from the position of optimality between the risk and income of a stock portfolio for an investor.

Key words: optimal investment portfolio, beta coefficient, Sharpe ratio, Sortino ratio, investment income, risk.

Katasonova G., Solomko Yu., Sotnikov A., Strigina E. Model of Information Processes in Virtual Environments. – PP. 589–593.

Distributed information systems for collective use are the basis of widespread, popular and rapidly developing technological solutions known as social networks, virtual environments, and corporate information systems. At the same time, there are virtually no methods for describing information processes for which such systems are created. The article proposes a refinement

and modification of the domain model of infocommunications, which allows us to consider and use quantitative analysis methods from a unified perspective to describe and study processes in such systems, regardless of their application specifics.

Key words: digital economy, virtual environments, infocommunications, domain model, models of information systems, education.

Kotov V. It Project Performance Assessment Model. – PP. 594–599.

A dynamic model is considered, which can be used to quantify the economic efficiency, payback and risks of introducing information technologies into business. It is shown that all the economic benefits from IT projects can be predicted through an increase in income and a decrease in operating costs.

Key words: IT project, dynamic model of Cash-Flow, net present value, cash flows, commercial margin, payback period, scenario approach, risk analysis.

Lovcius V., Freiman M. Closed-end Mutual Investment – the Most Important Element of Asset Ownership Risk Management. – PP. 600–605.

In modern realities, business beneficiaries are faced with the need to solve two problems at the same time: maintaining personal “incognito” and ensuring confident inheritance of assets. At the same time, if in solving the first task over the past 30 years there have been many different approaches with varying degrees of success, then the second task has become relevant only in recent years. The reasons not to advertise your participation in business as beneficiaries lie both in the legal plane, for example, fears of raider seizures, and in the shadow plane, for example, tax evasion or family ties with the public service, which implies the need for appropriate declaration. The list of corporate instruments that provide an effective solution to each of the listed tasks separately is erroneously presented as an empty set.

Key words: closed-end mutual investment, fund, qualified investor, tax optimization, commercial real estate, rental business.

Makarov V., Starkova T. Visualization of Professional Standards and Knowledge Management of the Organization. – PP. 605–608.

The updating of regulatory and legal documentation operating at the junction of the educational system and the real economy is currently taking place at an accelerated pace. New generations of educational standards, competencies and professional standards, designed to make university graduates maximally adapted to the challenges of the modern labor market, do not give the expected effect. From the point of view of knowledge management, this circumstance is caused by several reasons. The following can be considered the most important: the absence of a list of regulatory documents from the necessary knowledge section; descriptions of business processes specific to this professional standard and video recording of the performance of labor actions. Thus, it seems that the most promising direction for improving the competence and self-confidence of graduates is to supplement professional standards with a set of applications that will be developed by universities and be their intellectual property.

Key words: professional standard, description of the business process, visualization of labor actions, knowledge management.

Makarov V., Fedorova M., Digital Literacy of the Rural Population Required for the Development of Service sector. – PP. 609–613.

The development of the Internet enables to provide and consume services remotely. The change of the services' provision requires both the subject creating the service and the subject the service consuming new skills and competencies - digital ones. The paper discusses and summarizes the concepts of "digital literacy", "digital skills" and "digital competence" of the population. As far as the endogenous model was chosen as the basic one that ensures the subjects to function withing it. Based on our previous research, we define common skills necessary for the development of service sector in rural areas. The authors also propose a more detailed list of skills required to be involved in providing and consuming services remotely.

Key words: digital literacy, digital skills, digital competencies, service sector, rural settlements.

Sapozhnikov G. Does the Efficiency of the Economy Depend from the Form of Ownership to the Means of Production? – PP. 613–618.

The mass transition from a private form of ownership of the means of production to the state and vice versa occurs only when the dominant ideology changes, the change of which is usually the result of a political coup. The authors of these changes proclaim that the change of ownership is carried out to ensure the growth of the welfare of the people and the efficiency of the economy as a whole. However, dogmatic adherence to ideological patterns, as a rule, does not lead to an increase in the efficiency of the economy, therefore, the organization of the economy based on ideological preferences that resulted from the change of the political system cannot be final. The experience of wide practical application of various forms of ownership shows that the efficiency of the economy in any form of ownership can be ensured only through "reasonable management".

Key words: private property, state property, market economy, planned economy, surplus product, political economy, ideology, dialectics, personal interest, public interest, reasonable management.

Sukhikh N. Information as Capital in the Post-Industrial Era. – PP. 618–622.

The article shows the meaning of the term "information" for the study of processes in socio-technical systems based on the work of E. Toffler. The possibility of using the interpretation of information as manifestations of diversity to understand the transformation of capital throughout the evolution of society is explored. The significance of such an interpretation for understanding the current state of economic processes is substantiated.

Key words: information, manifestations of diversity, Toffler, capital.

Shcherbakov I. Trends of Digital Transformation in the Context of a Pandemic. – PP. 622–626.

The paper highlights the key issues of the digital transformation of the economy and society during the pandemic and analyzes the essence of the changes taking place. The report shows what digital transformation is, what are the main trends and the resulting effects, which technological solutions will play a significant role in obtaining the necessary results, how to accelerate the processes of digital transformation in a pandemic, presents the advantages and tools of using digital technologies in business and analyzes what support from the state will be required.

Key words: pandemic, software, digital transformation, digital economy, digitalization.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСАНДРОВ директор Санкт-Петербургского предприятия
Александр Михайлович специализированное конструкторское бюро «Энергия»,
ntk10@mail.ru

АНДРЕЕВ начальник научно-образовательного центра
Роман Александрович «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети»
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
andreeffrom@mail.ru

АНДРОПОВ исследователь, научный сотрудник
Алексей Викторович ООО «Специальный технологический центр»,
mixphixion@mail.ru

АНИСИМОВ кандидат технических наук, преподаватель кафедры
Василий Вячеславович «Безопасности инфокоммуникационных систем
специального назначения» Военной орденов Жукова
и Ленина Краснознаменной академии связи имени
Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
oleg-26stav@mail.ru

АРЗУМАНЯН кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
Юрий Вазгенович бизнес-информатики Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
vazgen1945@yandex.ru

БАБАНОВ аспирант кафедры радиосвязи и вещания
Иван Андреевич Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
ivan.babanov@gmail.com

БАБИН кандидат технических наук, доцент кафедры
Николай Николаевич экологической безопасности телекоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
babin-nvk@yandex.ru

БАРЫШЕВ магистрант группы Р-12м Санкт-Петербургского
Олег Сергеевич государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
ludovik7380@gmail.com

- БАШКИНЦЕВА студентка группы ИКТС-71 Санкт-Петербургского
Мария Викторовна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
bachkinceva@gmail.com
- БАШКИРЦЕВ кандидат технических наук, соискатель Военной
Андрей Сергеевич орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии
связи имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного, ab098@yandex.ru
- БАШЛАКОВ адъюнкт кафедры Военной орденов Жукова и Ленина
Павел Владимирович Краснознаменной академии связи имени Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
60_vava@mail.ru
- БЕЛЯЕВ кандидат технических наук, доцент, сотрудник
Дмитрий Леонидович Академии Федеральной службы охраны
Российской Федерации,
bd133@academ.msk.rsnnet.ru
- БЕЛЯЕВА кандидат технических наук, доцент кафедры
Наталия Николаевна телевидения и метрологии Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
n.belyaeva@inbox.ru
- БЛАТОВА старший преподаватель кафедры экономики
Татьяна Александровна и менеджмента инфокоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
nsnlon@gmail.com
- БОГОЛЕПОВ начальник научно-исследовательской лаборатории
Григорий Сергеевич Научно-исследовательского центра Военной орденов
Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
bogolepov@inbox.ru
- БОЙКО аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов
Игорь Андреевич Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
igorboyko24na7@gmail.com
- БУНЯК студент группы РТ-91 Санкт-Петербургского
Георгий Александрович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
julitta08@gmail.com
- БУХАРИН кандидат технических наук, офицер отдела Главного
Андрей Викторович управления связи ВС РФ, kuzik78@mail.ru

- БУЧАТСКИЙ**
Александр Николаевич кандидат технических наук, доцент, директор института магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Alexanderbuchatsky@yandex.ru
- ВАНЮГИН**
Дмитрий Сергеевич старший преподаватель кафедры проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dmitry_vanugin@mail.ru
- ВАСИЛЬЕВ**
Никита Алексеевич командир взвода научного, младший научный сотрудник роты (научной) Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru
- ВАСИЛЬЕВ**
Дмитрий Николаевич начальник кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dvasilev73@yandex.ru
- ВАСИЛЬЕВА**
Надежда Николаевна старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vnn2008@gmail.com
- ВЕЛИЧКО**
Виталий Михайлович начальник учебной части военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, velichko90@mail.ru
- ВЕРЕДИНСКИЙ**
Сергей Юрьевич кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, veredinskiy@yandex.ru
- ВЕРЕМЬЕВ**
Владимир Иванович кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова «ЛЭТИ», директор научно-исследовательского института «Прогноз», vervladiv@gmail.com

- БЕРЕСОВ** аспирант кафедры телевидения и метрологии
Владимир Дмитриевич Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vervov2010@rambler.ru
- ВИНОГРАДОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи
Петр Юрьевич и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций, power@sut.ru
- ВИНОГРАДОВА** студентка 4 курса кафедры экологической безопасности
Наталья Алексеевна телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, nataliv000@gmail.com
- ВЛАДЫКО** кандидат технических наук, доцент, декан факультета
Андрей Геннадьевич фундаментальной подготовки Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vladyko@bk.ru
- ВОЛЬФСОН** кандидат экономических наук, доцент, заведующий
Михаил Борисович кафедрой бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, volfs75@gmail.com
- ВОРОБЬЕВ** научный сотрудник научно-исследовательского
Евгений Николаевич института «Прогноз» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова «ЛЭТИ», envorobev@etu.ru
- ВОРОБЬЕВ** кандидат технических наук, профессор, заведующий
Олег Владимирович кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vorobievov@bk.ru
- ВЬЮГОВ** сотрудник Академии Федеральной службы охраны
Станислав Георгиевич Российской Федерации, senser@icloud.com
- ВЯЛЬШИН** аспирант кафедры телевидения и метрологии
Эмиль Сайтович Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vyalshin.emil@gmail.com
- ГАВРЮЩЕНКО** кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
Александр Павлович программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, lviyc@mail.ru

- ГИЗАТУЛИН Данила Дамирович студент группы ИКТВ-82 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
alexeypost@mail.ru
- ГЛУШАНКОВ Евгений Иванович доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
glushankov57@gmail.com
- ГЛУШКО Артем Валерьевич старший преподаватель проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
artem2608@mail.ru
- ГОДЫНА Владимир Сергеевич инженер-программист ИООО «Эпам системз» (Минск, Белоруссия),
vladimir.godyna@gmail.com
- ГОЛОВИНОВ Олег Владимирович аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
oleggol93@mail.ru
- ГОНТАРЬ Дмитрий Николаевич старший преподаватель военного учебного центра Южного федерального университета,
dgontar@sfedu.ru
- ГОРДИЙЧУК Руслан Викторович старший преподаватель кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
rusgord@rambler.ru
- ГОРОБЦОВ Илья Александрович ассистент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
iliya_gorobtsov@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 преподаватель Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
grigorchuk.spb@mail.ru
- ГРИГОРЬЕВ Максим Николаевич студент группы Р-11м, техник группы аудиотехнологий Научно-образовательного центра «Медиацентр» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
grigorjev.maksi2011@yandex.ru
- ГРИДНЕВ Василий Александрович преподаватель кафедры проводной электросвязи и фельдъегерско-почтовой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
vagridnev161962@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
- ГУМИНСКИЙ Олег Андреевич студент группы Р-01м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, g-oleg_95@mail.ru
- ДАДАЕВ Исмаил Ибрагимович сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, bd133@academ.msk.rsnnet.ru
- ДАО Ван Лук аспирант кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»,
daolucvtl01@gmail.com
- ДЕМЧЕНКО Лилия Андреевна студент группы 3320 Санкт-Петербургского государственного морского технического университета,
liladem2484@gmail.com
- ДЕНИСОВ Александр Владимирович кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретических основ телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
a.v.denisov@inbox.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 аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 72ubiler@mail.ru
- ДОБРОВОЛЬСКИЙ Станислав Леонидович преподаватель кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи 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
- ДУКЛАУ Владимир Владимирович старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, duklaou@yandex.ru
- ЕГОРОВА Марина Александровна кандидат экономических наук, доцент кафедры Управления и моделирования в социально-экономических системах Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, egorova-mak@yandex.ru
- ЕЛИСТРАТОВА Анастасия Романовна студентка группы ЭП-81 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, notintou@inbox.ru
- ЕРМОЛАЕВ Данила Андреевич студент учебной группы ИСТ-812 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, danku3377@gmail.com
- ЗАБЕЛО Александр Николаевич кандидат военных наук, старший преподаватель кафедры 12 Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, a1987vas@mail.ru
- ЗАПЕКА Валентин Геннадьевич студент группы ИКТВ-84 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zapvalgen@mail.ru

- ЗАХАРОВ** кандидат технических наук, доцент кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, za54ar@gmail.com
Ариан Арианович
- ЗНОБИЩЕВ** преподаватель военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, my.perepiska@mail.ru
Роман Сергеевич
- ЗУБАКИН** старший преподаватель кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vzub2006@yandex.ru
Владимир Валентинович
- ИВАНОВ** полковник, кандидат военных наук, заместитель начальника кафедры боевого применения войск связи Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, wasj2006@yandex.ru
Василий Геннадьевич
- ИСАЧЕНКО** кандидат военных наук, доцент кафедры боевого применения войск связи Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, is-1313@mail.ru
Вячеслав Григорьевич
- КАЛИНИН** студент группы ИСТ-933 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ilias156@mail.ru
Илья Александрович
- КАРПЕНКО** преподаватель Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, malcevakvn@mail.ru
Петр Павлович
- КАТАСОНОВА** кандидат технических наук, доцент кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 1366katasonova@gmail.com
Галия Рузитовна
- КИРИК** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, d_i_kirik@mail.ru
Дмитрий Игоревич

- КОЗИНЦЕВА Дарья Ивановна аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dkozintseva@mail.ru
- КОЗЛОВ Сергей Викторович кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, kozlov_sv@mail.ru
- КОЗЫРЕВ Виталий Михайлович преподаватель кафедры общевойсковой подготовки военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kozyrev70@mail.ru
- КОКИН Сергей Алексеевич аспирант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergeikokins@gmail.com
- КОЛЕСОВА Ксения Михайловна курсант факультета автоматизированных систем управления Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, kseniyamihailovna@icloud.com
- КОНОВАЛОВ Александр Анатольевич кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского института «Прогноз» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ», al_an_kon@mail.ru
- КОПТЯЕВ Дмитрий Андреевич актёр ОАО «Киностудия «Ленфильм»»; студент группы 3734 Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, koptdmitrij@yandex.ru
- КОРОВИН Константин Олегович кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, konstkor@mail.ru
- КОРОТИН Владимир Евгеньевич кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vekorotin@gmail.com

- КОСИЦЫНА Татьяна Сергеевна ассистент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Kositsyna_ts@mail.ru
- КОТОВ Виктор Иванович кандидат технических наук, доцент кафедры управления и моделирования в социально-экономических системах Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kotov-vi@yandex.ru
- КРИГЕР Вадим Игоревич преподаватель кафедры общевойсковой подготовки военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vadim-kriger1974@yandex.ru
- КРИЦКИЙ Кирилл Олегович студент группы ИКТВ-84 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kriczkij1997@mail.ru
- КРОТОВ Роман Евгеньевич аспирант 2 года обучения кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ubl1cag@yandex.ru
- КРЮКОВ Владислав Анатольевич инженер кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, deil2005@mail.ru
- КРЮКОВА Елена Сергеевна адъюнкт (аспирант) кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, e.kkrukovaa69@yandex.ru
- КУАН Нгуен Ван аспирант кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ», quanvnhath@gmail.com
- КУБАЛОВА Анна Рудольфовна кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kubalovaap@mail.ru

- КУЗИН Павел Игоревич кандидат технических наук, преподаватель кафедры Военной академии Генерального штаба Вооруженных Сил республики Ангола, kuzik78@mail.ru
- КУЗЬМИН Сергей Викторович кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergey-v-kuzmin@yandex.ru
- КУЛИКОВ Сергей Павлович старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kulikovsp.rtrn@yandex.ru
- КУЛИНКОВИЧ Алексей Викторович кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, geochem@mail.ru
- КУРАНДА Александр Иванович преподаватель кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kuranda-ai@yandex.ru
- КУРБАТОВА Екатерина Антоновна студент группы РТ-01 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, hggbvuey@gmail.com
- ЛАШИН Юрий Федорович преподаватель кафедры общевойсковой подготовки военного учебного центра Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ylashin@yandex.ru
- ЛЕ Минь Хоанг аспирант кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ», lehoang.navy@gmail.com
- ЛЕПЕШКИН Олег Михайлович доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Института военно-технического образования и безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, lepechkin1@yandex.ru

- ЛИКОНЦЕВ кандидат технических наук, доцент кафедры радиосистем и обработки сигналов
Алексей Николаевич Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Likontsev-rts@mail.ru
- ЛОВЦЮС кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и моделирования в социально-экономических системах Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, lovcus@mail.ru
- ЛОГИНОВСКАЯ кандидат географических наук, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, aloginovskaja@bk.ru
- ЛОСЕВ студент группы ИСТ-131м, техник научно-образовательного центра «Медиацентр»
Арсений Павлович Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, aplosev@mail.ru
- ЛУЖКОВСКАЯ аспирантка кафедры телевидения и метрологии
Вероника Альгирдовна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, luzhkovskaja_v.a@mail.ru
- ЛУКАНИН преподаватель кафедры технического обеспечения Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний, 60_vava@mail.ru
- ЛУКЪЯНЧИК кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, kseniyamihailovna@icloud.com
- ЛЯЛИНА аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов
Анна Жановна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, lyalinanna@gmail.com
- МАКАРОВ кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, biopet@mail.ru

- МАКАРОВ Владимир Васильевич доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akad.makarov@mail.ru
- МАКАРОВ Андрей Иванович инженер Санкт-Петербургского предприятия Специализированное конструкторское бюро «Энергия», andivan2013@yandex.ru
- МАЛОФЕЕВ Валерий Александрович курсант Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, valeron12.1366@gmail.com
- МАЛЬЦЕВА Ольга Львовна кандидат военных наук, доцент факультета истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, malcevakvn@mail.ru
- МАМОНОВ Михаил Юрьевич соискатель по кафедре экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, radiofrequency@mail.ru
- МАНВЕЛОВА Наталья Евгеньевна кандидат технических наук, доцент кафедры экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, manvelova@inbox.ru
- МАРКЕЛОВ Олег Александрович кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова «ЛЭТИ», OAMarkelov@etu.ru
- МАРКОВА Любовь Васильевна аспирант группы 1104А-20 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ljubvblinva@mail.ru
- МАСЛАКОВ Михаил Леонидович кандидат технических наук, доцент кафедры медицинской радиоэлектроники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения; ведущий научный сотрудник акционерного общества «Российский институт мощного радиостроения», maslakovml@gmail.com

- МЕБОНИЯ** студентка группы РТ-81 Санкт-Петербургского
Маргарита Алексеевна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
margarita.meboniya@gmail.com
- МЕЖЕВОВ** ассистент кафедры радиосистем и обработки сигналов
Павел Александрович Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
mezhevov.pav@mail.ru
- МИХАЙЛИЧЕНКО** кандидат технических наук, преподаватель кафедры
Николай Валерьевич автоматизированных систем специального назначения
Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной
академии связи имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного,
23esn2008@rambler.ru
- МИХАЙЛИЧЕНКО** адъюнкт (аспирант) кафедры автоматизированных
Антон Валерьевич систем специального назначения Военной орденов
Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
antoxa9111603538@gmail.com
- МИШИНА** кандидат военных наук, доцент кафедры
Светлана Юрьевна Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной
академии связи имени Маршала Советского Союза
С. М. Буденного,
kuzik78@mail.ru
- МОЛЧАНОВ** студент группы Р-11м, редактор группы
Александр Павлович аудиотехнологий Научно-образовательного центра
«Медиацентр» Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
cach22a@yandex.ru
- МОРОЗОВ** кандидат технических наук, доцент Военной орденов
Александр Викторович Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
moroz19558@yandex.ru
- МОШКОВ** аспирант кафедры радиосвязи и вещания, инженер-
Виталий Валерьевич исследователь научно-образовательного центра
«Технологии информационных образовательных
систем» Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
setvit97ex@yandex.ru

- МОШНИНА студентка группы Р-02М Санкт-Петербургского
Анна Александровна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, moshnina_2017@mail.ru
- МУХИНА студентка группы РТ-82 Санкт-Петербургского
Ангелина Дмитриевна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, adm03250@gmail.com
- МЫШЬЯНОВ начальник Научно-образовательного центра
Сергей Васильевич «Технологии информационных образовательных
систем» Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
mishyanov@gmail.com
- НГУЕН кандидат технических наук, преподаватель кафедры
Хай Бинь радиосвязи Telecommunications University (университета
телекоммуникаций, г Нячанг, Вьетнама),
binhnguyen1987vn@gmail.com
- НЕВ студент группы РТ-82 Санкт-Петербургского
Даниил Артемович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
nevdaniil3112@gmail.com
- НЕСТЕРОВ магистрант группы РТ-02м Санкт-Петербургского
Алексей Андреевич государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
alyosha-nestor@yandex.ru
- НИКИТИН магистрант группы Р-12м Санкт-Петербургского
Игорь Александрович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
northsaren@ya.ru
- НОВАК начальник кафедры общевойсковой подготовки
Анатолий Вячеславович военного учебного центра Санкт-Петербургском
государственном университете телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
anatoly.novack@yandex.ru
- ОСИПОВА студентка группы РТ-11м Санкт-Петербургского
Вероника Анатольевна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
osipovaonline@mail.ru
- ОСТРОУМОВ кандидат технических наук, докторант Военной орденов
Олег Александрович Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи
имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
oleg-26stav@mail.ru

- ОСТРОУМОВ** Максим Александрович начальник отделения кафедры безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, coj@mail.ru
- ПАВЛОВА** Галина Геннадьевна старший преподаватель кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pgg06@rambler.ru
- ПАНИН** Роман Сергеевич адъюнкт Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, zzz822@mail.ru
- ПАНИХИДНИКОВ** Сергей Александрович кандидат военных наук, доцент, заведующий кафедрой экологической безопасности телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bjd-gyt@mail.ru
- ПАРАЦУК** Игорь Борисович доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, shchuk@rambler.ru
- ПЕРЕЛЫГИН** Сергей Васильевич кандидат технических наук, доцент кафедры аудиовизуальных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, sergey.pereLygin@gmail.com
- ПЕТРУНИН** Дмитрий Владимирович начальник цикла – старший преподаватель военного учебного центра Южного федерального университета, petrunin@sfedu.ru
- ПОЛЯКОВ** Сергей Владимирович слушатель 401-1 учебной группы 4 факультета (командного) Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, 04061985polyak@rambler.ru
- 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

- ПРОТАСЕНЯ** кандидат технических наук, доцент кафедры
Сергей Витальевич конструирования и производства радиоэлектронных
средств Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
saitvodabur@yandex.ru
- ПРОЦЕНКО** кандидат технических наук, профессор кафедры
Михаил Сергеевич радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи
военного учебного центра при Санкт-Петербургском
государственном университете телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
protsenkoms@gmail.com
- ПУРШЕЛЬ** инженер кафедры радиосистем и обработки сигналов,
Валерия Викторовна студент группы РТ-1 м Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
valeriya-purshel@yandex.ru
- ПУТИЛИН** доктор технических наук, профессор, главный научный
Алексей Николаевич сотрудник научно-технического центра
ПАО «Интелтех», zzz822@mail.ru
- ПЫЛАЕВ** магистрант группы Р-02М Санкт-Петербургского
Михаил Дмитриевич государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
inquisitivemen@gmail.com
- РАЗМЫСЛОВА** магистрант группы РТ-01 м Санкт-Петербургского
Валерия Андреевна государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
rena.cake.kato@gmail.com
- РЕБЕНКО** студент кафедры экологической безопасности
Георгий Дмитриевич телекоммуникаций Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
zhoranchik98@yandex.ru
- РЕКИЧИНСКИЙ** студент группы Р-01М Санкт-Петербургского
Антон Владимирович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Anton31998@gmail.com
- РОГОЗИНСКИЙ** доктор технических наук, доцент, доцент кафедры
Глеб Гендрихович информатики и компьютерного дизайна
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
начальник НОЦ «Медиацентр»,
gleb.rogozinsky@gmail.com

- РОЖКОВ Дмитрий Александрович сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, sda33@academ.msk.rsnnet.ru
- РОЩИНСКИЙ Роман Сергеевич студент группы РМ-82 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, roman281099@mail.ru
- РЫБАКОВ Алексей Игоревич ассистент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, lexeus.r11@gmail.com
- РЫЖИКОВА Татьяна Аркадьевна старший преподаватель кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, t.rigikova@yandex.ru
- РЫЛОВ Евгений Александрович генеральный директор АО «Проектно-конструкторское бюро «РИО», rylov79@mail.ru
- РЮТИН Константин Евгеньевич студент группы РМ-81 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ryutin.sut@gmail.com
- РЯБИКОВ Дмитрий Сергеевич студент группы РМ-82 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dimas3067@mail.ru
- САГДЕЕВ Александр Константинович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, brother-aks@yandex.ru
- САЗОНОВ Александр Михайлович студент группы Р-02М Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, alexxsaz@mail.ru
- САЗОНОВ Виктор Викторович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, 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
- САПОЖНИКОВ
Герман Никифорович кандидат технических наук, доцент кафедры экономики связи Уральский технический институт связи и информатики (филиал) ФГОБУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ),
sgn1941@rambler.ru
- САУЛЕНКО
Евгений Павлович студент группы ФП-81 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича; техник акционерного общества «Российский институт мощного радиостроения», evgeniisaulenko@gmail.com
- СВЕЧНИКОВ
Дмитрий Александрович кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, sda33@academ.msk.rsnet.ru
- СВИРИДОВ
Алексей Алексеевич студент группы ИКТВ-82 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, alexeypocht@mail.ru
- СЕЛЕЗНЕВ
Андрей Васильевич кандидат технических наук, начальник отдела военно-технической информации Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
andrsel@mail.ru
- СИДОРЕНКО
Евгений Николаевич старший преподаватель кафедры общевойсковой подготовки военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
evgen42msd@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@spbgut.ru
- СИРКО
Николай Николаевич адъюнкт Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
radistgraviy@inbox.ru

- СЛЮСАРЬ** Вадим Александрович начальник учебной части-заместитель начальника военного учебного центра Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sensei-7777_7777@mail.ru
- 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** Кристина Геннадиевна студент группы Р-02м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, k.smirnova.g@gmail.com
- СОЗИНОВА** Мария Владимировна аспирант кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sim-maria@mail.ru
- СОЛОМКО** Юлия Сергеевна аспирант кафедры Бизнес информатика Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 1366katasonova@gmail.com
- СОТНИКОВ** Александр Дмитриевич доктор технических наук, доцент, декан факультета цифровой экономики, управления и бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, adsotnikov@mail.ru
- СТАРИКОВ** Дмитрий Алексеевич заместитель начальника факультета Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, 60_vava@mail.ru
- СТАРКОВА** Татьяна Николаевна старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tania_starkova@bk.ru
- СТАХЕЕВ** Иван Геннадиевич кандидат технических наук, доцент базовой кафедры специальных средств связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kisasig@yandex.ru

- СТЕПАНЕНКО** кандидат технических наук, доцент кафедры
Александр Александрович «Экономики и менеджмента инфокоммуникаций»
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
vip.saa2005@mail.ru
- СТЕПАНЕЦ** соискатель по кафедре конструирования и производства
Ирина Валерьевна радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
stepanets.irina@gmail.com
- СТЕПАНОВ** кандидат технических наук, заместитель директора
Андрей Борисович института магистратуры по учебной работе, доцент
кафедры радиосистем и обработки сигналов
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
sabarticle@yandex.ru
- СТЕПИЧЕВ** студент группы Р-02М Санкт-Петербургского
Артём Сергеевич государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
sastepichev1998@gmail.com
- СТЕПУТИН** кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи
Антон Николаевич и вещания Санкт-Петербургского государственного
университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, put_in@list.ru
- СТРИГИНА** старший преподаватель кафедры бизнес информатика»
Елена Владимировна Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
1366katasonova@gmail.com
- СУКАЧЁВ** преподаватель, Военной орденов Жукова и Ленина
Виктор Николаевич Краснознаменной академии связи имени Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
svn_46@mail.ru
- СУНДУКОВ** курсант Военной орденов Жукова и Ленина
Вячеслав Алексеевич Краснознаменной академии связи имени Маршала
Советского Союза С. М. Буденного,
slava.sundukov.2014@mail.ru
- СУХИХ** кандидат философских наук, доцент кафедры экономики
Никита Иванович связи Уральского технического института связи и
информатики (филиала) ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный университет телекоммуникаций и
информатики» в городе Екатеринбурге (УрТИСИ
СибГУТИ), cuxex@ya.ru

- ТАТАРЕНКОВ Дмитрий Александрович старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, duferob@gmail.com
- ТЕВС Олег Павлович кандидат военных наук, доцент кафедры боевого применения войск связи Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, tevsoleg@rambler.ru
- ТИТОВ Владимир Степанович кандидат технических наук, доцент, доцент Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, zzz822@mail.ru
- ТИТОВА Ольга Викторовна кандидат технических наук, доцент базовой кафедры специальных средств связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, olga1110.spb@mail.ru
- ТОКАРЕВ Илья Михайлович курсант автоматизированных систем управления Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, ilyshingrad@mail.ru
- ТУМАНОВА Евгения Ивановна кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tumanova.ei@net.sut.ru
- УКРАИНСКИЙ Олег Владимирович кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, oleg.ukrainskiy@gmail.com
- УШКОВА Ирина Геннадьевна студентка группы РМ-82 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ushkova.irina2015@yandex.ru
- ФЕДОРОВ Андрей Сергеевич магистрант кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, as.fdrv@bk.ru

ФЕДОРОВ кандидат технических наук, доцент, заведующий
Сергей Леонидович кафедры телевидения и метрологии
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
sergf7@mail.ru

ФЕДОРОВ начальник научно-технического центра разработки
Александр Владимирович и тестирования инфокоммуникационных систем
и средств измерений Санкт-Петербургского филиала
«Ленинградское отделение центрального
научно-исследовательского института связи»
Федерального государственного унитарного
предприятия «Центральный
научно-исследовательский
институт связи», fav2k@yandex.ru

ФЁДОРОВА старший преподаватель кафедры экономики
Марина Юрьевна и менеджмента инфокоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
m.fedorova@gmail.com

ФОКИН доктор технических наук, доцент, доцент кафедры
Григорий Алексеевич радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
grihafokin@gmail.com

ФРЕЙМАН преподаватель кафедры управления и моделирования
Максим Рудольфович в социально-экономических системах
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
maksim.freyman@me.com

ХАЛЕПА доцент кафедры общевойсковой подготовки военного
Сергей Леонидович учебного центра Санкт-Петербургского
государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
s.halepa@mail.ru

ХОРЕВ магистрант группы Р-02М Санкт-Петербургского
Тимофей Андреевич государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
inquisitivemen@gmail.com

ХРЕНОВ студент группы РТ-81 Санкт-Петербургского
Андрей Александрович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
knerov00@yandex.ru

- ХРИПУНОВ Евгений Владимирович магистрант группы РТ-02м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, hripunov.evgeny@gmail.com
- ЦАРИК Владимир Игоревич ведущий инженер ООО "Эйртэго", wladimirzarik@mail.ru
- ЦВЕТКОВ Дмитрий Алексеевич студент группы РТ-91 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, mitya.tsvetkov.1@mail.ru
- ЦЫГАНОВ Даниил Семёнович старший оператор 7 роты (научной) Главного управления Связи Вооруженных Сил Российской Федерации, vas@mil.ru
- ЧАПУРИН Евгений Николаевич кандидат технических наук, преподаватель Военной академии Генерального штаба ВС РФ, kuzik78@mail.ru
- ЧЕРВИНКО Евгений Игоревич студент группы РТ-82, техник научно-образовательного центра «Технологии информационных образовательных систем» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, proleaveprod@gmail.com
- ЧЕРНЫШЕВ Аркадий Витальевич курсант 2741 учебной группы 2 факультета (многоканальных телекоммуникационных систем) Военной орденов Жукова и Ленина Краснознаменной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Chernyshev.arcady@gmail.com
- ШАЛАЕВА Мария Евгеньевна магистрант группы РТ-02м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shalaeva98@bk.ru
- ШАНДРОВСКИЙ Александр Сергеевич студент группы ИКТВ-02 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, stud.alex_shandr@mail.ru
- ШЕЙКО Дмитрий Алексеевич инженер ПТО ООО ТехноТерра, dimsheiko@mail.ru
- ШОРОХОВ Егор Георгиевич сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, 9_egor_9@mail.ru

ШТЕЙН кандидат педагогических наук, доцент кафедры
Борис Моисеевич аудиовизуальных систем и технологий
Санкт-Петербургского государственного института
кино и телевидения,
bomos@yandex.ru

ЩЕРБАКОВ кандидат технических наук, доцент кафедры
Игорь Борисович экономики и менеджмента инфокоммуникаций
Санкт-Петербургского государственного университета
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
sib8@yandex.ru

ЮРАКОВ студент группы Р-11м Санкт-Петербургского
Дмитрий Михайлович государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
dmitry.yurackov@yandex.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Александров А. М. 5, 9
Андреев Р. А. 13, 17
Андропов А. В. 22
Анисимов В. В. 407
Арзуманян Ю. В. 552, 557

Б

Бабанов И. А. 26, 32
Бабин Н. Н. 36
Барышев О. С. 41
Башкинцева М. В. 411
Башкирцев А. С. 419
Башлаков П. В. 46
Беляев Д. Л. 423, 427
Беляева Н. Н. 51
Блатова Т. А. 561
Боголепов Г. С. 431
Бойко И. А. 56
Буняк Г. А. 61
Бухарин А. В. 66
Бучатский А. Н. 71, 76

В

Ванюгин Д. С. 437
Васильев Н. А. 80
Васильев Д. Н. 442
Васильева Н. Н. 567
Величко В. М. 445
Верединский С. Ю. 573
Веремьев В. И. 85
Вересов В. Д. 91
Виноградов П. Ю. 94
Виноградова Н. А. 100
Владыко А. Г. 103, 108
Вольфсон М. Б. 557, 578
Воробьев Е. Н. 85
Воробьев О. В. 32, 114
Вьюгов С. Г. 450
Вяльшин Э. С. 118

Г

Гаврющенко А. П. 454
Гизатулин Д. Д. 124
Глушанков Е. И. 124, 129, 132, 135,
139, 144, 149, 154

Глушко А. В. 437, 457

Годына В. С. 157
Головинов О. В. 5, 9
Гонтарь Д. Н. 461
Гордийчук Р. В. 442
Горобцов И. А. 162
Греков К. Б. 100
Григорчук А. Н. 457, 465, 470, 474, 479
Григорьев М. Н. 169
Гриднев В. А. 437
Гузева Е. Д. 173
Гуминский О. А. 178

Д

Дадаев И. И. 423
Дао В. Л. 184
Демченко Л. А. 189
Денисов А. В. 194
Дёшина Н. О. 197, 202
Дмитриева В. В. 61
Добровольский С. Л. 465, 470, 474, 479,
483

Дробяскин А. Н. 483

Дуклау В. В. 51

Е

Егорова М. А. 583
Елистратова А. Р. 206
Ермолаев Д. А. 210

З

Забело А. Н. 488
Запека В. Г. 493
Захаров А. А. 557
Знобищев Р. С. 457
Зубакин В. В. 497

И

Иванов В. Г. 502
Исаченко В. Г. 508, 514

К

Калинин И. А. 210, 214
Карпенко П. П. 411
Катасонова Г. Р. 557, 589
Кирик Д. И. 162
Козинцева Д. И. 219
Козлов С. В. 450

- Козырев В. М. 520
Кокин С. А. 114
Колесова К. М. 502
Коновалов А. А. 184
Коптяев Д. А. 224
Коровин К. О. 230
Коротин В. Е. 235, 240
Косицына Т. С. 162
Котов В. И. 583, 594
Кригер В. И. 525
Крицкий К. О. 493
Кротов Р. Е. 245
Крюков В. А. 250
Крюкова Е. С. 419
Куан Н. В. 85
Кубалова А. Р. 197, 202
Кузин П. И. 46, 66
Кузьмин С. В. 22
Куликов С. П. 252
Кулинкович А. В. 210, 214
Куранда А. И. 454, 465, 470, 474
Курбатова Е. А. 129
- Л**
Лашин Ю. Ф. 520
Ле М. Х. 184
Лепешкин О. М. 407
Ликонцев А. Н. 257, 263, 268
Ловцюс В. В. 600
Логоиновская А. Н. 273
Лосев А. П. 277
Лужковская В. А. 282
Луканин В. В. 46
Лукьянчик В. Н. 502
Лялина А. Ж. 285
- М**
Макаров А. И. 5
Макаров В. В. 561, 573, 605, 609
Макаров Л. М. 290
Малофеев В. А. 530
Мальцева О. Л. 411
Мамонов М. Ю. 573
Манвелова Н. Е. 206, 295
Маркелов О. А. 85
Маркова Л. В. 300
Маслаков М. Л.
Мебония М. А. 129
Межевов П. А. 307
Михайличенко Н. В. 419
Михайличенко А. В. 431
Мишина С. Ю. 66
- Молчанов А. П. 250
Морозов А. В. 525
Мошков В. В. 114, 194
Мошнина А. А. 240
Мухина А. Д. 307
Мышьянов С. В. 178
- Н**
Нгуен Х. Б. 488
Нев Д. А. 257
Нестеров А. А. 313
Никитин И. А. 319
Новак А. В. 520
- О**
Осипова В. А. 263
Остроумов О. А. 407
Остроумов М. А. 407
- П**
Павлова Г. Г. 324
Панин Р. С. 535
Панихидников С. А. 214
Паращук И. Б. 419, 431, 530
Перельгин С. В. 157, 224
Петрунин Д. В. 461
Поляков С. В. 508
Прасолов А. А. 13, 17
Протасеня С. В. 290
Проценко М. С. 445, 540
Пуршель В. В. 132, 135
Путилин А. Н. 535
Пылаев М. Д. 103
- Р**
Размыслова В. А. 139
Ребенко Г. Д. 295
Рекичинский А. В. 71
Рогозинский Г. Г. 277
Рожков Д. А. 543
Рошинский Р. С. 329
Рыбаков А. И. 245
Рыжикова Т. А. 197, 202
Рылов Е. А. 124, 334
Рютин К. Е. 339
Рябиков Д. С. 344
- С**
Сагдеев А. К. 442, 445, 457, 465,
479, 483, 540
Сазонов А. М. 94
Сазонов В. В. 497
Самаркин Д. С. 470, 483, 540
Сапожников Г. Н. 613
Сауленко Е. П. 194

Свечников Д. А. 543
Свиридов А. А. 124
Селезнев А. В. 431
Сидоренко Е. Н. 445, 474, 540
Симонина О. А. 313
Сирко Н. Н. 525
Слюсарь В. А. 442
Смаглиенко Т. Г. 51
Смирнова К. Г. 350, 355, 360
Созинова М. В. 365
Соломко Ю. С. 589
Сотников А. Д. 557, 589
Стариков Д. А. 46
Старкова Т. Н. 605
Стахеев И. Г. 461
Степаненко А. А. 567
Степанец И. В. 371
Степанов А. Б. 376
Степичев А. С. 381
Степутин А. Н. 381
Стригина Е. В. 589
Сукачѳв В. Н. 479
Сундуков В. А. 530
Сухих Н. И. 618
Т
Татаренков Д. А. 76, 387, 392
Тевс О. П. 508, 514, 547
Титов В. С. 535
Титова О. В. 461
Токарев И. М. 497
Туманова Е. И. 169, 252
У
Украинский О. В. 9, 51, 118, 397
Ушкова И. Г. 401

Ф
Федоров А. В. 561
Федоров А. С. 13, 17
Федоров С. Л. 51, 91, 219, 252, 282
Фѳedoraва М. Ю. 609
Фокин Г. А. 41, 103, 108, 319, 329, 339,
344, 350, 355, 360, 401
Фрейман М. Р. 600
Х
Халепа С. Л. 525
Хорев Т. А. 108
Хренов А. А. 144
Хрипунов Е. В. 313
Ц
Царик В. И. 149
Цветков Д. А. 154
Цыганов Д. С. 80
Ч
Чапурин Е. Н. 66
Червинко Е. И. 268
Чернышев А. В. 547
Ш
Шалаева М. Е. 313
Шандровский А. С. 230
Шейко Д. А. 273
Шорохов Е. Г. 427
Штейн Б. М. 157
Щ
Щербаков И. Б. 622
Ю
Юраков Д. М. 194



СПб ГУТ)))

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

