

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**СИСТЕМЫ синхронизации,
формирования и обработки
сигналов**

№4-2024 год

Главный редактор

Пестряков Александр Валентинович,

*д.т.н., профессор, зав. кафедрой Радиооборудование и Схемотехника,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Редколлегия:

Дмитриев Александр Сергеевич,

*д.ф.-м.н., профессор, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Россия*

Казаков Леонид Николаевич,

*д.т.н., профессор, зав. кафедрой Радиотехнических систем, Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия*

Карякин Владимир Леонидович,

*д.т.н., профессор, Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, Самара, Россия*

Рыжков Анатолий Васильевич,

*д.т.н., главный научный сотрудник, профессор, Московский технический университет
связи и информатики, Москва, Россия*

Строганова Елена Петровна,

*д.т.н., профессор, Начальник Испытательной лаборатории средств связи и вещания,
Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия*

Учредитель:

ООО «ИД Медиа Паблшер»

Номер подписан в печать 15.06.2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Мубитанг А., Сидоров К.М., Юшкевич У.К. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ ОЦЕНКА СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ	4
Селиванов В.А., Кудряшов В.В., Григорьева Ю. ВЫЯВЛЕНИЕ РИТМИЧЕСКОЙ (ДИНАМИЧЕСКОЙ) СТРУКТУРЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ	8
Стельмах Э.П. МОДЕЛЬ ЛЕСТНИЧНОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДА	19
Фам Хонг Шанг, Сидоров К.М. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	25
Шорин П.В., Ларин А.И. ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОТ УСТРОЙСТВ В СЕТИ 5G С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NETWORK SLICING	29
Яковенко Н.В., Гадасин Д.В., Коцич Лазарь ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ	35

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ ОЦЕНКА СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ ДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ

Мубитанг Альфонс,
МАДИ, аспирант, Москва, Россия
moubitangalphonse@gmail.com

Сидоров Кирилл Михайлович,
МАДИ, канд. техн. наук, доц., Москва, Россия

Юшкевич Устинья Кирилловна,
МАДИ, аспирант, Москва, Россия

Аннотация

В статье представлены основные функциональные и параметрические характеристики электрических зарядных станций постоянного тока, проверяемые согласно действующим нормативным документам. Представлена структурная схема многофункционального диагностического комплекса для электрических зарядных станций постоянного тока, предназначенного для осуществления комплексных испытаний и оценки работоспособности зарядных устройств.

Ключевые слова: *электрический транспорт, электрическая зарядная станция, испытания, диагностирование, измерения.*

Введение

Системы электропитания являются составной частью любого радиооборудования: спутникового [6], интернета вещей [7], навигационного [8-9], радиоприемного [10-11], радиопередающего [12], измерительного [13], для сетей цифрового телерадиовещания [14-18] и их основных усилительных блоков [19-26]. Проведенный в соответствии с [27-33] наукометрический анализ литературы по данному направлению показал, что в настоящее время большинство преобразователей использует принципы широтно-импульсной модуляции [34-38].

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли электрических транспортных средств (ЭТ) в общем автопарке, в том числе электромобилей, электробусов, электрических средств индивидуальной мобильности. На фоне роста продаж ЭТ возрастает потребность в надёжных, эффективных и мощных электрических зарядных станциях (ЭЗС). Важными задачами в области зарядной инфраструктуры (ЗИ) являются комплексная оценка характеристик, а также проверка соответствия ЭЗС действующим стандартам и совместимости с электромобилями различных производителей. Если последнее актуально перед вводом ЭЗС в эксплуатацию, то другая задача касается непосредственно процесса эксплуатации и состоит в контроле состояния и диагностировании неисправностей ЭЗС. Современные электрические зарядные станции должны удовлетворять требованиям нескольких стандартов, причем наиболее требовательные из них касаются ЭЗС постоянного тока (ПТ). В данной работе приводятся ключевые показатели и характеристики, регламентирующие функциональность и технические возможности ЭЗС ПТ согласно одному из ключевых стандартов применимых к зарядным станциям указанного типа. Вместе с этим в статье раскрывается структура предлагаемого решения в части многофункционального диагностического комплекса (МДК) для ЭЗС ПТ.

Структурная схема МДК для ЭЗС

Комплексные испытания и диагностирование неисправных ЭЗС являются важными задачами в области зарядной инфраструктуры. Техническим обеспечением выполнения проверок на соответствие требованиям стандартов (в том числе в рамках сертификационных испытаний), приемо-сдаточных испытаний и диагностирования ЭЗС во время технического обслуживания и ремонта могут выступать специализированные многофункциональные диагностические комплексы. Актуальность создания таких устройств подтверждается проводимыми в данной области работами [1-4].

Основное назначение МДК – измерение, регистрация и последующий анализ функциональных и параметрических характеристик ЭЭС. В состав предлагаемого в рамках настоящей работы МДК входят: датчики тока, датчики напряжения, силовые контакторы, измерительный преобразователь напряжения, зарядные коннекторы, устройства защиты, устройства диагностики. На рисунке 1 представлена структурная схема МДК для ЭЭС.

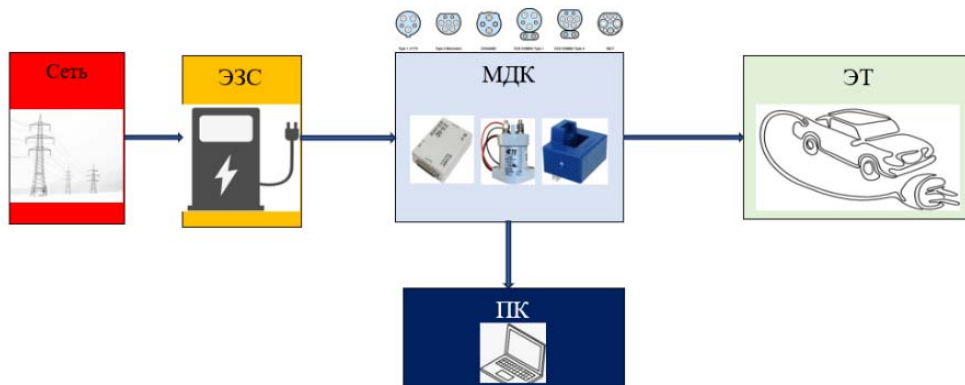


Рис. 1. Структурная схема многофункционального диагностического комплекса:
ЭЭС – электрическая зарядная станция; МДК – многофункциональный диагностический комплекс;
ПК – персональный компьютер; ЭТ – электрическое транспортное средство

Функции ЭЭС согласно стандарту IEC 61851-23

Одной из главных функций МДК является техническое обеспечение комплексных испытаний, в том числе прямо-сдаточных, сравнительных, сертификационных и других. Перед вводом в эксплуатацию ЭЭС должны быть проверены на соответствие требованиям нескольких стандартов, среди которых IEC 61851-23. Данный документ применяется к электрическому оборудованию ЭТ для обеспечения передачи энергии между ЭЭС и ЭТ с напряжением до 1000 В переменного тока или до 1500 В постоянного тока на стороне ЭЭС и напряжением до 1500 В на стороне ЭТ. Согласно данному стандарту ЭЭС должны иметь следующие функции [5]:

- проверка правильности подключения ЭТ;
- определение необходимости обеспечения вентиляции в зоне заряда ЭТ;
- проверка целостности защитного соединения между ЭЭС и ЭТ;
- измерение значений напряжения и тока в процессе заряда;
- проверка совместимости ЭЭС и ЭТ;
- защита от перенапряжения тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ);
- проверка напряжения при подключении ЭТ;
- проверка на разрыв цепи питания системы управления;
- проверка возможности завершения процесса заряда по инициативе пользователя.

Показатели при проверке требований согласно IEC 61851-23

В таблице 1 представлены показатели, которые проверяются в ходе комплексных испытаний согласно IEC 61851-23 [5].

Таблица 1

Перечень оцениваемых показателей и требования к ним согласно IEC 61851-23

Наименование проверяемого показателя	Значение
Время аварийного отключения ЭЭС при обрыве защитного проводника между ЭЭС и ТС, с	10 с
Защитное отключение ЭЭС по критерию сопротивления изоляции, Ом	$R \geq 100 \text{ Ом/В} \cdot U$
Величина пульсации зарядного тока при соответствующей частоте, А	1,5 ($f \leq 10 \text{ Гц}$)
	6 ($f \leq 5000 \text{ Гц}$)
	9 ($f \leq 150 \text{ кГц}$)

Напряжение при блокировке коннектора, В	> 60
Время отключения ЭЗС после снятия блокировки коннектора, с	1
Величина пульсации выходного напряжения, В	±5
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мс	≤ 20
Скорость нарастания зарядного тока, А/с	20
Скорость снижения зарядного тока, А/с	100, 200
Скорость нарастания выходного напряжения в случае резкого сброса нагрузки, В/мс	≤ 250

Заключение

Распространение, эффективность и удобство эксплуатации электрических транспортных средств зависит от дальнейшего развития зарядной инфраструктуры, к которой начинают предъявляться всё более жесткие требования в части реализуемой мощности, универсальности, надежности и безопасности. Очевидно, что вопрос обязательной сертификации ЭЗС также не заставит себя долго ждать. В этой связи актуализируются задачи, связанные с осуществлением комплексных испытаний ЭЗС перед вводом в эксплуатацию, а также диагностирования неисправностей в процессе такой эксплуатации. В составе технических средств для решения указанных задач целесообразным является использование специализированных МДК, что позволит не только облегчить процессы проведения испытаний ЭЗС, но и сократить время технической диагностики в различных ситуациях.

Литература

1. *Rask E., Harper J., Dobrzynski D.* DC Charging Safety Evaluation Procedure Development, Validation, And Assessment, and Preliminary Draft AC Charging Evaluation Procedure // Report No. DOT HS 812 754. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2019. DOI 10.21949/1530152.
2. IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles // IEEE Std 2030.1.1-2015. 2016. P. 1-97. DOI 10.1109/IEEESTD.2016.7400449.
3. *Karanam V., Tal G.* Developing a Deep Learning Tool to Detect Electric Vehicle Supply Equipment Failures // 36th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS36), Sacramento, California, USA, June 11-14, 2023. 2023, pp. 1-12.
4. *Grcić I., Pandžić H., Šunde V.* Electric vehicle charging station fault detection: a machine learning approach // CIRED Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems, Porto, Portugal. 2022, pp. 745-749. DOI 10.1049/icp.2022.0810.
5. IEC 61851-23. Electric Vehicle Conductor Charging System - Part 23: D.C electric vehicle charging station - Std. & Spec. Geneva: IEC, 2014. 78 p.
6. *Pastukh A., Tikhvinskiy V., Dymkova S.S., Varlamov O.V.* Challenges of using the L-band and S-band for direct-to-cellular satellite 5G-6G NTN systems // Technologies. 2023. Т. 11. № 4. С. 110.
7. *Дымкова С.С.* Облачные ИОТ платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 4. С. 39-50.
8. *Dymkova S.S.* Earth observation and global navigation satellite systems analytical report part I (aviation and space) // Synchroinfo Journal. 2022. Т. 8. № 1. С. 30-41.
9. *Dymkova S.S., Dymkov A.D.* Multifactorial methodology of cycling routes time calculation based on 3D maps // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416046.
10. *Варламов О.В.* Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 39-42.
11. *Пестряков А.В., Дымкова С.С.* Синхронизация. Итоги 50-ти лет развития в СССР и России // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 11. С. 27-34.
12. *Варламов О.В.* Максимальная мощность коммутируемого р-и-п диодами антенно-согласующего устройства диапазона ВЧ при рассогласовании нагрузки // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 10. С. 26-32.
13. *Варламов О.В., Лаврушенко В.Г.* Критерии качества передающего устройства для стандарта DRM и измерительное оборудование // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2004. № 3. С. 44-48.
14. *Варламов О.В.* Организация одночастотных сетей цифрового радиовещания стандарта DRM. Особенности и результаты практических испытаний // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 11. С. 4-20.
15. *Dolgopyatova A.V., Varlamov O.V.* Analysis of long-range VHF radio waves propagation to specify protection ratios between coexisting DRM+, RAVIS and IBOC systems // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings. 2021. С. 9488392.
16. *Варламов О.В.* Исследование цифрового радиовещания DRM в диапазоне СВ в зоне фединга // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 2. С. 41-45.

17. Варламов О.В. Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 1. С. 32-38.
18. Варламов О.В., Варламов В.О., Долгопятова А.В. Международная сеть DRM вещания для создания информационного поля в Арктике // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 9-16.
19. Долгопятова А.В., Варламов О.В. Интермодуляционные искажения в ключевых генераторах класса D с резистивной нагрузкой в режимах с переключением тока и мостовом // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 3. С. 4-13.
20. Varlamov O.V. Theoretical approach to calculating reverse intermodulation distortion in voltage mode class D RF power amplifiers // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings. 2022.
21. Варламов О.В. Интермодуляционные искажения в ключевых генераторах класса D с резистивной нагрузкой в режиме переключения напряжения // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 10. С. 4-11.
22. Нгуен Д.К., Варламов О.В. Имитационная модель для исследования работы ключевых ВЧ-усилителей мощности с раздельным усилением составляющих на узкополосную нагрузку // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 2. С. 10-18.
23. Нгуен Д.К., Варламов О.В. Зависимость уровня искажений выходного сигнала передатчика современных телекоммуникационных сигналов с разделением составляющих от параметров фильтра тракта огибающей // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 2. С. 12-26.
24. Варламов О.В. Построение мощных широкополосных усилителей постоянного тока модуляционного тракта передатчиков с раздельным усилением составляющих // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 11. С. 4-14.
25. Варламов О.В., Нгуен Д.К., Грычкин С.Е. Комбинирование синтетических методов высокоэффективного высокочастотного усиления // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 9. С. 11-16.
26. Varlamov O., Nguyen D.C., Grebennikov A. Broadband and efficient envelope amplifier for envelope elimination and restoration/envelope tracking higher-efficiency power amplifiers // Sensors. 2022. Т. 22. № 23. С. 9173.
27. Варламов О.В., Дымкова С.С., Городиллина М.В. Авторские профили в наукометрических базах данных // Учебно-методическое пособие / Москва, 2020.
28. Dumkova S. Collaboration enhancing between industry staff and university researchers in international scientific communications system // В сборнике: International Conference on Engineering Management of Communication and Technology. New York, 2022. С. 51-57.
29. Дымкова С.С. Наукометрический анализ научных коллабораций // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2023. Т. 12. № 4. С. 30-39.
30. Дымкова С.С. Повышение эффективности функционирования информационных систем и процессов в высшей школе // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2017. Т. 6. № 2. С. 45-48.
31. Лернер И.М., Карелина Е.А., Григорьев С.Г., Байков Ф.Ю., Дымкова С.С., Ильин В.И. Модель отбора информационных ресурсов на базе теории поколений, наукометрии и факторной методики исследования личности как инструмент развития глобальных цифровых платформ // Научные и технические библиотеки. 2024. № 1. С. 15-50.
32. Лернер И.М., Байков Ф.Ю., Карелина Е.А., Григорьев С.Г., Сычев А.С., Дымкова С.С. Построение типичных профилей обучаемых поколения z для повышения качества образовательного процесса // Информатика и образование. 2023. Т. 38. № 6. С. 5-13.
33. Дымкова С.С. Разработка программы учебной дисциплины "основы научной коммуникации" по специальности "системный анализ и обработка информации" // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2022. Т. 11. № 4. С. 36-42.
34. Грычкин С.Е., Захаров А.М., Варламов О.В. Методика расчета КПД ШИМ модулятора на GAN FET транзисторах // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 9. С. 19-27.
35. Varlamov O.V. Multiphase PWM characteristics in the EER transmitter envelope path // 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2021 - Proceedings. 2021. С. 9619166.
36. Nguyen D.C., Gromorushkin V.N., Varlamov O.V. Theoretical comparison of different envelope elimination and restoration transmitter PWM modulator configurations to expand the possible antenna mismatch // Sensors. 2023. Т. 23. № 23. С. 9466.
37. Грычкин С.Е., Захаров А.М., Варламов О.В. Методика расчета КПД ШИМ модулятора на GAN FET транзисторах // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 9. С. 19-27.
38. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А., Карякин В.Л., Петров В.А., Федосеева В.Н., Пестряков А.В., Акимов В.Н. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации // (2-е издание, переработанное и дополненное) Москва, 1989.

ВЫЯВЛЕНИЕ РИТМИЧЕСКОЙ (ДИНАМИЧЕСКОЙ) СТРУКТУРЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Селиванов Владимир Арнольдович,

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ) к.т.н, доцент,
Москва, Россия*

selivanovctc@gmail.com

Кудряшов Всеволод Владимирович,

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ) ассистент каф. ТиЗВ,
Москва, Россия*

v.v.kudryashov@mtuci.ru

Григорьева Юлия,

*Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ) магистрант каф. ТиЗВ,
Москва, Россия*

juuliiiaaaaaaii@gmail.com

Аннотация

Частичная иллюзия глубины пространства, возникающая при наблюдении плоских изображений у современного наблюдателя, сформировавшегося в телевизионной парадигме плоскостного отображения реальности, естественна и мгновенна, в то время как возникновение полной иллюзии при наблюдении стереопары требует от наблюдателя заметных психических усилий и времени. Опыт создания технических средств ориентирования в пространстве на основании сравнения двух плоских изображений, подсказывает нам простые вычислительные процедуры для расчета глубины (расстояния) объективного евклидова пространства, в качестве метрической единицы которого выступает межзрачковое расстояние. Однако перцептивное пространство отлично от евклидова пространства и обладает иной метрикой, хотя существует по крайней мере одностороннее почти однозначное отображение второго в первое, коль скоро при посредстве зрения человек совершает точные локомоции. Наша готовность видеть трехмерное пространство за плоскостью, на которую оно спроецировано связано в первую очередь с реалистическими и узнаваемыми объектами. Но какова связь между известными монокулярными признаками глубины и мерой расстояния зрительного пространства? Возможная подсказка ответа может быть обнаружена в плоских изображениях предельно искусственного характера художественной супрематической школы.

Ключевые слова: *человеко-машинные интерфейсы, сетчаточное изображение, зрительное пространство, траектория воображаемого движения, проективные искажения, монокулярные признаки, пространственный ритм, константность формы, самоподобие, супрематизм.*

Введение

Наш зрительный мир, данный нам в ощущениях, столь совершенен, что в естественной среде обитания не возникает повода усомниться в том, что видимый мир является точным отображением физического мира. С другой стороны, психофизическая модель окружающего пространства, отражающая многообразие физического мира формируется у нескольких последних поколений современного человека, в том числе и на довлеющем опыте восприятия плоских изображений, в первую очередь (по количеству часов наблюдения) телевизионных, в которых нарушена геометрия трехмерного пространства. Тем не менее, мы не наблюдаем угасания способностей к локомоции, требующих зрительного контроля. Скорее напротив, непрерывно возрастают динамические характеристики технически сложных видов спорта (теннис, горные лыжи и пр.), ставших элементами массовой физической культуры, увеличиваются скорости индивидуальных транспортных средств (велосипеды, автомобили, самолеты), возрастают скорости перемещения управляемых человеком объектов, например дронов. Эти свидетельства адаптационных возможностей зрительного восприятия косвенно свидетельствуют об устойчивости базовых механизмов оценки глубины физического пространства, наследуемых генетически. Эти механизмы обеспечивают непрерывное вычленение специфической информации из пространства непосредственного зрительного восприятия, формируемого ощущениями вызываемые появлением сетчаточного образа – электрофизического ответа сетчатки на оптический стимул.

С пространством непосредственного зрительного восприятия традиционно отождествляются когнитивные процессы изучения, распознавания, классификации образов и отделения цели от фона, сопровождаемые движением глаз. Совокупность этих процессов в психологии описывается обобщенным понятием внешнего зора [1] – активного инструмента исследования окружающего пространства, но существующего только в данном месте и в данный момент времени – «здесь и сейчас». Основной корпус психофизических исследований, восходящих к работам И.Ньютона, Г.Гельмгольца, Г.Фехнера и в последующем М.Вертгеймера составляют эксперименты по исследованию именного этого пространства в силу относительной простоты фиксации ощущений на предъявляемые оптические стимулы.

Практическая ценность полученных результатов безусловна, поскольку именно они лежат в основе технических принципов телевидения и кинематографии формулируя минимально допустимые требования к обеспечению психофизического подобия оптических изображений физического мира, формируемых на сетчатке непосредственного наблюдателя и соответственных изображений, наблюдаемых на технических устройствах оптического отображения. Однако уже на начальном этапе разработок технических средств машинного зрения шедших по пути бионического (или скорее гипотетического) повторения, разработчики столкнулись с непониманием того каким образом несовершенная с точки зрения теории оптико-механическая структура сенсорной периферии зрительного анализатора (наличие у нее всех возможных оптических аберраций, неравномерность разрешения по полю, дефокусировка и смазы от неконтролируемых движений глаз и динамических перемещений движущегося тела, инерционность фотохимических процессов и т.п.) обеспечивает столь совершенное восприятие оптико-физических свойств мира.

Полноценного ответа на этот вопрос до сих пор нет, но есть понимание того, что искаженной информации вполне достаточно нашему мозгу для построения умозрительной виртуальной модели окружающего мира, отражающей физический мир в степени достаточной для полноценного взаимодействия с ним. Эта модель, являющаяся высшим продуктом мыслительной деятельности и опирающаяся на все сенсорные модальности соотносится с понятием Эго, а в части зрительного восприятия определяет зрительное (перцептивное) пространство, существующее в отличии от пространства непосредственного восприятия не столько в настоящем (в котором оно взаимодействует с пространством непосредственного восприятия), сколько в будущем, с которым связаны психические процессы антиципации, планирования и воображения. Материализация зрительных образов, присутствующих в зрительном пространстве обеспечивается посредством «внутреннего» зора. Зрительное пространство, как отражение физического пространства, стабильно, но его структура отлична от евклидоваго пространства [2].

Понимание, даже в незначительной степени, структуры и свойств зрительного пространства открывает перед техническими специалистами широчайшие перспективы в ускорении процедур ввода информации в человеко-машинных интерфейсах в первую очередь за счет исключения из оптических изображений предметного мира той информации, которая так или иначе отфильтровывается мозгом на этапе построения зрительного образа.

Результаты исследований

Целью настоящего исследования является выработка требований к содержанию модели зрительного пространства, динамические свойства которой должны отражать ритмическую метрику. В качестве метода исследования используется анализ пространственного ритма, проявляющегося

Предваряя формулирование основных положений (скорее оснований) модели зрительного пространства, необходимо остановиться на обосновании используемого метода экспериментального исследования.

Непосредственное исследование зрительного пространства, оперирующего воображаемыми объектами в рамках классических психологических подходов, крайне затруднено. Поэтому основные результаты, составляющие феноменологическую основу современного представления о зрительном пространстве, были получены специалистами в области искусствоведения в середине 20-го века и обобщены в классических работах Н.Н. Волкова [3], и Р. Арнхейма [4], обратившими внимание на тот факт, что в своем творчестве, в первую очередь в станковой живописи, художники интуитивно решают так называемую «обратную задачу» – пытаются отобразить элементы собственного внутреннего трехмерное зрительного пространства на картинной плоскости с таким расчетом, что бы у наблюдателя (и самого художника) возникло ощущение – иллюзия реалистичности воспринимаемого

трёхмерного физического пространства. По сути, исследователями была установлена тождественность двух схем когнитивной обработки, которые в упрощенном виде мы попытаемся конкретизировать.

Схема 1: трехмерный физический мир, составляющий предметное пространство, – двумерное оптическое изображение, создающее сетчаточный образ в угле ясного видения (внешний взор) и содержащее проективные искажения – плоское (двумерное) пространство зрительного восприятия, создаваемое сканированием предметного пространства внешним взором – восстановленный трехмерный виртуальный образ предметного пространства осязаемый внутренним взором, сканирующим зрительное пространство.

Схема 2: трехмерный виртуальный образ предметного пространства, осязаемый внутренним взором – отображение части трехмерного виртуального пространства на плоскость (содержащуюся в зрительном пространстве) – параллельный перенос плоского изображения из зрительного пространства на однородную картинную плоскость путем манипулирования соответствующими изобразительными инструментами – плоский сетчаточный образ без проективных искажений – и далее по Схеме 1. Здесь следует отметить, что упоминания о присутствии в зрительном пространстве плоского экрана на который проецируется трехмерное изображение воображаемого образа с присущими проективными искажениями в явном виде нет в работах [3, 4], но необходимость его присутствия вытекает из логики рассуждений и подтверждается свидетельствами многих художников. Плоское проекционное поле позволяет обобщить понятие «внутреннего» взора (которое будет подразумеваться в дальнейшем), придавая ему смысл виртуального аналога периферии зрительного анализатора, включающего оптическую систему глаза и сетчатку.

Косвенным свидетельством рациональности такого эволюционного решения служит тот факт, что подобным образом осуществляется визуализация 3D объектов в системах машинной графики. Во всяком случае, тождественность двух схем позволяет обосновать (объективизировать) метод анализа зрительного пространства путем исследования живописных изображений. Этот метод позволил создать Б.В. Раушенбаху одну из непротиворечивых математических моделей зрительного пространства [5], объясняющей его существенную кривизну, проявляющуюся в проективных искажениях, обусловленных реализацией прямой, центральной и обратной перспективы.

Основной недостаток аналогичных моделей, обсуждаемых в том числе в [2] состоит в том, что они отражают только статические свойства зрительного пространства, что, конечно, вполне объяснимо основным предметом искусствоведческого интереса. В повседневной жизни обычного человека зрительное пространство включено в процессы непрерывного взаимодействия с пространством зрительного восприятия, которое, в свою очередь, обеспечивает динамическую деятельность человека, связанную либо с его движением в физическом пространстве, либо движением пространства (или его визуальной имитацией) относительно неподвижного наблюдателя. Для технических специалистов именно динамические свойства зрительного пространства могут представить наибольшую практическую ценность. Однако, перед исследователями динамики сразу встает вопрос о методологии: каким образом можно обнаружить в статических по своему характеру живописных объектах проявления динамических свойств зрительного пространства?

На наш взгляд, возможность положительного ответа кроется в ритмических взаимоотношениях элементов изображения, создающих иллюзию движения. Н.Н. Волков, отмечал, что ритмические структуры вызывающие у наблюдателя ощущение движения в плоскости и в глубину является специфическим композиционным приемом. Впрочем, эффекты, связанные с ритмом в изображениях реалистического искусства, в которых внимание зрителя приковано к образу и сюжету не носят столь ярко выраженного характера, как в иных проявлениях пространства воображения, связанных со стихосложением, музыкой и архитектурой, в которых ритмическая организация служит фундаментом произведения.

Перелом в общественном сознании, произошедший в начале 20-го века, позволил художникам отойти от решения классической живописной задачи отражения реальности, требующей длительного созерцания и искать формы кратковременного эффективного воздействия на подсознание зрителя, в которых смыслы прочитывались бы единственным образом. (Кстати говоря, возможно, это было подсознательным стремлением конкурировать с продукцией фотографией и кинематографией).

Оказалось, что необходимый психоэмоциональный эффект можно достичь за счет символизации реальных объектов (сохраняя их узнаваемость) и активного использования приемов ритмического построения картинного пространства, что в совокупности составило технику плаката [6].

Наконец, отвлеченность от предметности, ставшая тенденцией в европейском и российском искусстве в начале 20 века [7], позволила Казимиру Малевичу совершить переход к оперированию так называемыми основными формами - простейшими геометрическими фигурами и чистыми цветами с целью вызывания иллюзии движения между ними в трехмерном пространстве за счет ритмических соотношений. К. Малевич в полной мере осознавал сколь мощный инструмент психоэмоционального воздействия на зрителя оказался в его распоряжении, назвав его супрематизмом. Свои уникальные ощущения К. Малевич описал так [8]: «Динамика движения навела на мысль выдвинуть и динамику живописной пластики. В картине конструкция пробегающих вещей – имеет ввиду передачу впечатления натуры». Его озарение представлялось ему настолько естественным и простым в реализации, что он опасался при подготовке первой выставки своих супрематических работ, что коллеги подсмотрят его открытие и опередят его [9].

Однако история показала, что композиции большинства его последователей и подражателей, составленные из плоских разноцветных фигур в плоскости картины без цели отражения динамики движения «внутреннего» взора (или иначе элементов картины относительно внешнего взора неподвижного зрителя) лишь в редких случаях удостоиваются внимания зрителя. Что бы создать динамический мир состоящий из плоских элементарных форм необходимо представлять мысленно его трехмерную подоснову, как видел её Малевич.

Нам представляется, что супрематические работы К. Малевича являют собой уникальные объекты (психофизические стимулы), исследование которых позволит выявить динамические свойства зрительного пространства в рамках определенной модели.

Удовлетворительная модель зрительного пространства, на наш взгляд, должна укладываться в философскую концепцию виртуального внутреннего мира, разработанную К. Поппером (Karl Popper) [10]. В предложенной им укрупненной наглядной классификации пространственно-временной континуум, объединяющий физическую среду и человека формально разграничивается на три «мира». «Мир 1» – физическая среда, генерирующая сенсорные стимулы и подвергаемая воздействию со стороны человека. «Мир 2» – сосредоточение психических процессов охватывающих непосредственное чувственное восприятие физических стимулов и формирование моторных воздействий человека на окружающую среду. «Мир 3» - пространство воображения, включающее в себя модели, образы, идеи, составляющие комплекс проблем и попытки их разрешения.

Хотя этот мир антиципаций существует не в настоящем, а в будущем, он наделен свойствами физического мира, поскольку результаты мыслительных процессов могут быть материализованы при необходимости через посредство «мира 2». Более того, в нем сохраняются основные свойства физического пространства, обеспечивающие возможность точного моделирования результатов предполагаемого взаимодействия человека со средой. Важнейшим свойством «мира 3» является его описательность - представление процесса и результатов моделирования в виде символов, образов и слов. Именно это свойство служит аргументом в пользу того, что «мир 3» является позднейшей эволюционной надстройкой над «миром 2», сформировавшийся одновременно с формированием речи, нацеленной на коммуникативное взаимодействие между индивидуумами. «Мир 3» формируется всеми сенсорными системами, находящимися в непрерывном взаимодействии, в первую очередь зрительной, слуховой и кинестетической.

Тем не менее зрительная и слуховая системы задают вполне обособленные виртуальные пространства и вложенные в них подпространства, в которых действуют объективные законы. Например, в слуховом пространстве присутствуют подпространство звуко-высотного мелодического (гармонического) восприятия и подпространство ритмического восприятия. Для первого, совершенно абстрактного подпространства, не имеющего аналога в физическом мире, объективность которого проявляется в специфическом чувстве эстетического переживания, математические теории музыкального восприятия начинали создаваться пифагорейцами и оформились в математическую теорию усилиями Л. Эйлера [11]. Основы математического описания подпространства ритмического слухового восприятия, проявляющееся в сопровождающих мелодическое восприятие моторных реакция тела, разработаны [12].

Зрительное пространство в силу большего числа измерений, сложнее слухового, но также явно разделяется на основное подпространство, отражающее глубину физического мира и его динамику, воспринимаемого в виде монохромных объектов и подпространство цветового восприятия. Для подпространства цветового восприятия, оторванного от конкретных образов, в свое время удалось построить несколько завершенных математических моделей, охватываемых понятиями колориметрии и

колористика [13]. Основное зрительное пространство, как было уже отмечено, существует вне времени, но помимо этого имеет такие принципиальные отличия от него как панорамность (многоакурсность), проявляющуюся в одновременном существовании множества объектов и возможности их осматривания, и кривизна, обусловленная перспективными трансформациями оптических изображений. Физичность зрительного пространства отражается в динамике «внутреннего» взора, сопровождаемого движениями глаз, что по мнению В.И. Белопольского подтверждает существование пространственных размерностей мысленных образов.

Находясь в рамках эволюционного подхода, постулируем вначале то, что большинство сенсорных систем, и, в первую очередь, зрительная система, подчинена задаче обеспечения движения организма, поскольку способность осуществлять сложное движение является основным эволюционным преимуществом царства животных. Это утверждение, по сути, является современным взглядом на движение, как основной форме существования человека [14]. (Очевидно, что запускающим сигналом к движению служит решение когнитивной задачи выделения объекта из фона). Эволюционное совершенствование биомеханики движения в направлении ее усложнения в конкурентной среде осуществлялось в условиях ограничения энергетических ресурсов организма.

Из условия дефицита энергетического бюджета вытекает два важнейших следствия. Первое следствие обуславливает траекторию движения к цели в соответствии с фундаментальным принципом наименьшего действия обобщающую квантовую и ньютоновскую физику по отношению к кинематике механической системы живой и неживой материи [15]. Минимизируемый функционал именуется термином количество движения. Упрощенно говоря, принцип наименьшего действия говорит о том, что из всех возможных траекторий движения к цели (называемых окольными) материальное тело, обладающее запасом потенциальной энергии, будет двигаться по такой единственной (называемой прямой траекторией), на которой суммарные траты кинетической энергии будут минимальными. При этом под траекторией понимается след перемещения центра масс тела, усредненный по некоторому достаточно протяженному отрезку пути. Второе следствие связано с биомеханикой локомоции человека. Неустойчивость двуопорной кинематической схемы человека требует приложения непрерывных компенсационных усилий, что приводит к гармонической траектории движения центра масс в пространстве.

На рисунке 1 представлена перерисовка с иллюстрации работы [16], представляющую 3D траекторию центра масс, замыкающуюся при компенсации линейного перемещения испытуемого, который двигался на механической беговой дорожке. Эта пространственная кривая получила название «галстук-бабочка» (bow-tie). Проекция кривой на сагитальную, фронтальную и горизонтальную плоскости демонстрируют маятниковый (гармонический) характер движения центра масс.

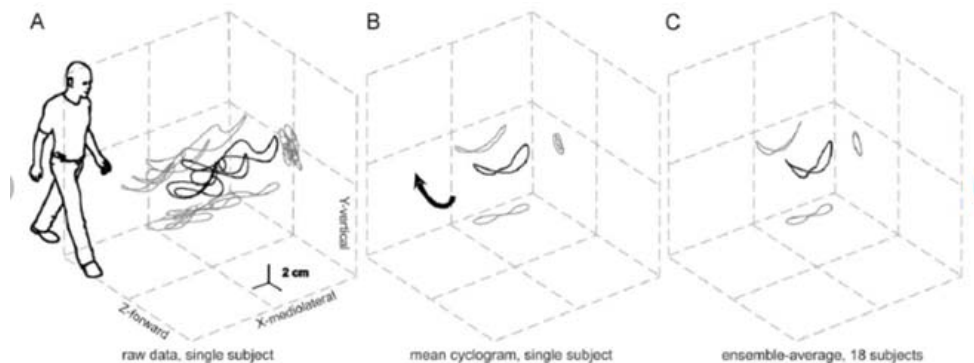


Рис. 1. Траектория движения человека

Известно, что поддержание колебаний вблизи резонанса динамической системы минимизирует количество затрачиваемой на это энергии, т.е. циклическое движение (в дальнейшем мы будем использовать для этого термин ритмическое движение) динамической системы энергетически обусловлено. В локомоции человека можно выделить три эволюционно обусловленных резонансных пика: ходьба, стайерский и спринтерский бег, отличающихся периодом пространственных колебаний и энергетическими затратами, приведенными к одному периоду. Из ПНД выводятся уравнения движения механических систем, решениями которых служат гармонические колебания.

Поэтому статический аспект предлагаемой модели зрительного пространства должен содержать информацию о траектории движения до цели (в общем случае криволинейную, обусловленную огибанием препятствий) с наложенной на нее пространственно-временной гармонической функцией, период колебаний которой может быть различен, в зависимости от типа движения, образуя индивидуальный рисунок сложной пространственной траектории.

Таким образом расстояние в зрительном пространстве должно быть переменной величиной, рассматриваемой в контексте решаемой задачи движения. Но каким же образом эта переменная размерность может быть связана с фиксированным расстоянием в физическом пространстве? Для того чтобы попытаться высказать предположение необходимо уточнить понятие ритма и метра, имеющих различное толкование в различных искусствах [3, 17]. Мы примем упрощенную объединительную трактовку, следующую из математической теории ритма [18]. Одинаковые точечные события (объекты), расположенные в узлах равномерной сетки (в пространстве или времени), задают равномерную ритмическую структуру (пульсацию), которая сможет не проявляться в явном виде. Шаг сетки является метром. Акценты и цезуры (паузы) всегда совпадают с узлами сетки. Последовательность акцентов формирует ритм. Циклическое повторение ритма образует устойчивую ритмическую фигуру.

Динамические свойства зрительного пространства проявляются в многократности повторения внутреннего движения до цели (по крайней мере, пока на цель направлен внутренний взор), что отражается в появлении специфического кинестетического ощущения переживания циклически повторяемого движения, которого можно назвать пространственной ритмической фигурой. Очевидно, что форма ритмической фигуры останется неизменной при масштабных трансформациях, связанных с изменением метра. Поэтому именно ритмическая фигура способна обеспечивать однозначную связь между зрительным и физическим пространством.

Установление истинности или ложности модельных представлений в психофизических экспериментах возможно лишь при адекватном задаче эксперимента выборе психофизических реакций испытуемых. В нашем случае единственно возможной контролируемой реакцией являются переживания воображаемого движения.

Наиболее яркие переживания воображаемого движения, обусловленные моторными реакциями тела, индуцируются внешними зрительными стимулами в виде наблюдаемых спортивных или танцевальных движений, когда наблюдатель отождествляет себя с наблюдаемым движущимся (подобным ему) объектом [19, 20]. Аналогичные, хотя менее яркие переживания связаны и с воображаемым движением воображаемых зрительных образов, что фиксируется активностью тех же самых участков коры головного мозга, которые активируются при реальном движении [21]. Эта регистрируемая электронными средствами активность мозга является одним из перспективных методов построения интерфейсов человек-компьютер [22]. По-видимому, переживания воображаемого движения являются генетически передаваемым инструментом обучения выполнения сложных ритмических манипуляций или локомоций, осуществляемых под зрительным контролем.

Последним, но, с точки зрения экспериментальных исследований, важнейшим элементом предлагаемой модели, являются объекты воображаемого пространства, в отношении которых мозг выстраивает траекторию движения, поскольку движению человека в физическом и зрительном пространстве должно предшествовать целенаправленное, а с ним, решение основной когнитивной задачи – выделения цели из фона. Придерживаясь эволюционного взгляда на развитие перцептивных способностей, можно полагать, что такими объектами служат объекты очень простых геометрических форм, в отношении которых сформировалась константность восприятия формы.

С такими объектами в онтогенезе формирования зрительной системы ребенка формируется опыт кинестетического взаимодействия, закладывающий основы модельных представлений о физическом пространстве. В филогенезе, с развитием зрительных способностей человека, увеличение детализации сетчаточных образов потребовало выработки механизмов декомпозиции сложных объектов на элементарные геометрические формы.

Возможность и необходимость проведения декомпозиции используется в современных теориях распознавания [29], например в предложенной И. Бидерманом [23] в которой применяется графический алфавит из 24 элементов (графических ионов - грионов), достаточный для грубого описания произвольных структурно сложных объектов. Прямым подтверждением доминирования простых геометрических форм служат фундаментальные результаты, составившие основание гештальтпсихологии, которые были получены М. Вертгеймером [24] и объединены им в закон прегнатности.

Этот закон является отражением в ментальном пространстве рассмотренного ранее принципа наименьшего действия в отношении возможных восприятий формы, когда выбирается та из них, которая кажется наиболее простой, упорядоченной и осмысленной на основании следующих критериев: близость, сходство, хорошее продолжение, общая судьба, симметрия, замкнутость, объективная установка, общая связь. Понятие константности восприятия формы в отношении устойчивости к проективным преобразованиям можно формализовать на основе фрактального подхода [25], предполагающего, что все кажущееся многообразие естественных природных образований может быть представлено в виде самоподобных трансформаций простых форм, которые выступают в качестве затравки [26].

Простейшие проявления подобия, находящие отражения в арифметических последовательностях (арифметической, геометрической и гармонической прогрессиях), золотом сечении, последовательностях Фибоначи т.п. (в которых в явном виде прослеживается ритмическая структура) активно использовались архитекторами с самого раннего времени, вплоть до современности [26]. Важно отметить, что немногие эксперименты К.Малевича в области архитектуры вылились в появление объектов с ярко выраженными свойствами самоподобия – архитектонов [27].

Признаки прегнатности были получены М. Вертгеймером при изучении взаимодействия элементарных объектов, находившихся в плоскости картины. Следуя концепции К.Поппера о доминировании виртуального «Мира 3» (по крайней мере трехмерного плюс время) над двумерным «Миром 2» зрительного восприятия можно усмотреть в результатах этих простых экспериментов проявление признаков глубины пространства. Н.Н. В. Волков отмечал [3], что при рассмотрении картинного пространства для восприятия имеют значения только монокулярные признаки. К таким признакам, имеющим отношение к статичным изображениям, относятся окклюзия (интерпозиция) – перекрытие одного объекта другим, элевация – взаимное расположение объектов друг над другом, знакомость размера, градиент текстуры, перспективные искажения [28]. Важно, что перечисленные признаки работают (индуцируют иллюзию глубины) для объектов элементарных узнаваемых элементарных форм. Р. Арнхейм отмечал [4], что при окончании решения задачи разделения объекта и фона объект как бы приподнимается над фоном, что можно интерпретировать как выстраивание траектории предполагаемого движения до объекта.

Экспериментальные исследования

Подтверждения выдвинутых предположений могут получены в следующих экспериментах. Вначале повторим эксперименты (с несущественными вариациями) П.Кудина [6] имевшие историческую связь с экспериментами М.Вертегеймера. В этих экспериментах испытуемым кратковременно предъявлялись оптические тесты в виде последовательности (рядов) кругов с изменяющимся размерами и шагом между ними. Одновременно осуществлялся контроль за движением взгляда испытуемых.

Основные результаты экспериментов сводятся к следующему: 1) при восприятии ритмического ряда пространственное перемещение взора соответствует закономерности «движения» ритма, то есть происходит в направлении преимущественного изменения какого-либо признака, создающего ритм; 2) из всех признаков, создающих изучаемые ритмы, наиболее действенным является размер и интервал. Восприятие ритмического ряда происходит от больших элементов к меньшим, от малых интервалов - к большим. Для иллюстрации обсуждаемых эффектов и возникновения новых воспроизведем часть последовательностей на рисунке 2, предварительно отметив, что экспериментаторы и испытуемые сосредотачивались на движении взгляда исключительно в предметной плоскости.

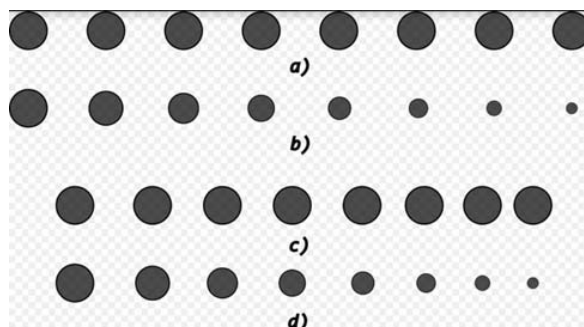


Рис. 2. Схема для проведения эксперимента

В первом случае (а), когда окружности одинакового размера размещены с равным шагом, при их наблюдении не возникает ощущения ритмической организации пространства. Только при определенных волевых усилиях в этих изображениях можно увидеть эффект группирования по два. Если при сохранении равномерного шага уменьшать размеры окружностей по линейному закону (b), то у наблюдателя возникает ощущение пространственного движения вдоль стимулов в направлении изменения размера. Однако возникновение ощущения перспективного удаления оказывается не сильно выраженным. Усилить эффект движения можно, если расположить стимулы с уменьшающимся шагом.

При наблюдении ряда кругов равного размера (с), размещенных на неравномерной пространственной сетке усиливается ощущение группирования (притяжения) рядом расположенных окружностей равного размера. При этом, если приглядеться, возникает совершенно новый эффект - появляется ощущение глубины пространства. Все предполагаемое трехмерное пространство как бы рассекается на ряд параллельных планов, содержащих по две окружности. Ощущение удаленности планов сопровождается едва заметным ощущением увеличения размера окружностей, что связано, по видимому, с разрешением известной когнитивной проблемы - неподтверждаемыми ожиданиями перспективного уменьшения объектов известного размера, и как следствие вывода, что объекты на самом деле имеют разный размер.

Важно, что переживание движения проявляется как последовательность скачков внимания не от элемента к элементу, а от одного плана к последующему. Наконец, плавность предполагаемого движения при восприятии возникает при наблюдении уменьшающихся в размерах стимулов расположенных одновременно с уменьшающимся шагом (d). Можно предположить, что эффект переживания движения обусловлен синхронным перемещением внешнего (контролируемого) взора в плоскости и внутреннего (неконтролируемого) взора в трехмерном зрительном пространстве. Синхронность перемещения взоров в двух разных пространствах обусловлена тем, что наблюдаемые объекты представляют собой элементарные неделимые формы, однозначно выделяемые на фоне вследствие чего уменьшение размера и расстояния между кругами совпадает с сетчаточным изображением ряда одинаковых плоских объектов, уходящих в глубину пространства – т.е. наблюдается полная согласованность изображений и перспективного ожидания их расположения.

Рассмотрим еще один известный оптический тест (без внесения в него изменений), представленный на рисунке 3., предназначенный для демонстрации правил группировки по М.Вертгеймеру, отражающих признак принцип подобия демонстрирующих тяготение фигур по критерию «размер» для объектов одинаковой формы и по критерию «форма», для разнородных объектов [4] Отметим, что тяготение наблюдается (и предполагается) в этих и подобных ему тестах в одной плоскости, что конечно же не подвергается нами сомнению.

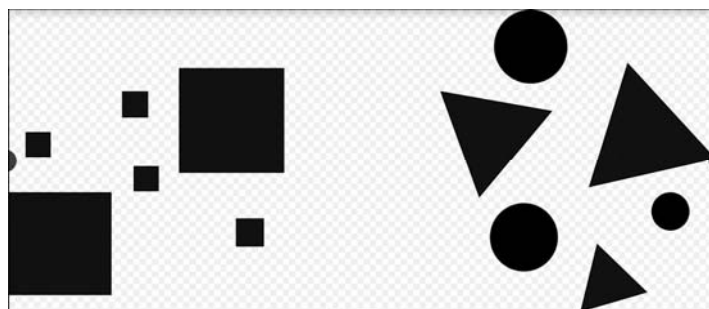


Рис. 3. Схема для проведения эксперимента

Однако причины этого тяготения, по нашему мнению, связаны с трехмерной обработкой проекций (перспективно уменьшенных) одинаковых стимулов мозгом. Достаточно представить себе, что эти объекты расположены в пространстве (подвешены), как вслед за этим возникает ощущение переживания пространственного ритмического движения от объекта к объекту по сложной траектории, которая объединяет объекты различающиеся по форме и по размеру.

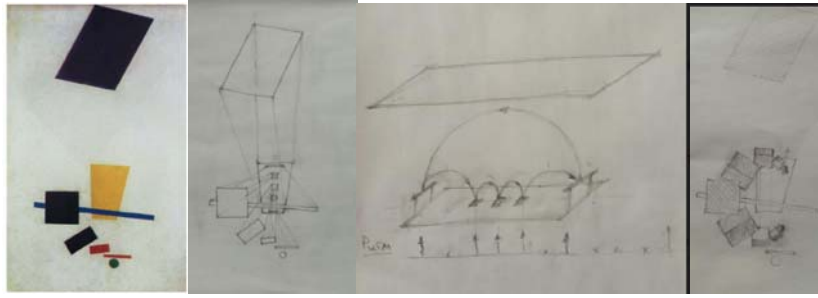


Рис. 4. Представления константности движения

Рассмотрим еще один пример, иллюстрирующий взаимодействие элементарных объектов (для которых характерна константность формы), расположенных в плоскости, но задающих ритмическую траекторию движения в глубину, проявляющиеся как признаки элевации и градиента текстуры.

На рисунке 4 приведена фотография и прорисовка с нее участка Лефортовского парка в Москве. В качестве самоподобных объектов на изображении выступают комли деревьев. Их смещение по вертикали плоского изображения представляет собой классический элевационный монокулярный признак глубины. Эти объекты воспринимаются как элементы притяжения для выстраивания трехмерной траектории движения от дерева к дереву.

Приведенные иллюстрации и сопутствующие пояснения служат фундаментом или иначе психологической установкой предваряющий анализ одной из известных работ К.Малевича – «Супрематизм. Живописный реализм футболиста. Красочные массы в четвертом измерении», впервые представленной в 1915 году на выставке «Последняя футуристическая выставка картин 0.10 «ноль-десять», ознаменовавшей появления супрематизма как живописного направления (рис. 4а).

Обращает, в первую очередь, на себя внимание тот факт, что элементами изображения служат узнаваемые разноцветные плоские объекты, для которых справедливо понятие константности формы. В изображении присутствуют четыре категории объектов. Две трапеции желтого и фиолетового цвета, которые ограничивают трехмерное пространство снизу и сверху. Желтая трапеция может рассматриваться как футбольное поле, а фиолетовая трапеция, как небо над стадионом. Вторая категория включает в себя два вытянутых прямоугольника голубого и красного цвета, которые отождествляются со штангами ворот. Третья категория включает три прямоугольника - один красный и два почти черных.

Можно предположить, что именно они отождествляются с ногами (разноцветными гетрами) футболистов в тот момент, когда они взаимодействуют с мячом. Наконец четвертая категория – зеленый круг, который служит связующим динамическим элементом картины – это мяч. Вначале совместим направление наблюдения с центральным квадратом, который является центром притяжения в силу его полной симметрии (признак «хорошего» объекта по определению М.Вертгеймера). Это направление связано с главным центром перспективы и не совпадает с отсутствующей линией горизонта, но оно задает начальный (референтный) ракурс наблюдения, в пространственном угле которого группируются объекты, связанные непосредственно с футболом, и отделяются тем самым от небесного свода, наблюдение которого требует сменить ракурс.

Дополнительная функциональная нагрузка центрального квадрата заключается в задании проекционной плоскости наблюдения, ортогональной направлению взора. Представим, что третья означенная категория объектов – это квадраты изначально одинакового размера, расположенные на разном расстоянии от наблюдателя. Их перспективное уменьшение (в совокупности с относительным уменьшением красной штанги) задает глубину пространства. Изменение формы (превращение в прямоугольники) свидетельствует о перспективных искажениях, причиной которых служит их ориентация в пространстве относительно плоскости наблюдения. То же самое можно отнести к искажениям геометрии футбольного поля и неба.

Мы описали статистическую структуру изображения, определяемую референтным направлением взора. Перейдем к описанию динамических свойств изображения. В качестве основного художественного приема, задающим перемещение взора, используется несколько направлений взора – ракурсов. Для того что бы ощутить в полной мере ритмическую структуру картины попытаемся восстановить (вообразить) физическую структуру пространства, которую пытался отобразить

К.Малевиц. Для этого осуществим процедуру обратного проецирования в плоскость футбольного поля по направлениям, задаваемым ощущаемыми ракурсами наблюдения. Результат представлен на рис. 4b. На рисунке 4с приведено восстановленное изображение трехмерного пространства, на котором стрелками указана предполагаемая траектория движения мяча.

Основу ритмического построения (пульсацию) задает расстояние между штангами, равномерно разбитое на возможное количество шагов футболиста. Эта пульсация в явном виде не присутствует на изображении, но предполагается. Акценты возникают при взаимодействии предметов (штанг, ног футболиста) с мячом. Движение мяча от штанги к штанге замыкает цикл движения, формируя устойчивую ритмическую фигуру движения, которая представлена на рисунке 5.d.

Приведенное толкование очевидно не абсолютно и лишь отражает ощущение авторов настоящей работы и может различаться (в деталях) у различных наблюдателей. Используя построения К.Малевица в качестве специфического оптического теста для демонстрации эффекта воображаемого движения, связанного с построением траектории воображаемого движения, мы попытаемся усилить эффект движения за счет исключения проективных трансформаций (что позволяет оставить только один референтный ракурс) и увеличения числа элементов третьей категории – предполагаемых следов ног футболистов, производящих удар. Результат такого дополнения представлен на рис. 4.e. на котором ритмическое движение мяча читается более отчетливо.

Заключение

Нам представляется, что сложность изучения динамических свойств зрительного пространства обусловлена непрерывной информационной нагрузкой на зрительный анализатор, сопровождающей процесс непосредственного видения оптических стимулов, в результате чего проявление процедур обработки сигналов в зрительном пространстве маскируются непрерывным потоком сенсорных ощущений. Однако динамические свойства зрительного пространства должны быть неразрывно связаны с его статическими свойствами и представлять собой различные проявления единого мыслительного процесса.

В данной работе мы попытались продемонстрировать (фактически экспериментально подтвердить), что зрительное пространство восприятия отражает и предвосхищает не статические свойства физического мира, а представляет собой отображение результатов непрерывного вычислительного процесса расчета траекторий движения кинематической модели человеческого тела до моделей тех объектов, на которых сосредоточен внутренний взор и которые выбраны в качестве цели. Целеполагание связано с такими объектами, чья форма является или может быть представлена как композиция элементарных узнаваемых форм – грионов, в отношении которых можно говорить о самоподобии возникающим при проективных преобразованиях.

Самоподобие обуславливает константность восприятия этих форм и применимость к ним монокулярных признаков глубины. Траектория предполагаемого движения может иметь сложную пространственную форму, обусловленную реализацией принципа наименьшего действия, на которую наложены гармонические колебания, являющиеся проекцией траектории движения центра масс человека. Поэтому метрика зрительного пространства является величиной переменной, в зависимости от категории предполагаемого движения – ходьба или бег. Однако неизменной величиной, связанной с предполагаемым движением, служит форма траектории (ритмическая фигура), обладающая константностью формы – устойчивостью не только к масштабным преобразованиям, но и проективным трансформациям. Известно, что динамика «внутреннего» взора сопровождается движениями глаз, что является доказательством пространственных размерностей мысленных образов.

Литература

1. Белопольский В.И. Взор человека: Механизмы модели, функции. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2007. 415 с.
2. Филиппов С.А. Что мы видим в глубине картины? Природа и функции пространственности в плоских визуальных искусствах // Артикульт. 2011. 1(1). – С. 188-243.
3. Волков Н.Н. Композиция в живописи М.: Искусство, 1977. 263 с.
4. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие. Пер. с англ. М.: Архитектура-С, 2012. С. 81.
5. Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве: Общ. теория перспективы. Отв. ред. О. А. Швидковский; АН СССР, ВНИИ искусствознания М-ва культуры СССР. М.: Наука, 1986. 254 с.
6. Кудин П.А., Ломов Б.Ф., Митькин А.А. Психология восприятия и искусство плаката. М.: Плакат, 1987.
7. Рид Г. Краткая история современной живописи. М.: Ад Маргинем Пресс, 2017. 360 с.
8. Малевиц К. Отъ кубизма къ супрематизму. Новый живописный реализм. Изд. Второе. Петроградъ, 1916.

9. *Вчерашняя А.* Супрематизм. Казимир Малевич и его Love Supreme. Энциклопедия 2 декабря 2016. Режим доступа: <https://artchive.ru/encyclopedia/2322~Suprematism#>
10. *Поппер К.* Знание и психофизическая проблема: В защиту взаимодействия. Пер с англ. Послесл. И.В. Журавлева. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 256 с.
11. *Эйлер Л.* Опыт новой теории музыки, ясно изложенной в соответствии с непреложными принципами гармонии. СПб.: Нестор-История, 2007. 273 с.
12. *Toussaint G.T.* The Geometry of Musical Rhythm. What Makes a Good Rhythm. G.T. Toussaint. Routledge, 2013. 27 p.
13. *Джадд Д., Вышецки Г.* Издательство. М.: Мир, 1978. 592 с.
14. *Сироткина И.Е.* “Двигательная культура” как объект науки // Этнографическое обозрение. 2018. № 6. С. 12-24.
15. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т.6: Электродинамика. Глава 19: Принцип наименьшего действия. Пер. с англ. 3-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2004. 352 с.
16. *Tesio L., Rota V., Chessa C., Perruca I.* The 3-D pass of body centre of mass during adult human walking on force treadmill. J. Biomech. 2010. 43.938-44. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.10.049
17. *Теплов Б.М.* Психология музыкальных способностей. Избранные труды в 2-х т. Т.1. М.: Педагогика, 1985. 328 с. С. 42-222.
18. *Граммши А.* Алгебра ритмов/Антонио Граммши. М.: Издательство «Печать века», 2021. 78 с.
19. *Сироткина И.Е.* Танец как регулятор эмоционального режима. Новые книги о движении и танце // Практики и интерпретации: журнал филологических, образовательных и культурных исследований, №4(4). С. 132-138.
20. *Smith R.* The sense of movement: an intellectual history. London: Process Press, 2019.
21. *Мокиенко О.А., Черникова Л.А., Фролов А.А., Бобров П.Д.* Воображение движения и его практическое применение // Журнал высшей нервной деятельности, 2013, том 63, № 2. С. 195-204.
22. *Коровина Е.С., Сергеева М.С., Захаров А.В., Пятин В.Ф.* Нейрофизиология моторного воображения в практике нейрореабилитации и технологии ИМК // Наука и инновации в медицине. 2019, № 4(3). С. 30-35.
23. *Biederman I.* Recognition-by-components: a theory of human image interpretation // Psychol. Rev. 1987. Vol. 94, pp. 115-147.
24. *Вертегеймер М.* Продуктивное мышление. М.: Прогресс, 1987.
25. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. М., 2002. С. 16-24, С. 46-126, С. 196-210.
26. *Исаева В.В., Касьянов Н.В.* Фрактальность природных и архитектурных форм // Культура. Вестник ДВО РАН, 2006. № 5. С. 119-127.
27. *Бабич В.Н., Кремлев А.Г.* О фрактальных моделях в архитектуре // Архитектон: известия вузов. 2010. № 30. Режим доступа: http://archvuz.ru/2010_2/2/.
28. *Шифман.* Ощущение и восприятие.
29. *Харкевич А.А.* Теория информации. Оpozнание образов // Избранные труды в трех томах. Том 3. Москва, 1973.

МОДЕЛЬ ЛЕСТНИЧНОГО ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДА

Стельмах Эдуард Петрович,

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Орион»,
главный научный сотрудник, к.т.н., Москва, Россия

stelmah.e.p@fgupntcorion.ru

Аннотация

Рассмотрен новый класс помехоустойчивых кодов, сочетающих свойства блочного и непрерывного кодирования. Представлено описание способов построения кода в общем виде и для использования в волоконно-оптических системах связи. Предложена аналитическая модель кодирования лестничным кодом, позволяющая изучать свойства кодов и осуществлять имитационное моделирование в среде Matlab.

Ключевые слова: Помехоустойчивое кодирование, волоконно-оптические системы связи, лестничный код, каскадная конструкция кода, код БЧХ

Введение

Принципы построения лестничных кодов, способы их кодирования и декодирования впервые были описаны в статье «Staircase codes: FEC for 100 Gb/s OTN» [1]. Данная конструкция лестничного кода стала стандартом де-факто для производителей телекоммуникационного оборудования после внесения ряда существенных изменений, что нашло отражение в рекомендации ITU-T G.709.2/Y.1331.2 (2018) [2] и в соглашении «Implementation Agreement 400ZR Optical Internetworking Forum for a 400ZR Coherent Optical interface» [3]. В соответствии с приведенным в [1] определением, лестничный код – это новый класс высокоскоростных помехоустойчивых двоичных кодов, в конструкции которых объединены (скомбинированы) идеи сверточного и блочного помехоустойчивого кодирования. Преимуществами лестничных кодов являются эффективная аппаратная реализация и возможность синдромного декодирования. Особенности построения лестничного кода по рекомендациям [2, 3] позволяют синтезировать множество эквивалентных лестничных кодов, обладающих одинаковыми свойствами, но различающимися параметрами: проверочной (порождающей) матрицей и матрицей перемежения строк.

Описание вариантов построения лестничных кодов

С точки зрения теории помехоустойчивого кодирования [4, 5], лестничный код – это новый способ построения каскадной конструкции помехоустойчивого кода, отличающийся от известных наличием практически бесконечной памяти в последовательности блоков кодовых слов (конструкция непрерывного кода-произведения). Ниже рассмотрим два варианта построения лестничного кода в соответствии с описаниями [1] и [2].

Первый (оригинальный) вариант построения лестничного кода представлен в [1]. Идея построения лестничного кода является комбинацией идей непрерывного рекуррентного и блочного кодирования; сам код полностью характеризуется отношениями между матрицами в последовательности матриц канальных символов.

Рассмотрим бесконечную последовательность B_0, B_1, B_2, \dots квадратных матриц B_i размером $m \times m$, $i \in Z^+$ (рис. 1). Элементами матриц B_i являются двоичные символы из поля Галуа $\mathbf{F}_2 = GF(2) = \{0,1\}$; в общем случае могут быть значения из произвольного недвоичного поля, что повлияет только на выбор компонентного кода. Матрица B_0 инициализируется способом, известным паре кодер-декодер; например, блок B_0 может быть заполнен нулями.

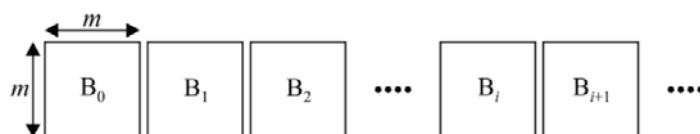


Рис. 1. Последовательность матриц (блоков) канальных символов

Для построения лестничного кода выбирается некоторый известный корректирующий ошибки помехоустойчивый код (например, код Хэмминга, код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ), код Рида-Соломона и т.д.) в систематической форме, который рассматривается как компонентный код C . Длина данного кода равна $2m$, из них r символов являются избыточными проверочными символами кода.

Процесс кодирования для каждого значения $i \in Z^+$ осуществляется рекурсивно. Пусть для некоторого i матрица B_{i-1} уже сформирована, тогда $m \times (m-r)$ информационных символов полезной нагрузки помещают, как правило, построчно слева направо и сверху вниз в левой части матрицы B_i . Обозначим эту подматрицу $B_{i,L}$. Значения, соответствующие проверочным символам и расположенные в правой части (r столбцов) матрицы B_i (обозначим эту подматрицу как $B_{i,R}$), вычисляются следующим образом (рис. 2 и 3):

1. Формируется матрица $A = [B_{i-1}^T \ B_{i,L}]$ размерности $m \times (2m-r)$, где B_{i-1}^T – транспонированная матрица B_{i-1} ;
2. Значения проверочных символов в подматрице $B_{i,R}$ вычисляются как проверочные символы компонентного кода C , то есть чтобы строки матрицы $[B_{i-1}^T \ B_{i,L} \ B_{i,R}]$ представляли собой кодовые слова компонентного кода.

Таким образом, кодирование каждого блока лестничного кода осуществляется построчно. Составляющие строку кодовые слова разбиваются на правую и левую части: левая часть состоит из бит блока лестничного кода, закодированного на предыдущем шаге, а правая часть содержит информационные биты текущего блока и проверочные биты, вычисляемые на данном шаге (рис. 3).

Таким образом, соотношение между последовательными блоками подчиняется следующему требованию: для любого $i \geq 1$ все строки матрицы $[B_{i-1}^T \ B_i]$ должны представлять собой кодовые слова компонентного кода C .

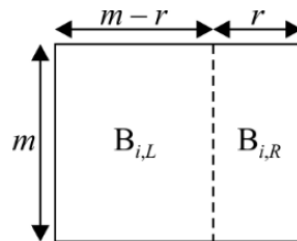


Рис. 2. Заполнение матрицы B_i

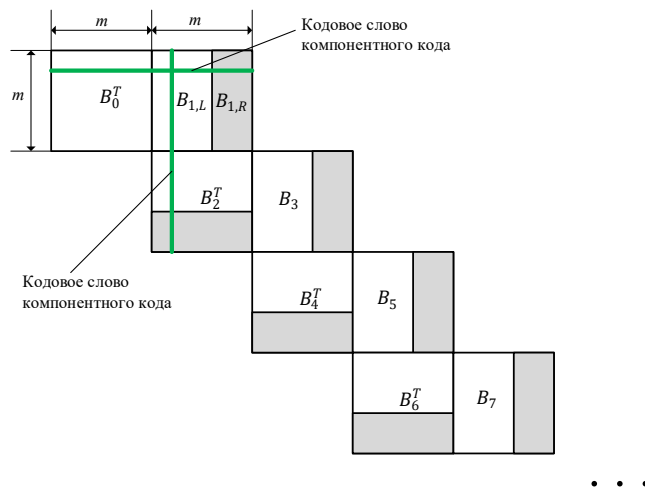


Рис. 3. Структура лестничного кода

Компонентный код C , исправляющий t ошибок и имеющий минимальное кодовое расстояние d_{\min} , порождает лестничный код, в котором между любыми двумя кодовыми словами (последовательностями) на длине строки матрицы $[B_{i-1}^T \ B_i]$ расстояние Хэмминга составляет не менее d_{\min}^2 .

Принципиальное отличие лестничных кодов от кодов-произведений заключается в том, что лестничные коды бесконечны и размер кодового слова лестничного кода, а также длина последовательности для декодирования теоретически бесконечны.

Кодовая скорость лестничных кодов вычисляется как $R_{SC} = 1 - r/m$. Кодовая скорость соответствующего кода-произведения составляет

$$R_{КП} = \left(\frac{2m-r}{2m} \right)^2 = 1 - \frac{r}{m} + \left(\frac{r}{2m} \right)^2,$$

что превышает скорость лестничного кода. Однако при достаточно высоких скоростях кодирования данное различие достаточно мало, поскольку $r \ll m$.

Представленное выше описание принципов построения лестничных кодов носит наиболее общий характер и не соотносится со структурой данных в волоконно-оптических системах связи (ВОСС). Для использования лестничного кода при формировании сигналов ВОСС необходимо согласовать его параметры (размер кодового блока, выбранный компонентный код) со структурой кадра G.709, а также учесть требования рекомендации G.709 к избыточности помехоустойчивого кодирования.

Размер кадра G.709 четвертого уровня составляет 130560 бит, из которых 122368 бит – пользовательская информационная нагрузка, а 8192 бита – избыточность помехоустойчивого кодирования (проверочные биты). Это соответствует скорости кодирования $R = 239/255$.

Для выбора размера блока лестничного кода заметим, что $R = 239/255 = (510 - 32)/510$ и два последовательных кадра G.709 составляют $2 \times 130560 = 512 \times 510$ бит. Поэтому целесообразно выбрать в качестве блока B_i лестничного кода прямоугольную матрицу размерностью 512×510 , в которой содержатся биты двух кадров. Прямоугольную матрицу можно преобразовать в квадратную путем добавления двух нулевых строк. Таким образом, параметр $m = 512$. Следовательно, длина компонентного кода должна быть $2m = 1024$ бит.

Наиболее подходящий для данной длины компонентного помехоустойчивого кода – это примитивный код БЧХ ($n = 1023, k = 993, t = 3$), позволяющий исправить до трех ошибок [4]. Этот код строится над полем $GF(2^{10})$ по модулю примитивного многочлена $p(z) = z^{10} + z^3 + 1$. Степень порождающего многочлена примитивного кода БЧХ равна 30, избыточность же в соответствии со структурой кадра и требуемой скоростью кодирования должна быть равна 32. Поэтому порождающий многочлен включает дополнительный множитель – полином второй степени:

$$g(x) = (x^{10} + x^3 + 1)(x^{10} + x^3 + x^2 + x + 1) \times \\ \times (x^{10} + x^8 + x^3 + x^2 + 1)(x^2 + 1), \deg g(x) = 32.$$

Длина компонентного кода БЧХ должна быть равна $512 + 510 - 32 = 990$ бит, поэтому примитивный код должен быть укорочен на один символ. Модифицированная под кадр G.709 процедура кодирования включает следующие этапы:

1. Сформировать матрицу $A = [\hat{B}_{i-1}^T \ B_{i,L}]$ размерности $512 \times (512 + 510)$ бит, где матрица \hat{B}_{i-1}^T получается добавлением двух нулевых строк к транспонированной матрице B_{i-1}^T .

2. Рассчитать значения проверочных символов в подматрице $B_{i,R}$ так, чтобы строки матрицы $[B_{i-1}^T \ B_{i,L} \ B_{i,R}]$ представляли собой кодовые слова компонентного кода БЧХ ($n = 1022, k = 990, t = 3$) с найденным порождающим многочленом.

Модифицированная структура блоков B_{i-1} и B_i показана на рисунке 4. Полученный лестничный

код является обобщением исходного описания, поскольку отдельные блоки кодирования B_i представляют собой прямоугольную матрицу. Это позволяет в большей степени варьировать параметрами кода.

Второй вариант построения лестничных кодов, представленный в рекомендациях [2] и [3], имеет несколько существенных отличий в построении кода.

Первое отличие заключается в том, что в проверочной матрице компонентного кода выполняется перестановка столбцов в соответствии с некоторым правилом (функцией) перестановок $\pi(x)$. На корректирующие свойства кода это не влияет, однако полученный в результате данного преобразования помехоустойчивый код уже не относится к классу кодов БЧХ, а является эквивалентным линейным блоковым кодом.

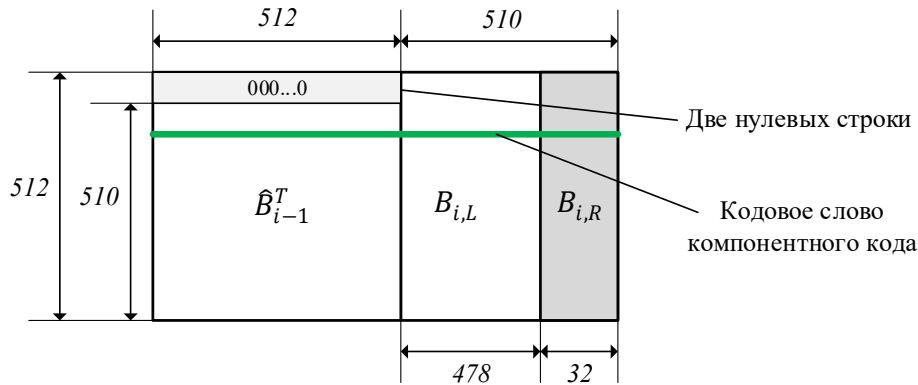


Рис. 4. Модифицированная процедура кодирования

Второе отличие затрагивает собственно операцию кодирования строк матрицы $A = [B_{i-1}^T \ B_{i,L}]$, которая описывается следующими выражениями (нижний индекс указывает номер текущего блока лестничного кода, а индекс в скобках указывает номер строки в блоке):

$$C_i(j) = [B_{i-1}^T(j) \ B_i(j)] \times \mathbf{P}, \quad 1 \leq j \leq 2 \text{ (две нулевых строки);}$$

$$C_i(j) = [B_{i-1}^T(\pi(j-3)) \ B_i(j)] \times \mathbf{P}, \quad 3 \leq j \leq 512.$$

Другими словами, строки предыдущего транспонированного блока за исключением нулевых строк переставляются в соответствии с функцией перестановок $\pi(x)$.

Представление данной операции кодирования показано на рисунке 5.

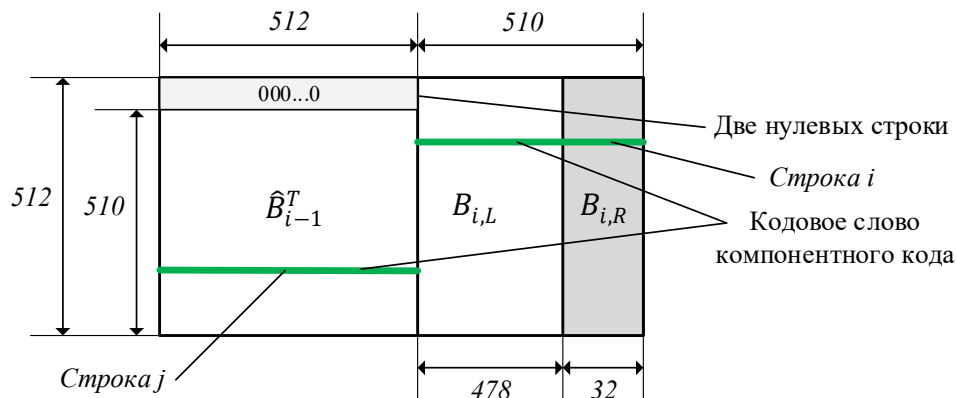


Рис. 5. Кодовые слова с учетом перестановок

Введенные в конструкцию лестничного помехоустойчивого кода изменения не меняют корректирующие свойства кода, которые определяются, в первую очередь, выбором примитивного кода БЧХ, однако существенным образом изменяют проверочную и порождающую матрицы кода и модифицируют векторное подпространство кода. Поэтому, меняя таблицу перестановок, можно построить достаточно большое множество эквивалентных лестничных помехоустойчивых кодов с

одной и той же скоростью кодирования и размером блока B_i .

Аналитическая модель лестничного помехоустойчивого кода

Для аналитического описания процесса кодирования введем следующие обозначения:

\mathbf{I}_1 – прямоугольная матрица размерности $m \times (2m - r)$, первые m столбцов которой содержат данные закодированного на предыдущем шаге блока B_{i-1}^T , оставшиеся $(m - r)$ столбцов заполнены нулями;

\mathbf{I}_2 – прямоугольная матрица размерности $m \times (2m - r)$, первые m столбцов которой заполнены нулями, оставшиеся $(m - r)$ столбцов содержат очередную порцию информации для кодирования $B_{i,L}$;

\mathbf{Z} – матрица перестановок строк блока B_{i-1}^T , определяется функцией перестановок $\pi(x)$;

$\mathbf{G} = [\mathbf{E} \ \mathbf{P}]$ – порождающая матрица размерности $k \times n$ компонентного помехоустойчивого (n, k) кода в систематической форме, \mathbf{E} – единичная подматрица размерности $k \times k$, \mathbf{P} – проверочная подматрица размерности $k \times (n - k)$.

С учетом введенных обозначений описанный в предыдущем разделе процесс кодирования лестничным кодом может быть представлен в матричной форме следующей совокупностью выражений:

$(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T$ – перестановка строк в блоке B_{i-1}^T перед кодированием;

$(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T + \mathbf{I}_2$ – формирование строк из двух блоков B_{i-1}^T и $B_{i,L}$ для кодирования компонентным кодом;

$[(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{G}$ – операция кодирования компонентным систематическим кодом, которая выполняется путем вычисления проверочных разрядов кодового слова:

$$\mathbf{U} = [(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{P},$$

\mathbf{U} фактически представляет собой подматрицу проверок $B_{i,R}$;

$\mathbf{C} = [\mathbf{I}_1 \ \mathbf{I}_2 \ \mathbf{U}]$ – матрица, состоящая из кодовых слов компонентного кода.

Общее выражение, описывающее процесс кодирования:

$[(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{G} \rightarrow [\mathbf{I}_1 \ \mathbf{I}_2 \ [(\mathbf{I}_1^T \times \mathbf{Z})^T + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{P}]$ Знак равенства между левой и правой частями данного выражения ставить нельзя, поскольку при вычислении кодовых слов используется операция перестановки строк в матрице $A = [B_{i-1}^T \ B_{i,L}]$. Левая часть выражения представляет собой последовательность операций по преобразованию информационных блоков, а правая – результат кодирования. Это выражение можно преобразовать к виду:

$$[\mathbf{Z}^T \times \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{G} \rightarrow [\mathbf{I}_1 \ \mathbf{I}_2 \ [\mathbf{Z}^T \times \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2] \times \mathbf{P}].$$

Последнее выражение позволяет описывать все известные в настоящее время способы построения лестничных помехоустойчивых кодов и создавать имитационные модели лестничных кодов в среде Matlab.

Заключение

Создание лестничных помехоустойчивых кодов, безусловно, является достижением в теории и практике помехоустойчивого кодирования. Следует заметить, что теоретические основы построения лестничных кодов в литературе отсутствуют. Лестничный код можно рассматривать и как новый класс помехоустойчивых кодов, и как новый способ построения каскадной конструкции помехоустойчивого кода. От известных классов помехоустойчивых кодов лестничные коды отличаются наличием теоретически бесконечной памяти в последовательности блоков кодовых слов. В сравнении с каскадными конструкциями кодов-произведений лестничные коды обладают лучшими дистанционными свойствами.

Предлагаемая модель лестничного кода представлена совокупностью математических выражений, описывающих операции кодирования лестничным кодом. Модель позволяет анализировать свойства существующих разновидностей лестничных кодов и может выступать в качестве основы для синтеза их модификаций. Совокупность аналитических выражений предлагаемой модели допускает возможность имитационного моделирования в среде Matlab.

Литература

1. *Smith B.P., Farhood A., Hunt A., Kschischang F. R., Lodge J.* Staircase codes: FEC for 100 Gb/s OTN // *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, no. 1, pp. 110-117, Jan 2012.
2. ITU-T G.709.2/Y.1331.2 (2018), OTU4 long-reach interfaces.
3. OIF-400ZR-01.0 // Implementation Agreement 400ZR Optical Internetworking Forum for a 400ZR Coherent Optical interface, March 10, 2020.
4. *Кларк Дж., мл., Кейн Дж.* Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. М.: Радио и связь, 1987. 391 с.
5. *Блейхут Р.* Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 1986. 576 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Фам Хонг Шанг,
МАДИ, аспирант, Москва, Россия
sang18698@mail.ru

Сидоров Кирилл Михайлович,
МАДИ, канд. техн. наук, доцент, Москва, Россия
k.sidorov@bk.ru

Аннотация

Сохраняющиеся на протяжении нескольких последних лет темпы роста количества электрических автотранспортных средств создают острую необходимость в совершенствовании и дальнейшем развитии систем и технологий зарядной инфраструктуры. В данной статье кратко изложены существующие проблемы в области эксплуатации электромобилей, на уровне актуальных задач показана взаимосвязь транспорта и электроэнергетики, рассмотрены различные аспекты совершенствования зарядной инфраструктуры, как на уровне единичной станции, так и централизованной сети.

Ключевые слова: зарядная инфраструктура, электромобили, проблемы и решения.

Системы электропитания являются составной частью любого радиооборудования: спутникового [7], интернета вещей [8], навигационного [9-10], радиоприемного [11-12], радиопередающего [13], измерительного [14], для сетей цифрового телерадиовещания [15-19] и их основных усилительных блоков [20-27]. Проведенный в соответствии с [28-35] наукометрический анализ литературы по данному направлению показал, что в настоящее время большинство преобразователей использует принципы широтно-импульсной модуляции [36-39].

Переход к чистой и возобновляемой энергетике становится глобальным приоритетом [1]. Популяризация использования электромобилей является важной частью этой стратегии, а для обеспечения эффективности этого процесса необходима инфраструктура зарядных станций. В связи со значительным увеличением количества электромобилей в последние годы [2] спрос конечных потребителей на заряд электромобилей увеличился. Развитие инфраструктуры зарядных станций гарантирует, что пользователи смогут легко заряжать свои транспортные средства. Развитая и современная сеть электрических зарядных станций может способствовать использованию возобновляемых источников энергии для электромобилей и, как следствие, повышению их экологической эффективности. Чтобы воспользоваться всем потенциалом развивающихся инноваций в области электромобилей, включая технологии химических источников тока и технологии быстрого заряда, развитие инфраструктуры зарядных станций для электромобилей предлагает множество возможностей.

С учетом современных тенденций и актуальных проблем развития автотранспортного комплекса можно выделить следующие задачи и направления решений в деле дальнейшего совершенствования зарядной инфраструктуры для электромобилей.

1. Повышение доступности зарядных станций. Решение данной задачи связано с увеличением количества доступных ЭЭС постоянного тока, развитием сетей ЭЭС с учетом их оптимизированного размещения, в том числе в общественных местах с высокой концентрацией личного автотранспорта. Увеличение количества ЭЭС постоянного тока и места их размещения должны согласовываться как с текущим состоянием городской инфраструктуры и технологическими возможностями системы электроснабжения, так и планами по их комплексному развитию. ЭЭС должны быть повсеместно доступны в местах общего пользования, таких как парковочное пространство торгово-развлекательных, бизнес и фитнес-центров [3], расширение сетей ЭЭС вдоль транспортных магистралей также обеспечивает удобство использования электромобилей.

2. Увеличение мощности заряда тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ). Одной из проблем эксплуатации электрических автономных транспортных средств является длительный процесс восполнения энергии ТАБ. Сокращение времени пребывания водителя электромобиля в пункте заряда возможно за счет увеличения выходной мощности электрических зарядных станций (ЭЭС). Это повышает удобство использования электротранспорта, однако, в свою очередь, влечет за собой другие сопутствующие проблемы. Среди них – технологические, связанные с доступной мощностью электриче-

ской сети, а также эксплуатационные, связанные со снижением ресурса ТАБ [4]. В связи с этим, в условиях растущего спроса на электромобили, актуальными являются взаимосвязанные задачи комплексного повышения энергетической эффективности зарядных станций, обеспечения доступной мощности электрических сетей и совершенствования процесса заряда ТАБ.

3. Оптимизация энергопотребления в зарядной инфраструктуре. Относительно новый и мощный потребитель – тяговые аккумуляторные батареи электромобилей – с одной стороны, повышают нагрузку на существующую систему электроснабжения в целом, с другой – могут служить инструментом выравнивания ее профиля [5]. Решение указанной задачи сопряжено с необходимостью внедрения и эксплуатации ЭЭС с несколькими зарядными портами различного типа (CCS, CHAdeMO, GB/T и Type 2). Указанное решение, наряду с универсальностью в части совместимости с электромобилями различных производителей, обеспечивает рациональное использование парковочного пространства и возможность одновременного обслуживания нескольких транспортных средств, в том числе с динамическим распределением мощности между ними.

4. Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления работой ЭЭС. Интеллектуализация сетей ЭЭС может способствовать оптимальному по критерию энергопотребления и загрузки ЭЭС управлению зарядной инфраструктурой [6], главным образом, за счет координации пользователей, управления спросом на электроэнергию и динамическим ценообразованием. Комплексный подход к повышению удовлетворенности как потребителей, так и сетевых компаний в условиях конкурентного рынка и наличия различных производителей ЭЭС требуют систематизации и централизации управления зарядной инфраструктурой. Как минимум, на том уровне, который позволит конечным потребителям видеть полную картину доступных ЭЭС и устранить необходимость точного и заблаговременного планирования своего маршрута с учетом необходимости восполнения энергии на пути следования. Указанное решение связано с необходимостью создания единой системы взаимодействия всех участников и пользователей сетей ЭЭС.

Заключение

В условиях растущего парка электромобилей неотъемлемым является совершенствование и дальнейшее развитие инфраструктуры зарядных станций. Указанные процессы связаны с необходимостью решения целого ряда задач, затрагивающих одновременно несколько отраслей – транспорт и электроэнергетику. Эти задачи и пути их решения объединяют производителей электромобилей и зарядных станций, сетевых и энергосбытовых компаний, операторов сетей ЭЭС и конечного потребителя. Комплексный подход и сохранение этих взаимосвязей являются залогом действительно эффективного развития перспективных транспортных средств.

Литература

1. Hassan Q., Viktor P., Al-Musawi T.J., Ali B.M., Algburi S., Alzoubi H.M., Al-Jiboory A.K., Sameen A.Z., Salman H.M., Jaszczur M. The renewable energy role in the global energy Transformations // *Renewable Energy Focus*. 2024. Vol. 48. Art. No. 100545. DOI 10.1016/j.ref.2024.100545.
2. International Energy Agency, Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate Ambitions. in *Global EV Outlook*. OECD, 2023. DOI: 10.1787/cbe724e8-en.
3. Tietge U., Mock P., Lutsey N., Campestrini A. Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe // *International Council on Clean Transportation*. 2016. Vol. 49, pp. 847129-102.
4. Duru K.K., Karra C., Venkatachalam P., Betha S.A., Anish Madhavan A., Kalluri S. Critical insights into fast charging techniques for lithium-ion batteries in electric vehicles // *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*. 2021. Vol. 21, No. 1, pp. 137-152. DOI 10.1109/TDMR.2021.3051840.
5. Thangavel S., Mohanraj D., Girijaprasanna T., Raju S., Dhanamjayulu C., Muyeen S.M. A Comprehensive Review on Electric Vehicle: Battery Management System, Charging Station, Traction Motors // in *IEEE Access*. 2023. Vol. 11, pp. 20994-21019. DOI 10.1109/ACCESS.2023.3250221.
6. Sachan S., Sanchari D., Niwas S.S. Different charging infrastructures along with smart charging strategies for electric vehicles // *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 60. P. 102238. DOI 10.1016/j.scs.2020.102238.
7. Pastukh A., Tikhvinskiy V., Dymkova S.S., Varlamov O.V. Challenges of using the L-band and S-band for direct-to-cellular satellite 5G-6G NTN systems // *Technologies*. 2023. T. 11. № 4. С. 110.
8. Дымкова С.С. Облачные IOT платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // *REDS: Телекоммуникационные устройства и системы*. 2020. Т. 10. № 4. С. 39-50.
9. Dymkova S.S. Earth observation and global navigation satellite systems analytical report part I (aviation and space) // *Synchroinfo Journal*. 2022. Т. 8. № 1. С. 30-41.

10. *Дымкова С.С., Дымков А.Д.* Multifactorial methodology of cycling routes time calculation based on 3D maps // В сборнике: 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. С. 9416046.
11. *Варламов О.В.* Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 9. С. 39-42.
12. *Пестряков А.В., Дымкова С.С.* Синхронизация. Итоги 50-ти лет развития в СССР и России // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 11. С. 27-34.
13. *Варламов О.В.* Максимальная мощность коммутируемого р-и-п диодами антенно-согласующего устройства диапазона ВЧ при рассогласовании нагрузки // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 10. С. 26-32.
14. *Варламов О.В., Лаврушенко В.Г.* Критерии качества передающего устройства для стандарта DRM и измерительное оборудование // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2004. № 3. С. 44-48.
15. *Варламов О.В.* Организация одночастотных сетей цифрового радиовещания стандарта DRM. Особенности и результаты практических испытаний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 11. С. 4-20.
16. *Dolgopyatova A.V., Varlamov O.V.* Analysis of long-range VHF radio waves propagation to specify protection ratios between coexisting DRM+, RAVIS and IBOC systems // В сборнике: 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 - Conference Proceedings. 2021. С. 9488392.
17. *Варламов О.В.* Исследование цифрового радиовещания DRM в диапазоне СВ в зоне фединга // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 2. С. 41-45.
18. *Варламов О.В.* Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 1. С. 32-38.
19. *Варламов О.В., Варламов В.О., Долгопятова А.В.* Международная сеть DRM вещания для создания информационного поля в Арктике // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 9-16.
20. *Долгопятова А.В., Варламов О.В.* Интермодуляционные искажения в ключевых генераторах класса D с резистивной нагрузкой в режимах с переключением тока и мостовом // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 3. С. 4-13.
21. *Varlamov O.V.* Theoretical approach to calculating reverse intermodulation distortion in voltage mode class D RF power amplifiers // В сборнике: 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings. 2022.
22. *Варламов О.В.* Интермодуляционные искажения в ключевых генераторах класса D с резистивной нагрузкой в режиме переключения напряжения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 10. С. 4-11.
23. *Нгуен Д.К., Варламов О.В.* Имитационная модель для исследования работы ключевых ВЧ-усилителей мощности с раздельным усилением составляющих на узкополосную нагрузку // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т. 14. № 2. С. 10-18.
24. *Нгуен Д.К., Варламов О.В.* Зависимость уровня искажений выходного сигнала передатчика современных телекоммуникационных сигналов с разделением составляющих от параметров фильтра тракта огибающей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 2. С. 12-26.
25. *Варламов О.В.* Построение мощных широкополосных усилителей постоянного тока модуляционного тракта передатчиков с раздельным усилением составляющих // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 11. С. 4-14.
26. *Варламов О.В., Нгуен Д.К., Грычкин С.Е.* Комбинирование синтетических методов высокоэффективного высокочастотного усиления // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 9. С. 11-16.
27. *Varlamov O., Nguyen D.C., Grebennikov A.* Broadband and efficient envelope amplifier for envelope elimination and restoration/envelope tracking higher-efficiency power amplifiers // Sensors. 2022. Т. 22. № 23. С. 9173.
28. *Варламов О.В., Дымкова С.С., Городилова М.В.* Авторские профили в наукометрических базах данных // Учебно-методическое пособие. Москва, 2020.
29. *Дымкова С.* Collaboration enhancing between industry staff and university researchers in international scientific communications system // В сборнике: International Conference on Engineering Management of Communication and Technology. New York, 2022. С. 51-57.
30. *Дымкова С.С.* Наукометрический анализ научных коллабораций // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2023. Т. 12. № 4. С. 30-39.
31. *Дымкова С.С.* Новые принципы организации функционирования систем по продвижению результатов научных исследований // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2017. Т. 8. № 1. С. 34-37.
32. *Дымкова С.С.* Повышение эффективности функционирования информационных систем и процессов в высшей школе // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2017. Т. 6. № 2. С. 45-48.
33. *Лернер И.М., Карелина Е.А., Григорьев С.Г., Байков Ф.Ю., Дымкова С.С., Ильин В.И.* Модель отбора информационных ресурсов на базе теории поколений, наукометрии и факторной методики исследования

личности как инструмент развития глобальных цифровых платформ // Научные и технические библиотеки. 2024. № 1. С. 15-50.

34. *Лернер И.М., Байков Ф.Ю., Карелина Е.А., Григорьев С.Г., Сычев А.С., Дымкова С.С.* Построение типичных профилей обучаемых поколения z для повышения качества образовательного процесса // Информатика и образование. 2023. Т. 38. № 6. С. 5-13.

35. *Дымкова С.С.* Разработка программы учебной дисциплины "основы научной коммуникации" по специальности "системный анализ и обработка информации" // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2022. Т. 11. № 4. С. 36-42.

36. *Грычкин С.Е., Захаров А.М., Варламов О.В.* Методика расчета КПД ШИМ модулятора на GAN FET транзисторах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 9. С. 19-27.

37. *Varlamov O.V.* Multiphase PWM characteristics in the EER transmitter envelope path // В сборнике: 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2021 - Proceedings. 2021. С. 9619166.

38. *Nguyen D.C., Gromorushkin V.N., Varlamov O.V.* Theoretical comparison of different envelope elimination and restoration transmitter PWM modulator configurations to expand the possible antenna mismatch // Sensors. 2023. Т. 23. № 23. С. 9466.

39. *Грычкин С.Е., Захаров А.М., Варламов О.В.* Методика расчета КПД ШИМ модулятора на GAN FET транзисторах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 9. С. 19-27.

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОТ УСТРОЙСТВ В СЕТИ 5G С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NETWORK SLICING

Шорин Петр Викторович,

Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия,
pshorin@bk.ru

Ларин Александр Иванович,

Московский технический университет связи и информатики, кандидат технических наук, доцент,
Москва, Россия,
a.i.larin@mtuci.ru

Аннотация

В статье рассмотрен ряд аспектов информационной безопасности Промышленного интернета вещей (IIoT) в мобильной сети пятого поколения. Описаны примеры инцидентов в сфере информационной безопасности и приведена статистика потребностей предприятий и организаций в увеличении уровня защиты. Представлена процедура аутентификации в протоколе 5G-AKA и определены условия проведения вторичной аутентификации. Представлены результаты исследования технологии Network Slicing, разделение физической сети на виртуальные слои, а также результаты анализа решения по повышению уровня информационной безопасности с помощью совместном применения технологии Network Slicing и вторичной аутентификации.

Ключевые слова: *Пятое поколение мобильной связи, 5G, Промышленный интернет вещей, IIoT, Network Slice, Аутентификация устройств.*

Введение

Информационная безопасность является растущей потребностью практически для любой организации, но еще в большей степени подобная потребность актуальна для компаний, которые активно развивают производство или предоставление услуг на основании Промышленного интернета вещей (IIoT). Так как множество узлов и устройств системы IIoT имеют доступ к сети Интернет и являются потенциальными объектами атак, требуется постоянное совершенствование в области предотвращения несанкционированного доступа, использования, раскрытия, искажения, изменения, исследования, записи или удаления информации [1]. Важность проблемы подтверждается ранее возникшими инцидентами:

- Вирус Stuxnet в 2009 году привел в негодность центрифуги обогащения урана и приостановил ядерную программу Ирана.
- В 2016 году произошла одна из самых крупных атак с применением вируса botnet Mirai. С зараженных устройств IoT была совершена DDoS-атака на один из крупнейших DNS-провайдеров Dyn DNS [2].
- В 2018 году эксперты компании Positive Technologies обнаружили группировку TaskMasters основной целью которой являются кражи конфиденциальной информации промышленных компаний. В одной из компаний наиболее ранние следы присутствия группировки в инфраструктуре датировались 2010 годом. Установить личность членов группировки не удалось [3].

Актуальность проблематики отражается и в статистике безопасности промышленных и государственных предприятий. Более 90% глобальных и правительственных компаний признали, что в течение 12 месяцев столкнулись с инцидентами, связанными с безопасностью. На рисунке 1 представлена степень беспокойности бизнеса по вопросам информационной безопасности с разделением по отраслям [5].



Рис. 1. Доля скомпрометированного удаленного доступа в зависимости от количества устройств IIoT на предприятии.

Организации с более глубоким внедрением системы промышленного интернета вещей чаще подвергаются атакам, связанным со скомпрометированным удаленным доступом. На рисунке 2 демонстрирует, что при наличии на предприятии более 6000 IIoT устройств доля попыток скомпрометировать удаленный доступ превышает 50% от всех атак [5].



Рис. 2. Доля скомпрометированного удаленного доступа в зависимости от количества устройств IIoT на предприятии.

Внедрение пятого поколения мобильных сетей способствует возрастанию количества объектов для атак, так как позволит увеличить количество используемых IIoT устройств благодаря предоставлению:

- Большой скорости, пропускной способности и меньшей сетевой задержки.
- Более низкого энергопотребления устройств.
- Подключения большего количества устройств [4] [6].

В решении проблем информационной безопасности смогут помочь такие технологии 5G как повторная аутентификация и Network Slicing.

Результаты исследований

1. Алгоритм первичной и вторичной аутентификации в сети 5G

Сети пятого поколения в отличие от сетей 4G используют процедуру аутентификации состоящую из двух элементов — первичной и вторичной аутентификации. Первичная аутентификация проводится на всех IIoT устройствах и чаще всего осуществляется на основании протокола 5G-AKA. Вторичная аутентификация интегрирована в архитектуру 5G и предназначена для аутентификации в сторонних сетях передачи, данных, находящихся за пределами сети текущего оператора связи. Вторичная аутентификация проводится на основе протокола EAP-AKA и опирается на взаимодействие с AAA-

сервером сторонней сети. AAA-сервер призван обеспечить защиту данных в информационных системах, а именно реализовать аутентификацию, авторизацию и аудит [7][8]. Осуществление первичной и вторичной аутентификации в сетях пятого поколения представлено на рисунке 3 и состоит из следующих этапов:

1. IoT устройство запрашивает установление сессии с функцией управления доступом Access Management Function (AMF). На этом этапе осуществляется первичная аутентификация устройства в домашней сети. AMF формирует параметр безопасности NAS, который представляет собой блок данных, содержащий параметры, переменные и ключи для обеспечения шифрования и мониторинга целостности данных на сервере Network-attached storage (NAS).

2. AMF направляет запрос на установление сессии в функцию управления сессиями Session Management Function (SMF) с указанием международного постоянного идентификатора подписки абонента (SUPI).

3. SMF контролирует сессии связи, сверяет с предоставленным SUPI учетные данные IoT устройства в унифицированной базе данных Unified Data Management (UDM).

4. SMF предоставляет в AMF результат проверки в UDM.

5. SMF запускает процесс аутентификации протокола EAP для получения от AAA-сервера внешней сети разрешения на установку сессии. Для этого SMF и устройство обмениваются запросами для запуска процедуры.

6. На следующем этапе устройство и AAA-сервер обмениваются запросами, чтобы осуществить аутентификацию и авторизацию устройства. При этом устройство направляет сообщения в SMF, который обменивается сообщениями с внешней сетью с помощью функции передачи данных пользователей User Plane Function (UPF).

Согласно представленному описанию аутентификации в сетях пятого поколения возможно отметить, что алгоритм предусматривает обязательную вторичную аутентификацию при регистрации устройства в сторонних сетях.

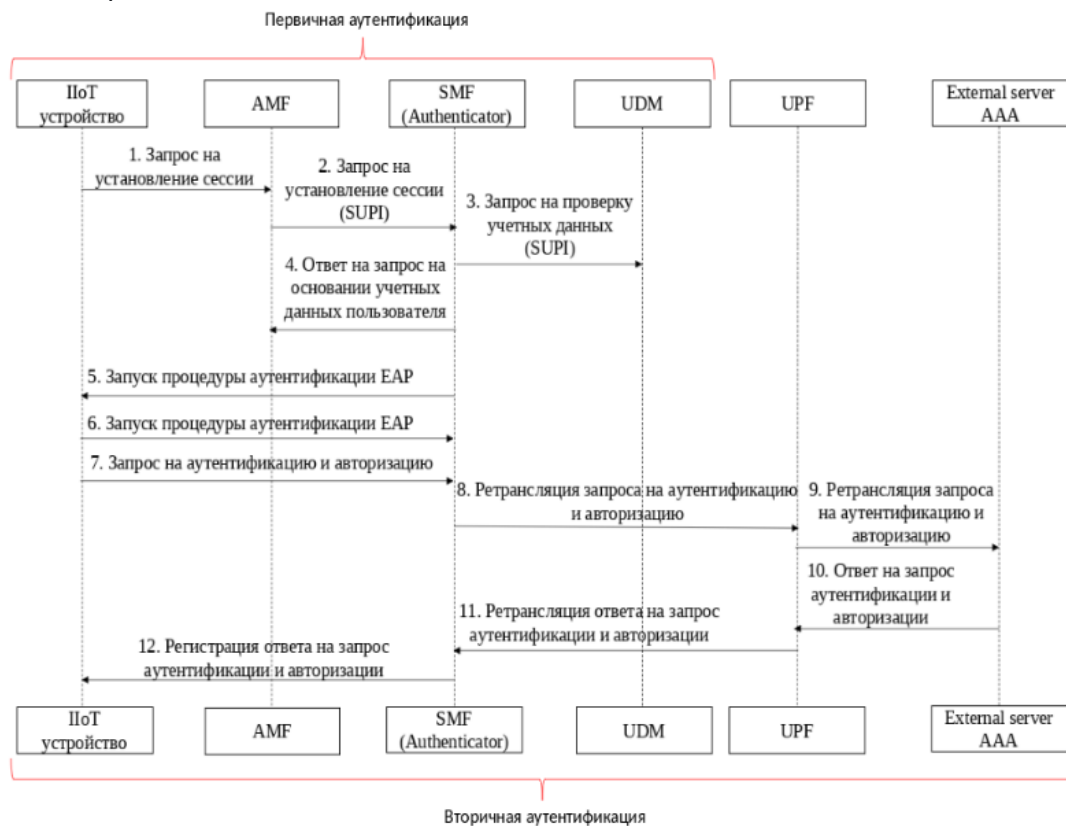


Рис. 3. Процесс проведения первичной и вторичной аутентификации в сетях 5G.

2. Описание технологии Network Slicing

Технология Network Slicing разделяет сеть на логические слои, что позволяет настроить и оптимизировать каждый слой сети под требования конкретной задачи [9]. Таким образом возможно разделе-

ние физической сети на несколько меньших виртуальных сетей. Архитектура мобильной сети в слоях не отличается от типовой архитектуры и содержит три основных составляющих:

1. Сеть доступа для IoT устройств – базовые станции, контроллеры, радиочастотное и сетевое оборудование.

2. Ядро сети – центральная система сети, которая предназначена для хранения абонентских данных, и отвечает за установление соединений, аутентификацию, мобильность внутри сети, межсетевой роуминг, выходы во внешние сети, начисление платы за предоставленные услуги связи.

3. Сеть передачи данных, которая соединяет всю сеть доступа и ядро сети.

Схема разделения сети на слои (слайсы) представлена на рисунке 4.

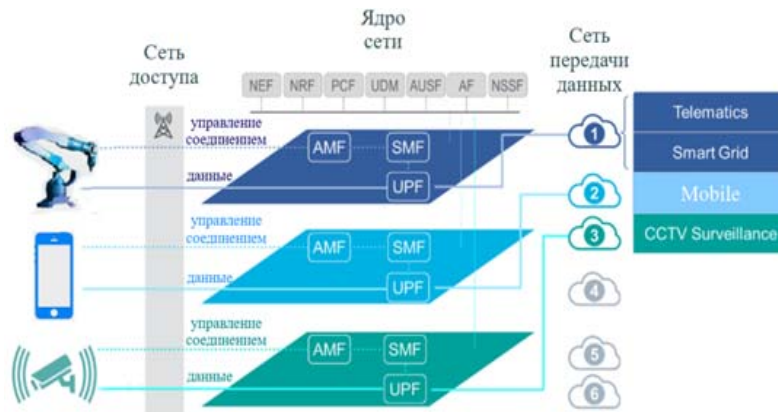


Рис. 4. Network Slicing. Схема разделения сети на слои (слайсы).

Слайс состоит из виртуальной сети радиодоступа (vRAN), которая обеспечивает подключение беспроводных устройств к сетевому ядру и к сети Интернет. В отличие от технологии RAN аппаратное обеспечение отделяется от программного. Программное обеспечение размещено в облаке, поэтому данные составляющие не требуется приобретать у единого поставщика. Сетевые функции ядра сети пятого поколения также виртуализированны и включают в себя минимальный набор:

- Функция управления доступом и мобильностью Access and Mobility Management Function (AMF), управляет соединениями сопоставляя регистрационные данные устройства с сервером, на котором содержатся данные всех устройств.

- Функцию управления сессиями Session Management Function (SMF) проводит обмен данными с внешней сетью с помощью функции передачи данных пользователей User Plane Function (UPF).

- User Plane Function отвечает за взаимодействие с внешними сетями передачи данных.

Состав и конфигурация слайса могут меняться в зависимости от потребностей. К остальным составляющим ядра слайса возможно отнести:

- Функция выбора сетевого слайса Network Slice Selection Function (NSSF) хранит информацию о архитектуре сформированных слоев.

- Унифицированная база данных Unified Data Management (UDM) – модуль управляет пользовательскими данными: профилями пользователей, идентификаторами пользователей (SUPI), а также обеспечивает генерацию учетных данных для аутентификации и авторизацию доступа на основе данных профиля пользователя.

- Хранилище сетевых функций Network Repository Function (NRF) – является хранилищем профилей всех развернутых на сети экземпляров сетевых функций.

- Функция обеспечения взаимодействия с внешними приложениями The Network Exposure Function (NEF) – отвечает за безопасное взаимодействие внешних платформ и приложений с опорной сетью пятого поколения.

- Функция контроля политики Policy Control Function (PCF) – отвечает за формирование и назначение необходимых политик, включая параметры качества обслуживания (QoS) и правила тарификации.

- Функция сервера аутентификации AUSF (Authentication Server Function) – выступает в качестве сервера аутентификации. Принимает и обрабатывает запросы от SEAF и перенаправляющего их в ARPF.

- Функция Application Function (AF) – взаимодействует с опорной сетью и отвечает за маршрутизацию трафика [10].

На основании представленного описания технологии Network Slicing возможно сделать вывод, что работа каждого из слайсов локальна и не влияет на другие слайсы и всю сеть.

3. Внедрение обязательной вторичной аутентификации PoT устройств с применением технологии Network Slicing

При организации на PoT предприятии работы обособленной сети пятого поколения возможно добиться более надежного уровня аутентификации, так как будет проводиться две процедуры аутентификации:

- 1-ая на уровне протокола 5G-AKA;
- 2-я на уровне протокола EAP-AKA.

Разрешить проблематику со строительством дополнительной инфраструктуры сети передачи данных в пределах контура PoT предприятия возможно благодаря технологии Network Slicing. Чтобы избежать длительного и дорогостоящего монтажа дополнительного сетевого оборудования, а также выделить отдельную сеть на территории предприятия предложено создать специализированную виртуальную частную сеть 5G, на основе уже существующей физической сети оператора связи. Такую сеть возможно гибко настраивать и оптимизировать под требования определенных промышленных интернет вещей. При этом AAA-сервер находится в рамках контура PoT предприятия.

Разделение PoT устройств на несколько различных слайсов и создание отдельного слайса для перевода в него зараженных устройств является инструментом, который позволит снизить уровень ущерба так, как позволит:

- Использовать специально выделенную функцию передачи данных устройств для маршрутизации зараженного трафика. Без пересечения с внутренним сервисам и внешними сетям.
- Сохранить доступ к зараженным устройствам с сохранением требуемого уровня изоляции и связи.

Схема изоляции зараженных PoT устройств с помощью слайсов представлена на рисунке 5.

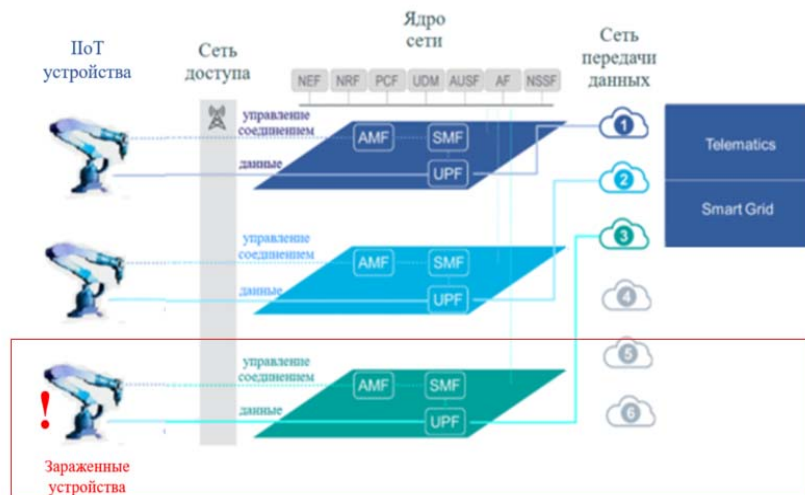


Рис. 5. Способ изоляции зараженных PoT устройств предприятия с помощью слайсов сети.

Заключение

Распространение пятого поколения мобильных сетей позволит все в большем количестве использовать привнесенные вместе с 5G технологии. Приведенный в статье способ повышения информационной безопасности в сегменте Промышленного интернета вещей (PoT) демонстрирует, что многие решения поставленных задач возможно находить на стыке применения технологий. Основными сферами применения Network Slicing являются увеличение быстродействия, предоставление необходимого уровня QoS и оптимизация работы подключенных к слайсу устройств, вместе с тем технология применима и для повышения устойчивости PoT-систем к нелегитимным попыткам аутентификации.

В описанном примере предложено решение, когда за счет настройки и конфигурации слайсов появляется возможность повышать информационную безопасность уже заложенными в протокол 5G-AKA и EAP-AKA методами.

Еще одним решением в области безопасности, которое способна предложить технология Network Slicing является карантин для зараженных устройств IoT. Основным достоинством такого карантина является возможность сохранения доступа к зараженному оборудованию без высокого риска распространения вируса на остальные устройства предприятия.

Литература

1. IR 7298 Rev. 2, Glossary of Key Information Security Terms – стандарт – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2013/NIST.IR.7298r2.pdf> – Дата обращения 21.07.2023
2. Kaspersky daily: Mirai выходит на бизнес-уровень, 20 марта 2019 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kaspersky.ru/blog/mirai-enterprise/22432/> – Дата обращения 21.07.2023
3. Operation TaskMasters: Кибершпионаж в эпоху цифровой экономики, 13 мая 2019 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/operation-taskmasters-2019/> – Дата обращения 21.07.2023
4. Сети 5G: за и против – статья – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/5g-pros-and-cons> – Дата обращения 21.07.2023
5. Vanson Bourne исследование рынка «Состояние промышленной безопасности в 2022 году», 14 июля 2022 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mysecuritymarketplace.com/reports/the-state-of-industrial-security-in-2022/> – Дата обращения 22.07.2023
6. Cem Dilmegan, «Top 4 Use Cases of 5G IoT in 2024», 4 января 2023 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://research.aimultiple.com/iot-5g/> – Дата обращения 10.01.2024
7. Network Slicing Security for 5G and 5G Advanced Systems, 23 мая 2023 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.3gpp.org/technologies/slicing-security> – Дата обращения 10.01.2024
8. Kamal Ali Alezabi, Fazirulhisyam Hashim, Shaiful J. Hashim, Borhanuddin M. Ali & Abbas Jamalipour, Efficient authentication and re-authentication protocols for 4G/5G heterogeneous networks, 20 мая 2020 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-020-01702-8> – Дата обращения 10.01.2024
9. Лидия Варукина, «Что такое Network Slicing», 21 декабря 2020 – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://telecomtimes.ru/2020/12/network-slicing/> – Дата обращения 11.12.2023
10. Безопасность сетей 5G – статья – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itechinfo.ru/content/безопасность-сетей-5g> – Дата обращения 25.05.2023

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ

Яковенко Наталья Викторовна,

МТУСИ, старший преподаватель кафедры СИТиС, к.т.н., доцент, Москва, Россия
nv1906.iakovenko@yandex.ru

Гадасин Денис Вадимович,

МТУСИ, заместитель заведующего кафедры СИТиС, к.т.н., доцент, Москва, Россия
dengadiplom@mail.ru

Коцич Лазарь,

МТУСИ, Москва, Россия
snill.ford19@gmail.com

Аннотация

Метод анализа иерархий широко используется для оптимизации информационных систем, с помощью него возможно рассчитать параметры, определяющие коэффициент влияния ошибок. Для повышения достоверности оценки значений весовых коэффициентов параметров системы предлагается применить метод обратного распространения ошибок. Реализация метода осуществляется на основе четырехэтапного алгоритма, который позволяет провести коррекцию весовых коэффициентов, представляющих влияние параметров системы на ее общую производительность. Данный процесс обеспечивает адаптацию системы к разнообразным условиям, включая изменения в конфигурации серверов и требования к надежности.

Ключевые слова: *Метод обратного распространения ошибок, весовые коэффициенты, производительность информационной системы, коррекция и оптимизация результата, нейронные сети, иерархия*

Введение

В наше время информационные системы играют важную роль в различных сферах, проблема точности коэффициента влияния ошибок становится более актуальной и значимой. Управление информационными процессами требует постоянного улучшения инструментов оценки и анализа, включая повышение точности коэффициента влияния ошибок. Необходимость повышения точности исходит из того, что даже малейшие ошибки могут существенно оказать влияние на работу информационных систем. Неточность коэффициентов влияния могут стать причиной недостаточной эффективности, снижению производительности и даже к критическим сбоям систем. В быстро развивающемся мире технологий и разрастающемся объеме данных требуется систематическое улучшение методов оценки и коррекции коэффициентов влияния ошибок.

Метод анализа иерархий широко используется для оптимизации информационных систем. Он предоставляет значения, определяющие коэффициент влияния ошибок, основываясь на структурном анализе параметров, однако требуется постоянное совершенствование и точность. В этом контексте метод обратного распространения ошибок представляет собой перспективный подход для улучшения и точного определения коэффициента влияния ошибок. Этот метод позволяет учесть множество параметров, обеспечивая более точные результаты и повышая надежность информационных систем. Работа направлена на исследование применения метода обратного распространения ошибок как инструмента для эффективного повышения точности коэффициента влияния ошибок на результаты работы информационной системы.

Первичные параметрические веса в оптимизации коэффициента влияния ошибок

При формировании оценки воздействия ошибок на работу информационных систем был использован алгоритм, основанный на методе анализа иерархии. Иерархию можно рассматривать как своего рода кластер, где верхний уровень можно выразить через центроид, а нижние уровни

являются составными частями кластера, кластерный анализ был проведен в работах [1-5]. Представленный на рисунке 1 алгоритм позволяет проводить систематический и точный анализ производительности, а также определять коэффициенты влияния ошибок. На рисунке данный алгоритм имеет краткое описание, далее рассматривается каждый этап отдельно.

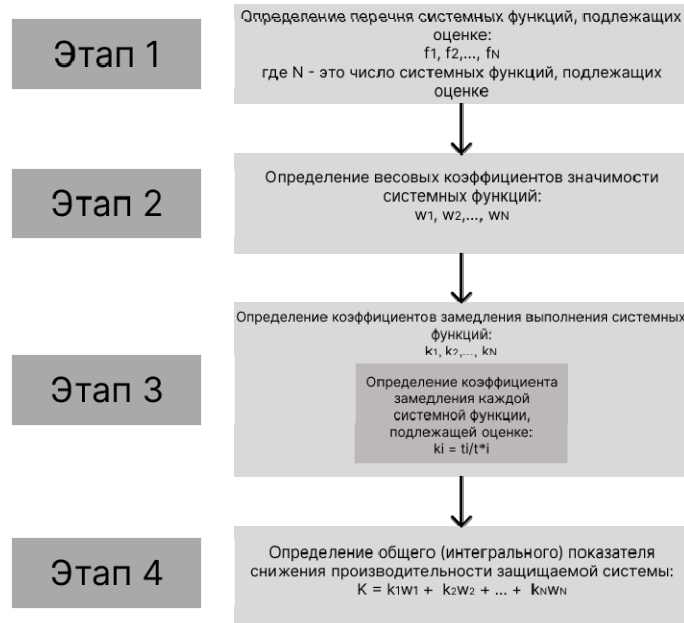


Рис. 1. Оценка степени влияния ошибок на производительность информационной системы

На первом этапе осуществляется детальное определение перечня ключевых системных функций, оказывающих существенное воздействие на производительность информационной системы. Этот перечень функций становится фундаментом для последующего анализа и оптимизации. На втором этапе происходит определение весовых коэффициентов для каждой выделенной системной функции. Присвоение весов позволяет учесть их значимость и воздействие на общую производительность. Далее проводится определение коэффициентов замедления выполнения системных функций. В ходе анализа факторов, которые влияют на задержку, раскрываются динамические аспекты работы информационной системы и их воздействие на конечные результаты. Работа информационной системы, ее уровень надежности и рассмотрение её структуры представлены в работах [6-9]. На заключительном этапе происходит объединение всех полученных данных в единый показатель снижения производительности. Обобщенная оценка влияния ошибок на систему служит основой для разработки двухуровневой модели (рис. 2).

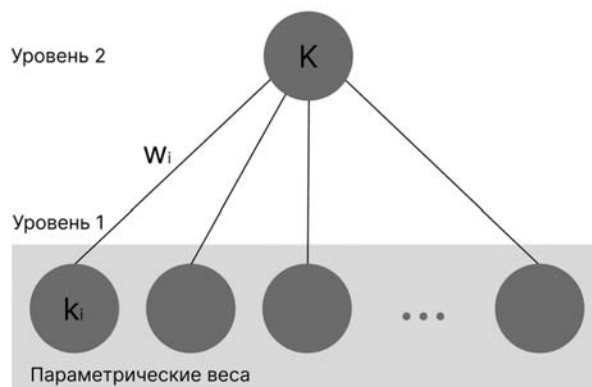


Рис. 2. Графическое представление двухуровневой модели с единым коэффициентом влияния ошибок

На основе этой модели разработана схема (рис. 2), где в верхней части отображен коэффициент влияния ошибок K , а линии, соединяющие его с параметрами k_i , представляют весовые коэффициенты w_i . Графическое представление возможно выразить через формулу (1):

$$K = \sum_{i=1}^n k_i w_i \quad (1)$$

Модель представления обеспечивает анализ и оптимизацию производительности параметров информационной системы. В данной работе модель с весами и коэффициентами можно сопоставить с маршрутизацией информации по сети, что было предметом внимания в [10-12]. Анализ данного аспекта выполнялся в работах, посвященных оптимизации сетевых структур и повышению эффективности передачи данных. Эти исследования формируют основу для понимания взаимосвязи между параметрами модели и общей производительностью сети.

Разработанный алгоритм и его графическая реализация в виде модели представляют собой эффективный инструмент для анализа и оптимизации коэффициентов влияния ошибок, обеспечивая систематичный и точный подход к оценке производительности информационных систем. На основе полученных данных и разработанной двухуровневой модели, следует углубиться в анализ коэффициента влияния ошибок K , который представляет собой не только обобщенную оценку, но и важный параметр, изменяющийся в пределах от минимального значения K_1 до максимального значения K_m . Данный диапазон значений отражает разнообразие воздействия ошибок на систему, позволяя учесть не только средние, но и экстремальные сценарии.

Исследование коэффициента влияния в пределах отрезка между K_1 и K_m становится ключевым этапом для полного понимания динамики воздействия ошибок на производительность. Путем изменения этого параметра можно оценить, как изменения влияния ошибок на каждый компонент системы влияют на общую производительность.

Кроме того, данная модель дает возможность более глубокого анализа весовых коэффициентов w_i и параметров k_i в различных точках отрезка K_1 - K_m . Этот подход позволяет выявить чувствительность системы к изменениям коэффициента влияния, выявить критические точки и обосновать стратегии оптимизации для различных сценариев. Методы иерархии, используемые для определения точек K_1 и K_m , обеспечивают систематический подход к управлению переменным коэффициентом влияния ошибок. Введение переменных значений K не только повышает надежность системы, но также обеспечивает более эффективное использование ресурсов в зависимости от текущего контекста. Ниже (рис. 3) представлено отображение диапазона $K=[K_1-K_m]$ вместе с ранее разработанной схемой.

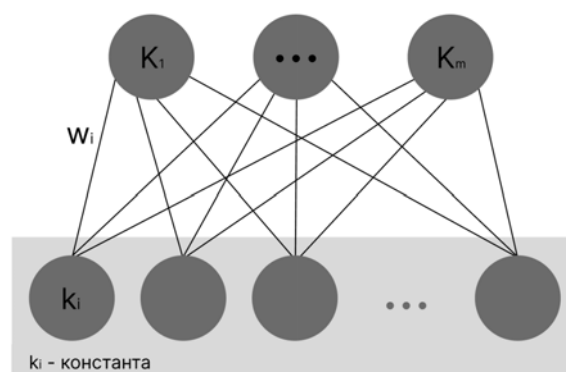


Рис. 3. Графическое представление двухуровневой модели с диапазоном коэффициентов влияния ошибок

Применение метода обратного распространения ошибок для оптимизации коэффициента влияния ошибок

Следуя разработанной двухуровневой системе, обращаем внимание на важность параметра k_i , который остается стабильным и константным в данной архитектуре. В то время как значения весовых коэффициентов w_i , отражающих влияние каждого параметра, могут изменяться в зависимости от конкретной конфигурации серверов.

Введение переменного диапазона значений для коэффициента влияния ошибок K в зависимости от различных уровней надежности и состояния каналов обеспечивает более гибкий и адаптивный характер системы. Влияние переменных значений коэффициента ошибок на производительность перекликается с исследованиями проведенными в [13-14].

Однако, анализируя полученную схему, следует отметить, что k_i остается неизменным, что может быть типичным для статических параметров системы, в то время как весовые коэффициенты w_i требуют более детальной коррекции. Для достижения оптимальной производительности и стабильного значения K в разнообразных условиях эксплуатации системы, переходим к введению метода обратного распространения ошибок. Более подробный анализ метода обратного распространения ошибок представлен в работе [15].

Важным аспектом расширения подхода является не только двухуровневая архитектура, но и возможность учета многоуровневой иерархии серверов. В реальной жизни системы могут включать большое количество серверов, что приводит к множественным уровням иерархии. Именно в этом контексте многоуровневую иерархию серверов можно сопоставить в виде архитектуры нейронной сети, представленной ниже (рис. 4).

Визуальное представление архитектуры нейронной сети четко демонстрирует влияние каждого уровня иерархии на общую производительность системы. Это открывает новые возможности для более глубокого исследования влияния различных конфигураций серверов на параметры системы, включая весовые коэффициенты и их воздействие на обобщенный коэффициент влияния ошибок K . В процессе дальнейшего анализа следует обратить внимание на связи между уровнями иерархии, представленные весовыми коэффициентами w_i .

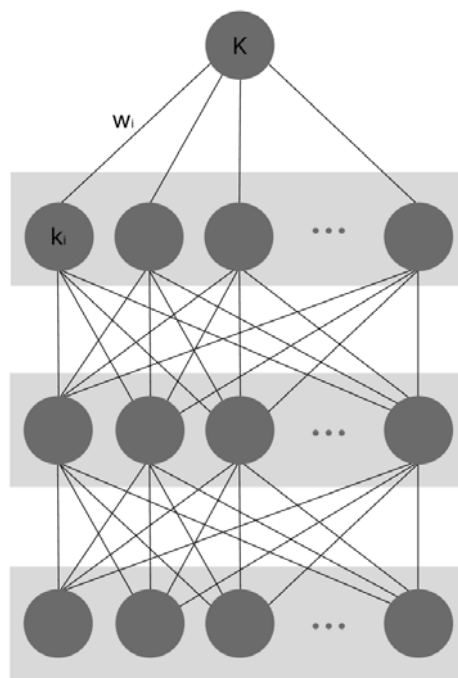


Рис. 4. Многоуровневая иерархия серверов в виде архитектуры нейронной сети

Для повышения достоверности оценок, рассмотрим дальнейший пример иерархической композиции приоритетов для клиента и сервера, включая задержки в передаче данных, обработке данных, доступе к ресурсам, вводе-выводе и работе с пользовательским интерфейсом, в котором необходимо рассмотреть степень ошибок и внести коррективы, представленные на рисунке 5. Следует рассмотреть влияние каждого параметра на общую производительность и оценить, насколько изначальные веса соответствовали реальности. Внесем параметры и веса в таблицу 1.

Теперь следует составить матрицы сравнения параметров. Для примера будет составлена одна матрица, все остальные матрицы делаются аналогичным образом.

Таблица 1

Параметры и их веса

Эффективность клиента	
Задержка в передаче данных	0,25
Задержка в обработке данных	0,2
Задержка в доступе к ресурсам	0,2
Задержка в вводе-выводе	0,15
Задержка в работе с пользовательским интерфейсом	0,2
Эффективность сервера	
Задержка в передаче данных	0,35
Задержка в обработке данных	0,2
Задержка в доступе к ресурсам	0,15
Задержка в вводе-выводе	0,1
Задержка в работе с пользовательским интерфейсом	0,2

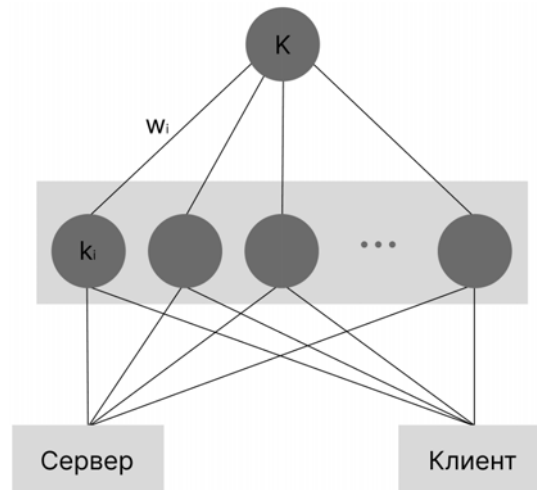


Рис. 5. Иерархическая модель влияния клиента и сервера на коэффициент влияния ошибок

Следует рассмотреть задержку в передаче данных со стороны клиента. Сравнивается задержка в передаче данных с каждым другим параметром. В случае если задержка в передаче данных важнее другого параметра, то ставится соответствующая оценка. Таким образом, создается матрица сравнения для задержки в передаче данных:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 2 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ \frac{1}{2} & 2 & 2 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Это матрица, в которой каждый элемент a_{ij} представляет отношение важности параметра i к параметру j . В результате, получается матрица, в которой каждый элемент представляет собой относительную важность одного параметра к другому и аналогичным образом формируются остальные матрицы. Эти матрицы затем используются для вычисления векторов приоритетов и обобщенной оценки влияния ошибок на систему.

Теперь следует рассмотреть общую производительность системы и рассчитать, насколько была произведена ошибка в исходных оценках относительных весов. Для этого следует воспользоваться методом анализа иерархий для расчета локальных и глобальных приоритетов и тем самым в результате получаем следующие собственные значения: для клиента λ в задержке передачи данных составляет 2,034, в то время как для сервера λ составляет 3,534. Для остальных же параметров собственные значения составляют $\lambda=1$. Чтобы оценить, насколько была произведена ошибка, следует посмотреть на разницу между максимальным и минимальным собственными значениями для каждого параметра. Для всех параметров разница равна 0, кроме задержки в передаче данных, где результат составляет 1,5.

Основываясь на анализе иерархий, были вычислены ошибки для каждого параметра путем выявления отклонения в оценках. Далее, для оптимизации весов и коэффициентов и стремясь обеспечить стабильность и оптимальное соотношение между производительностью и надежностью, следует внедрить метод обратного распространения ошибок. В целях повышения качества информационных систем необходимо проводить мероприятия, связанные с тестированием как программного, так и аппаратного (физического и виртуального) обеспечения, что отмечается в [16-22].

Метод обратного распространения ошибок становится неотъемлемым элементом для уточнения весовых коэффициентов и обеспечения требуемого значения K . Учитывая, что веса были предварительно рассчитаны, их необходимо подвергнуть коррекции с целью обеспечения устойчивого и желаемого коэффициента влияния ошибок.

Метод обратного распространения ошибок представляет собой эффективный алгоритм обучения нейронных сетей, который широко используется для уточнения весовых коэффициентов и повышения точности модели. В контексте данной работы, этот метод становится ключевым инструментом для коррекции весовых коэффициентов w_i .

Процесс работы метода обратного распространения ошибок можно разделить на несколько этапов. Первый этап – прямое распространение. На этом этапе данные передаются через нейронную сеть от входного слоя к выходному. Каждый нейрон выполняет взвешенную сумму входных данных, умноженных на соответствующие весовые коэффициенты, и применяет активационную функцию. Вторым этапом является вычисление ошибки. Оценивается разница между фактическим выходом нейронной сети и ожидаемым выходом. Ошибка вычисляется с использованием функции потерь, которая измеряет расхождение между предсказанными и желаемыми значениями. Третьим этапом является обратное распространение ошибок. Здесь ошибка передается назад через сеть с целью коррекции весовых коэффициентов. Градиент ошибки относительно каждого весового коэффициента вычисляется с использованием частных производных, а весовые коэффициенты корректируются в направлении, уменьшающем ошибку, с учетом скорости обучения. Последним этапом является обновление весов. Обновленные весовые коэффициенты применяются к нейронной сети. Процесс прямого и обратного распространения повторяется на нескольких эпохах обучения для оптимизации весов.

В контексте работы, применяется метод обратного распространения ошибок для коррекции весовых коэффициентов w_i , представляющих влияние параметров k_i на общую производительность системы. Этот процесс обеспечивает адаптацию системы к разнообразным условиям, включая изменения в конфигурации серверов и требования к надежности.

Теперь следует представить, что имеется L слоев (включая входной и выходной слой) и следует обозначить ошибку на выходе как E . Из этапов, представленных выше, выводим следующие формулы:

$$\delta^{(L)} = -\frac{\delta E}{\delta a^{(L)}} \cdot f'(Z^{(L)}) \quad (3)$$

где $a^{(L)}$ – активации на слое L .

$$\delta^{(l+1)} = \left[(W^{(l+1)})^T \delta^{(l+1)} \right] \cdot f'(Z^{(l)}) \quad (4)$$

где $f'(Z^{(l)})$ – производная функции активации, $\delta^{(l+1)}$ – градиент на слое l , $W^{(l)}$ – матрица весов на слое l , $Z^{(l)}$ – взвешенная сумма входов на слое l .

$$\frac{\delta E}{\delta W^{(l)}} = a^{(l-1)} \cdot (\delta^{(l)})^T \quad (5)$$

$$W^{(l)} = W^{(l)} - a \cdot \frac{\delta E}{\delta W^{(l)}} \quad (6)$$

где a – скорость обучения.

Эти формулы рекурсивно применяются ко всем слоям нейронной сети, где (3) – градиент на выходном слое, (4) – обратное распространение градиента, (5) – градиент по весам, (6) – обновление весов. В данной работе о повышении точности коэффициента влияния ошибок с использованием метода обратного распространения эти формулы адаптируются, чтобы веса w_i представляли параметры k_i на каждом уровне. Тогда, так как K – это обобщенный коэффициент влияния ошибок, то его можно представить в виде взвешенной суммы параметров с весами, что было представлено в формуле (1). Обратное распространение ошибок помогает оптимизировать веса w_i , чтобы достичь наилучшего значения для обобщенного коэффициента влияния ошибок K .

Заключение

Проведенная работа направлена на улучшение точности коэффициента влияния ошибок в информационных системах. Исходя из анализа клиент-серверной архитектуры с использованием метода анализа иерархий, были определены весовые коэффициенты параметров, представляющих важность каждого элемента в системе. Однако, в условиях постоянно меняющегося цифрового ландшафта и растущей сложности информационных систем, стало ясно, что требуется систематическое улучшение методов оценки.

Для повышения точности коэффициента влияния ошибок был рассмотрен и применен метод обратного распространения ошибок. Этот метод предоставил эффективный инструмент для коррекции весовых коэффициентов, учитывая различные уровни надежности функционирования и состояния каналов. Анализ структуры системы и ее параметров был представлен в виде двухуровневой системы, а также визуализирован с использованием архитектуры нейронной сети.

Итоговая модель, представленная в виде графической схемы, позволяет более точно определить коэффициент влияния ошибок, предоставляя системе гибкость в зависимости от изменяющихся условий. Применение метода обратного распространения ошибок в этом контексте становится ключевым элементом для обеспечения надежности и эффективности информационных систем в динамичной среде современных технологий. Полученные результаты подчеркивают важность постоянного совершенствования методов оценки и коррекции коэффициентов влияния ошибок для обеспечения бесперебойного функционирования информационных систем.

Литература

1. Мелькова Е.К., Шведов А.В., Трмасова Л.А., Гадасин Д.В. Организация кластера исходя из функции принадлежности // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2023. Т. 14, № 1. С. 30-39. EDN CNVIJU.
2. Шведов А.В., Гадасин Д.В., Мелькова Е.К. Детерминация центраида кластера исходя из кластерного взаимодействия // Телекоммуникационные и вычислительные системы: Юбилейный сборник трудов тридцатого международного научно-технического форума, Москва, 12-15 декабря 2022 года. М.: Издательство МБА, 2022. С. 135-140. EDN RMZQTH.
3. Гадасин Д.В., Шведов А.В., Кольцова А.В. Вероятностная оценка построения виртуального кластера // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2021. Т. 1. С. 87-92. EDN BCNSGB.
4. Гадасин Д.В., Кольцова А.В., Гадасин Д.Д., Полякова А.Н. Оценка вероятности формирования виртуального кластера // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2021. Т. 12, № 1. С. 4-12. EDN KYUZGY.
5. Gadasin, D.V., Koltsova A.V., Gadasin D.D. Algorithm for Building a Cluster for Implementing the 'Memory as a Service' Service in the IoT Concept // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, Moscow, 16-18 марта 2021 г. P. 9416112. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416112. EDN VRPCFG.
6. Акимов Г.П., Соловьев А.В. Методология оценки надежности иерархических информационных систем. // Системный подход к управлению информацией. Труды ИСА РАН. Т. 23. М.: КомКнига, 2006. С. 18-47.

7. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем: методы анализа. М.: Журнал «Надежность», 2012. 216 с.
8. Золотарева П.Ю., Гадасин Д.В., Маклачков К.А. Методы обработки информации в распределенных информационных системах // Тенденции развития Интернет и цифровой экономики: Труды VI Международной научно-практической конференции, Симферополь-Алушта, 01-03 июня 2023 г. Симферополь: ИП Зуева, 2023. С. 187-189. EDN LGONZK.
9. Гадасин Д.В., Каледина А.В. Использование современных средств мониторинга для анализа состояния IT-систем // Технологии информационного общества: Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 18-19 марта 2020 г. М.: Издательский дом Медиа Паблишер, 2020. С. 267-269. EDN XAPWGD.
10. Гадасин Д.В., Шведов А.В., Егорова Ю.Д., Шайдулина И.Р. Применение метода мажоритарного кодирования для определения оптимального маршрута передачи данных в сети // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2023. Т. 13, № 1. С. 20-30. EDN IESPBA.
11. Шведов А.В., Гадасин Д.В., Клыгина О.Г., Трemasова Л.А. Оптимизация маршрутизации в сети при помощи гамильтонова цикла и марковского процесса принятия решений // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2023. Т. 13, № 3. С. 42-49. EDN BSWDEQ.
12. Shvedov A.V., Gadasin D.V., Pak E.V. Application of the Backman Model for the Distribution of Traffic Flows in Networks with Segment Routing // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022 г. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744344. EDN RBMTBQ.
13. Марченко Д.О., Клыгина О.Г., Гадасин Д.В., Шведов А.В. Обеспечение механизмов балансировки нагрузки в сетях с сегментной маршрутизацией на основе данных мониторинга // Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы 14-ой международной научно-технической конференции, Владимир, 06-07 октября 2021 г. Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2021. С. 419-422. EDN ZSCNIR.
14. Гадасин Д.В., Смальков Н.А., Кузин И.А. Использование метода роя частиц для балансировки нагрузки в сетях Интернета вещей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2022. Т. 13, № 2. С. 17-23. EDN LIUWNT.
15. Маклачкова В.В., Шведов А.В., Шульпина П.Д., Гадасин Д.В. Сравнительный анализ алгоритмов обратного распространения ошибки и имитации отжига // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2023. Т. 13, № 1. С. 26-32. EDN ORDSXE.
16. Гадасин Д.В., Кольцова А.В., Гадасин Д.Д. Виртуальная среда как цифровое отображение четкости // Телекоммуникационные и вычислительные системы 2020: Труды международной научно-технической конференции, Москва, 14-17 декабря 2020 года / Московский технический университет связи и информатики. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. С. 102-107. EDN YQGMPT.
17. Zolotukhin P.A., Melkova E.K., Gadasin D.V., Korovushkina V.M. Using Intelligent Testing as a Tool to Improve the Quality of Transport Information Systems // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744348. EDN NOMJLX.
18. Шведов А.В., Гадасин Д.В., Коровушкина В.М., Мелькова Е.К. Интеллектуальное тестирование как способ повышения качества информационной системы // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2022. Т. 12, № 2. С. 43-52. EDN GOLZGE.
19. Назаров М.Д., Шведов А.В. Корреляция атрибутов соглашения об уровне обслуживания с основными параметрами QoS в корпоративных сетях // Телекоммуникации и информационные технологии. 2020. Т. 7. № 2. С. 73-79. EDN VQHDTJ.
20. Кузин И.А., Гадасин Д.В. Модель контейнера данных для минимизации трафика при передаче субъективных характеристик объектов на изображении трехмерной сцены // Телекоммуникации и информационные технологии. 2021. Т. 8. № 2. С. 96-100.
21. Усачева Д.И., Шишкин М.О., Гадасин Д.В., Гузев А.В. Применение OLAP-технологий для анализа многомерных данных в контакт-центре // Телекоммуникации и информационные технологии. 2019. Т. 6. № 1. С. 142-149.
22. Гадасин Д.В., Кузин И.А. Модель представления цветовых и глубинметрических характеристик объектов на изображении // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2021. Т. 11. № 1. С. 31-38.