

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*Посвящается Всемирному дню космонавтики
и авиации*

ОБРАБОТКА, ПЕРЕДАЧА И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ '24

Четвертая Международная научная конференция
8–15 апреля 2024 г.

Сборник докладов



Санкт-Петербург
2024

УДК 001
ББК 72
О-23

О-23 Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '24: Четвертая Междунар. науч. конф. (СПб., 8–15 апреля 2024): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2024. – 222 с.
ISBN 978-5-8088-1899-6
DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4

В апреле 2024 г. в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения состоится Международная научная конференция «Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах». В работе конференции примут участие ведущие ученые и специалисты предприятий, преподаватели, научные сотрудники и аспиранты вузов со всего мира.

Статьи сборника отражают основные направления научных исследований, обсуждаемые на конференции. Представленные работы посвящены актуальным проблемам обработки, передачи, защиты информации, построения современных компьютерных систем и вопросам автоматического управления; разработке перспективных вычислительных сетей, их математическому и программному обеспечению.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов, докторантов и студентов старших курсов технических вузов.

УДК 001
ББК 72

Председатель оргкомитета

Ю. А. Антохина – доктор экономических наук, профессор, ректор ГУАП

Члены оргкомитета:

Т. М. Татарникова, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

М. Б. Сергеев, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А. А. Востриков, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

С. Т. Хвощ, АО «Элкус»

М. Ю. Охтилев, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В. И. Исаков, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Г. А. Коржавин, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

С. В. Мичурин, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

О. И. Красильникова, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Чжао Лэй, Коммерческая авиационная корпорация Китая

ISBN 978-5-8088-1899-6
DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 004.942, 616–71

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-3-7

Б. К. Акопян*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА, ПРИМЕНИМОГО ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Объектом исследования является устройство обнаружения электрокардиосигнала в условиях помех, применимое для организации биологической обратной связи по каналу беспроводной передачи данных. В статье определяются требования, предъявляемые к устройству. Приведены результаты разработки устройства с точки зрения его аппаратной и программной реализации.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, электрокардиосигнал, электрокардиограмма, обнаружение QRS-комплексов.

В. К. Акопян*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF AN ELECTROCARDIOSIGNAL DETECTION DEVICE FOR BIOLOGICAL FEEDBACK

The object of the study is a device for detecting an electrocardio signal under interference conditions, which is used for organizing a biological feedback channel for wireless data transmission. The article defines the requirements for the device. The results of device development in terms of its hardware and software implementation are presented.

Keywords: biological feedback, electrocardiogram, electrocardiogram, QRS-complex detection.

Метод биологической обратной связи (БОС) состоит в возврате в удобной для человека форме текущих значений физиологических показателей обследуемого, определяемых клиническим протоколом [1]. Как правило, данный формат предусматривает передачу данных от пациента в специализированное программное приложение на ЭВМ, например, на персональном компьютере или телефоне. Пользователями системы с БОС могут являться как пациенты, так и лечащие врачи.

Принцип работы БОС показан на рис. 1. На теле пациента устанавливается устройство съема физиологических показателей – например, частоту сердечных сокращений или ее изменение

на заданном временном интервале. Генератор факторов определяет условия, в рамках которых обследуемый осуществляет физическую активность, и представляет их в форме, доступной для его восприятия в виде акустических и визуальных сигналов. При выполнении обследуемым различных действий устройство съема фиксирует значение заданных показателей, после чего они передаются на компьютер для дальнейшей обработки. Данные обрабатываются компьютером и передаются в генератор факторов, который усложняет или облегчает задачу для обследуемого в зависимости от полученной информации.

Данный метод широко используют в восстановительной и превентивной медицине, по-

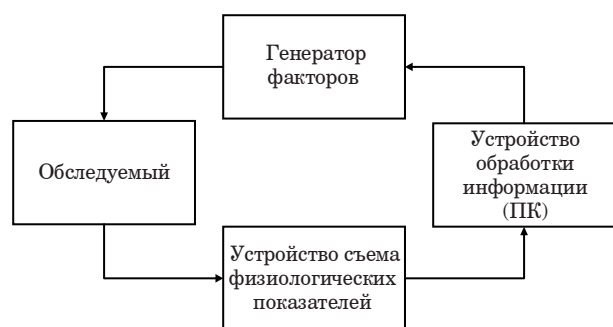


Рис. 1. Функциональная схема реализации биологической обратной связи

сколькo он неинвазивен, надежен и эффективен [2]. В частности, подобный метод можно использовать для отслеживания состояния пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы при выполнении ими физической активности. Для реализации биологической обратной связи применяются устройства, фиксирующие состояние сердечного ритма пользователя. Например, из числа устройств современной биомедицинской техники для поставленной задачи могут использоваться цифровые электрокардиографы и кардиомониторы со встроенными алгоритмами автоматической обработки, анализа и интерпретации электрокардиограмм (ЭКГ).

Применяемый для реализации биологической обратной связи кардиомонитор должен соответствовать следующим основным требованиям [3]:

- для обеспечения возможности корректно оценивать состояние ритма устройство должно обнаруживать QRS-комплексы на ЭКГ с высокой надежностью;
- для закрепления устройства на теле пациента устройство иметь небольшие размеры;
- с целью обеспечения свободы передвижения пациента передавать данные в приложение целесообразно технологиями беспроводной связи;
- для непрерывной работы в течение времени обследования устройство должно осуществлять самоконтроль без перерывов в обработке электрокардиосигнала (ЭКС);
- с целью уменьшения влияния помех на результаты диагностики устройство должно осу-

ществлять усиление и предварительную обработку сигнала.

Задача создания устройства обнаружения электрокардиосигнала подразделяется на два этапа: разработка его аппаратной реализации и разработка алгоритма работы программы. На основании требований к устройству была разработана структурная схема кардиомонитора, представленная на рис. 2, состоящая из управляющего устройства и четырех блоков: усиления и преобразования, беспроводной передачи данных.

Принцип работы устройства заключается в следующем: ЭКС с электродов поступает на вход блока усиления и преобразования сигнала, который осуществляет его предварительную обработку. Данный блок ограничивает спектр частот входного сигнала для повышения помехоустойчивости и производит его дискретизацию. Стоит отметить, что в некоторых случаях АЦП может быть встроен в управляющее устройство – в частности, если микропроцессорная платформа включает его в себя. Показано [4], что разрядность АЦП должна быть не менее 10 разрядов. Усиленный и преобразованный ЭКС поступает в управляющее устройство, основными функциями которого являются цифровая обработка ЭКС, анализ данных обработки, принятие решения о тревоге и управление прибором в целом. В соответствии с заложенными в основу устройства методами обработки производится обнаружение QRS-комплексов, определение RR-интервалов, а также производится расчет частоты сердечных сокращений не реже двух раз в минуту. Полученная информация передается в блок беспроводной передачи данных, который отправляет ее на компьютер. В качестве используемой технологии беспроводной передачи данных целесообразно использовать технологию Bluetooth, поскольку она универсальна и способна обеспечить быстрый обмен информацией.

Для реализации управляющего устройства целесообразно обратиться к универсальным микроконтроллерам с интегрированным Bluetooth контроллером. Был выбран 32-разрядный микроконтроллер ESP32, который широко используется в реализации устройств в области

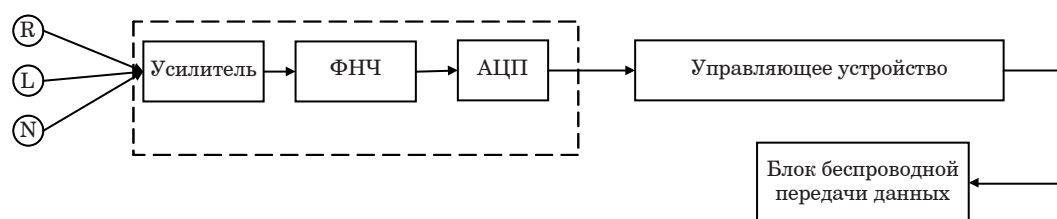


Рис. 2. Структурная схема устройства обнаружения электрокардиосигнала

IoT [5], автоматизации и систем с низким энергопотреблением. Он обладает следующими преимуществами в сравнении с другими универсальными микроконтроллерами:

- встроенный 12-разрядный АЦП с возможностью использования меньшей разрядности данных;
- поддержка Bluetooth Low Energy;
- размеры платы 6x2,5 см;
- доступность различных инструментов разработки, включая Arduino IDE и MicroPython, которые облегчают процесс создания проектов и программирования микроконтроллера [6].

В качестве усилительного блока был выбран модуль AD8232 [6], фирмы Analog Devices. Данный модуль предназначен для измерения электрической активности сердца и осуществляет получение, усиление и предварительную фильтрацию слабых ЭКС в условиях сильных помех.

Поскольку при работе устройства возникает необходимость отображения полученного ЭКС и диагностических заключений о характере нарушения ритма, целесообразно для индикации использовать OLED дисплей, который позволяет выводить не только сообщения, но и изображения.

Кроме того, разрабатываемое устройство позволяет подавать оповещение о тревоге, которое предусматривает не только вывод на экран сооб-

щения о возможном нарушении ритма, но и звуковое оповещение (сигнализацию) через динамик.

На основании структурной схемы после выбора элементной базы была построена схема соединений устройства, представленная на рис. 3. Необходимыми материалами для эксплуатации устройства являются одноразовые медицинские твердотельные электроды диаметром не менее 50 и не более 60 мм. В качестве источника питания устройства используются два аккумулятора типа 18650 в последовательном соединении с понижающим преобразователем напряжения.

Итоговая эффективность устройства также будет зависеть от грамотно составленного алгоритма работы программы. Поскольку основной задачей программного обеспечения переносного устройства является текущий контроль сердечной деятельности обследуемого, то есть измерение частоты сердечных сокращений и автоматическое распознавание наиболее выраженных нарушений сердечного ритма, алгоритм должен быть малочувствителен к низким уровням шума во избежание ложных срабатываний в реальных условиях, и допускается короткий период предварительной настройки алгоритма, его адаптации к конкретным условиям [6].

В качестве алгоритма обработки сигнала электрокардиограммы был выбран алгоритм [7], основанный на цифровой фильтрации, по-

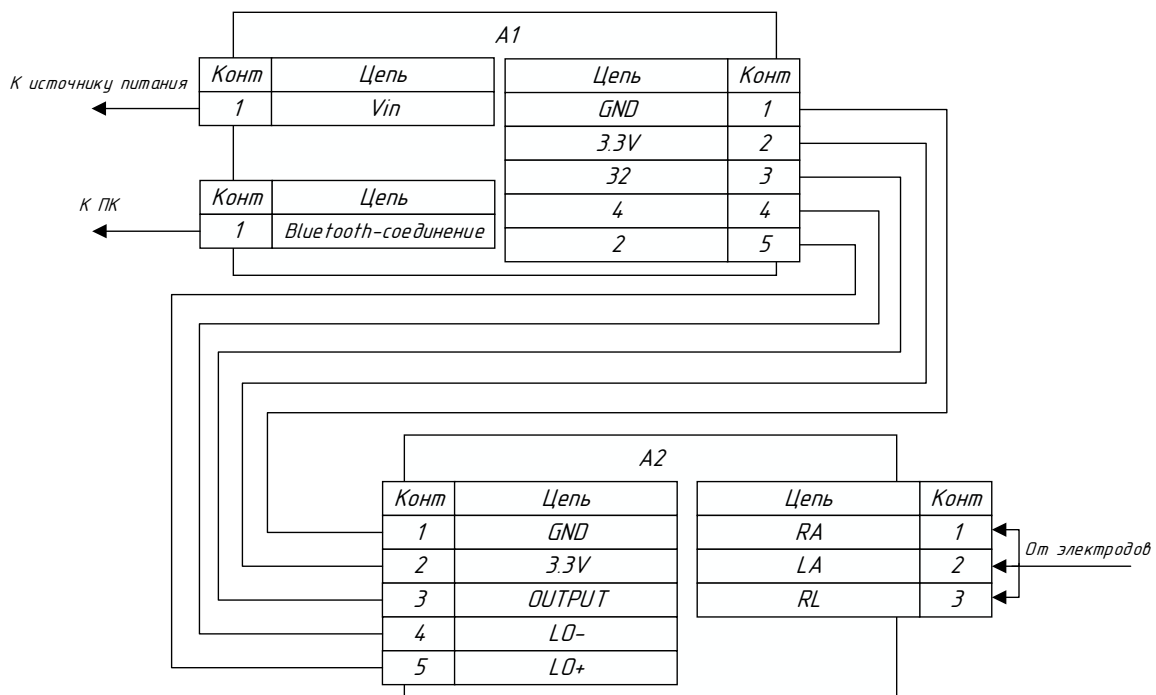


Рис. 3. Схема соединений устройства обнаружения электрокардиосигнала: A1 – микроконтроллер ESP32, A2 – усилительный модуль AD8232

сколькx данный тип алгоритмов обладает следующими преимуществами:

- работают в режиме реального времени,
- успешно справляются с обработкой ЭКГ

в условиях различных аддитивных сигналов помехи [8].

Вначале сигнал ЭКГ пропускается через дифференцирующее устройство (ДУ) с частотой среза 62.5 Гц, математическая модель которого описывается формулой:

$$Y0_n = X_n - X_{n-4}, n = 4, 5 \dots N - 1, \quad (1)$$

где $Y0$ – сигнал на выходе дифференциатора; X – исходный ЭКГ; N – объем выборки. Дифференцирующее устройство нейтрализует изменение уровня сигнала. Полученные данные затем пропускаются через цифровой нерекурсивный ФНЧ, математическая модель которого описывается формулой (2):

$$Y1_n = Y0_n + 4Y0_{n-1} + 6Y0_{n-2} + 4Y0_{n-3} + Y0_{n-4}, n = 4, 5 \dots N - 1, \quad (2)$$

где $Y1$ – сигнал на выходе ФНЧ. Полученный сигнал на выходе цифрового ФНЧ пропускается через двухпороговую схему сравнения: поро-

говые значения C равны по величине, но противоположны по знаку.

В качестве алгоритма обнаружения QRS-комплексов выбрана описанная в [9], [10]. двухпороговая система сравнения. Сигнал на выходе ФНЧ сканируется до тех пор, пока не будет обнаружен отсчет, амплитуда которого превышает положительный порог. Этот отсчет является началом области поиска длительностью в 40 отсчетов. Если в течение 40 последующих отсчетов не происходит никаких других пересечений порога, то считается, что превышение порога было спровоцировано дрейфом изолинии. В противном случае по очереди проверяются условия (3):

$$\begin{aligned} Y1_{n+j} < -C, Y1_{n+k} > C \\ 0 < j < 40, j < k < 40. \end{aligned} \quad (3)$$

Если все условия выполняются, то предполагается, что обнаружен возможный QRS-комплекс.

Результатом разработки является устройство, внешний вид которого изображено на рис. 4.

Подобранные и обоснованные технические решения позволят создать эффективное устройство обнаружения электрокардиосигнала, отве-

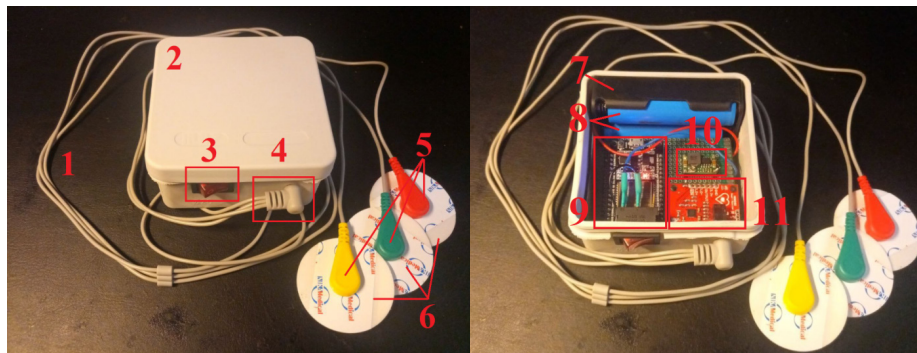


Рис. 4. Внешний вид разработанного устройства: 1 – кабель датчика, 2 – корпус устройства, 3 – кнопка включения, 4 – разъем кабеля датчика, 5 – отводения, 6 – одноразовые электроды, 7 – гнездо аккумулятора, 8 – аккумуляторы, 9 – управляющее устройство, 10 – преобразователь напряжения, 11 – датчик сердечных сокращений

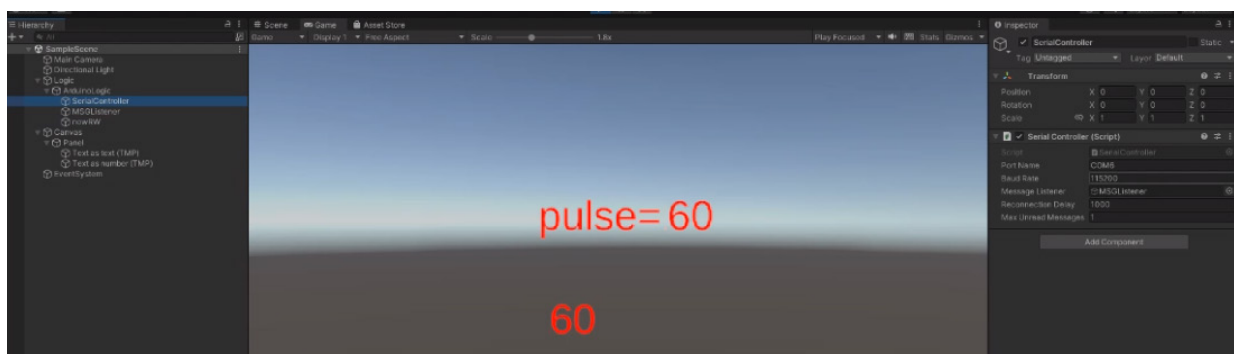


Рис. 5. Результат интеграции показателей в приложение-генератор факторов

чающее всем обозначенным требованиям. Результат применения разработанного устройства представлен на рис. 5, где в тестовое приложение-генератор аудиовизуальных факторов выводится значение текущей частоты сердечных сокращений, полученное с разработанного устройства по Bluetooth: в формате строки (сверху) и в формате числового значения (снизу).

Впоследствии предполагается интеграция разработанного устройства в приложение для осуществления физической активности и проведение соответствующих испытаний.

Список источников

1. Метод биологической обратной связи в клинической практике / Н. Л. Кунельская, Н. В. Резакова, А. А. Гудкова, А. Б. Гехт // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2014. № 114 (8). С. 46–50.
2. Сметанкин А. А., Хорошун И. О. Технология биологической обратной связи (БОС) в медицинской реабилитации // III Междунар. научно-практ. конгресс. Екатеринбург, 2019. С. 51–53.
3. Akopyan B. Development of an automatic portable digital heart monitor designed to detect and classify arrhythmia // Bulletin of the UNESCO department «Distance education in engineering» of the SUAI: Collection of the papers. Issue 7. SPb.: SUAI, 2023.
4. Акопян Б. К., Городецкая А. В., Жаринов О. О. Микропроцессорный кардиомонитор. Аппаратная реализация // Сб. докладов научной сессии, посвященной Всемирному дню космонавтики и авиации в 3 ч. Ч. II. СПб.: ГУАП, 2019. С. 239–242.
5. Rahman M. Internet of things based electrocardiogram monitoring system using machine learning algorithm // International Journal of Electrical and Computer Engineering 2022. N 12 (4). P. 3739–3751.
6. ESP-32 Datasheet. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения: 30.11.2023).
7. Akopyan B. Development and research of automated arrhythmic episodes detection algorithms by electrocardiographic signal // Bulletin of the UNESCO department «Distance education in engineering» of the SUAI: Collection of the papers. Issue 6. SPb.: SUAI, 2021.
8. Zong W., Moody G., Jiang D. A robust open-source algorithm to detect onset and duration of QRS-complexes // Computers in Cardiology. 2003. N 30. P. 737–740.
9. Friesen G., Jannett T., Jadallah M. Comparison of the noise sensitivity of nine QRS-detection algorithms // IEEE Transactions on biomedical engineering. 1990. Vol. 37. N 1. P. 85–97.
10. Akopyan B. Development of the automated cardiac rhythm disorders detection and classification algorithm // Bulletin of the UNESCO department «Distance education in engineering» of the SUAI: Collection of the papers. Issue 7. SPb.: SUAI, 2022.

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-8-13

В. В. Боженко*

старший преподаватель

Д. В. Жданов*

студент

И. А. Зорин*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА CRNN АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО И ПЕЧАТНОГО ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Рассмотрены современные подходы к распознаванию печатного и рукописного текста с применением методов глубокого обучения, изложены основные этапы данного процесса, включая подготовку и предварительную обработку набора данных, описана архитектура рекуррентно-сверточной нейронной сети. В результате работы реализована модель для классификации печатного и рукописного текста, а также модель для распознавания текста, приведены результаты работы модели и метрики качества, чтобы оценить применимость данной модели для распознавания.

Ключевые слова: нейронные сети, распознавание текста, рекуррентные сверточные нейронные сети, CRNN, метрики качества.

V. V. Bozhenko*

Senior Lecturer

D. V. Zhdanov*

Student

I. A. Zorin*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CRNN ARCHITECTURE QUALITY ASSESSMENT FOR SOLVING THE PROBLEM OF RECOGNITION OF MANUSCRIPTS AND PRINTED TEXT IN IMAGES

Modern approaches to the recognition of printed and handwritten text using deep learning methods are considered, the main stages of this process are outlined, including the preparation and preprocessing of a dataset, and the architecture of a recurrent convolutional neural network is considered. As a result, a model for classifying printed and handwritten text and a model for text recognition are implemented, the results of the model and quality metrics are presented to assess the applicability of this model for recognition.

Keywords: neural networks, text recognition, recurrent convolutional neural networks, CRNN, quality metrics.

Введение

Задача распознавания печатного и рукописного текста широко распространена в различных областях, таких как финансовая, юридическая, медицинская сферы, где необходима оцифровка бумажных материалов, автоматическое распознавание чеков и документов. Такое распознавание позволяет увеличить эффективность и скорость работы с текстовой информацией и имеет высокую практическую значи-

мость в современном информационном обществе [1]. Исследование наиболее эффективных методов для распознавания является актуальной задачей в современном мире.

Нейронные сети (НС) позволяют выполнять распознавание текста с высокой точностью, так как современные архитектуры могут анализировать и выявлять сложные паттерны в больших объемах данных, также НС предоставляют возможность адаптироваться к различным типам текста, и являются рациональным спосо-

бом решения задачи оптического распознавания символов (OCR) [2].

Общий алгоритм распознавания символов представлен в публикации [3]. В данной работе необходимо провести все этапы OCR и создать модель, которая позволит эффективно выполнить распознавание, а также подобрать метрики для оценки качества обученной модели и представить результаты проведенного исследования.

Описание набора данных для исследования

В связи с тем, что данные для распознавания изначально, как правило, находятся на физическом носителе, необходимо привести их в формат, пригодный для обработки компьютерными средствами, а именно, отсканировать нужный текстовый фрагмент, а затем полученное изображение привести к виду вектора пикселей, где каждый пиксель задается одним числом, то есть представить его в любом подходящем формате (jpeg, png и т. д.), позволяющим однозначно установить цвет каждого пикселя.

Для формируемого набора данных необходимо было вручную выполнить распознавание текста с изображений и сохранить его в отдельный текстовый файл, где названию каждого изображения соответствует текст на нем. Это потребуется для токенизации данного текста и дальнейшего использования для обучения нейронной сети на созданном наборе данных. Токен – это число, обозначающее одно определенное слово или символ, по которому оно может быть однозначно восстановлено [4]. Стоит отметить, что из-за переносов слова не всегда записываются полностью, поэтому формировать токены по словам не целесообразно, и необходимо организовывать токены посимвольно.

Структура данных для исследования представлена в виде пары: изображение и соответствующая текстовая метка, что позволяет модели научиться распознавать и классифицировать текст на основе входного образца. Объем данных для обучения модели составляет около 100 000 изображений, а для тестирования – примерно 20 000.

Стоит отметить, что набор данных формируется из небольшого корпуса печатных и рукописных текстов нескольких типов (юридические, технические и др.). При этом каждый текст разбивается на небольшие фрагменты, чтобы упростить задачу для обучения модели и улучшить качество ее работы. Такой подход позволяет достаточно быстро создать большой объем данных для обучающей и валидационной выборок, при этом вручную требуется обработать только несколько небольших текстов, которые преобразовываются в сотни тысяч фрагментов.

Предварительная обработка набора данных изображений

Предварительная обработка изображений необходима, потому что символы могут быть нечетко видны или пересекаться с ничего незначащими объектами, например, клеточками на тетрадном листе или частями таблицы.

Для избавления от шумов был использован алгоритм адаптивного порога. Алгоритм адаптивного порога (Adaptive Thresholding) – это метод обработки, который используется для бинаризации изображений, то есть разделения пикселей на две категории: передний план и фон [3], [5].

После очищения изображения от шумов применяются фильтры для увеличения контрастности и инвертирования изображения. Примеры работы таких фильтров показаны на рис. 1–2.

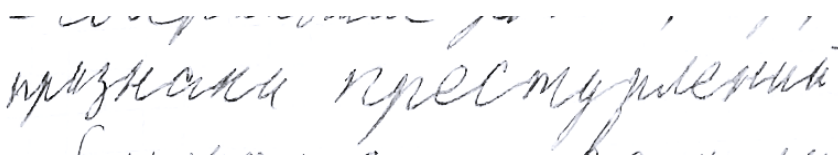


Рис. 1. Изображение с повышенной контрастностью

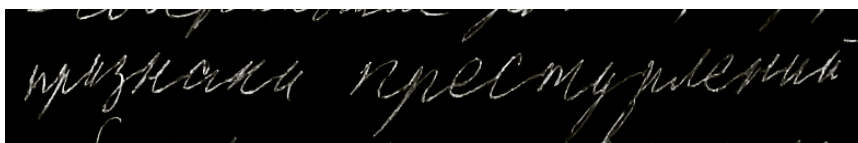


Рис. 2. Инвертированное изображение

Затем изображения ограничиваются до определенного размера (128×512) для того, чтобы на вход нейросети поступало одинаковое количество пикселей. После предварительной обработки изображения готовы для распознавания.

Классификация изображений

Используемый набор данных содержит два типа изображений: с рукописным и печатным текстом. Из-за наличия шумов, таких как различный наклон символов, плохой почерк, неточность написания букв, фоновый шум объекта, на котором написан текст и т. д., задача распознавания рукописного текста намного сложнее расшифровки печатного текста. В связи с этим использование единой модели для решения данных задач существенно снизит качество работы нейронной сети, поэтому после обработки изображения передаются на классификатор, определяющий, является ли текст на изображении рукописным или печатным.

Для классификатора была реализована НС с двумя сверточными слоями и блоком полносвязных слоев [6]. На вход модель получает обработанное изображение, а на выходе выдает значение в диапазоне от 0 до 1, если выдаваемое значение больше 0,5, то изображение классифицируется, как содержащее рукописный текст, если меньше, то как изображение с печатным текстом.

Описание модели нейронной сети для распознавания текста

Для распознавания текста существуют различные архитектуры нейронных сетей. Одними из наиболее популярных и эффективных являются рекуррентные сверточные нейронные сети (CRNN), которые представляют комбинацию сверточных НС с рекуррентными НС (RNN), что позволяет делать предсказание о символе на основе последовательного разбиения его записи на вертикальные линии, а также добавлять к признакам предсказанное значение предыдущего символа и линии связи между символами, кото-

рые в случае рукописного текста могут иметь особые формы соединения двух букв в пары, что повышает точность и качество данных моделей в рассматриваемой задаче [7]. Пример разбиения изображения на вертикальные линии, образующие последовательность показан на рис. 3.

Основным отличием RNN от обычных нейронных сетей является их способность учитывать предыдущие состояния и информацию во времени. Одним из видов RNN является LSTM – сеть долгой краткосрочной памяти. Ключевым элементом LSTM – это ячейка памяти, которая сохраняет информацию на каждом шаге обработки экземпляра данных, при этом хранящую информацию слой LSTM использует для дальнейшей работы с полученными данными. Однако LSTM учитывает только прошлый контекст, поэтому в модели CRNN используются двунаправленные LSTM (Bidirectional LSTM или BiLSTM), которые работают по тому же принципу. При этом в BiLSTM добавляется значение ячейки памяти, содержащее данные о будущих элементах последовательности. BiLSTM имеет более широкий контекст, так как она учитывает и обрабатывает, как предыдущую, так и последующую информацию о данных [8].

Структура модели CRNN представлена на рис. 4. Видно, что на вход модели поступает изображение, которое уже предварительно обработано, затем это изображение проходит через несколько сверточных слоев, которые позволяют разбить изображения на последовательность вертикальных полос. После этого полученная последовательность подается на несколько слоев типа BiLSTM, на которых формируется список токенов символов, возможно встречающихся на данном изображении. Предварительное предсказание векторного представления символов передается на простую нейронную сеть, которая на основании полученных данных предсказывает окончательную последовательность токенов символов, встречаемых на поданном изображении фрагмента текста [7], [8].

В ходе работы было реализовано распознавание текста с помощью CRNN модели, которая позволяет достичь хороших результатов на раз-

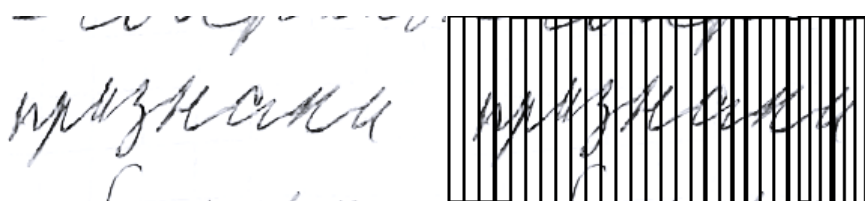


Рис. 3. Пример разбиения изображения

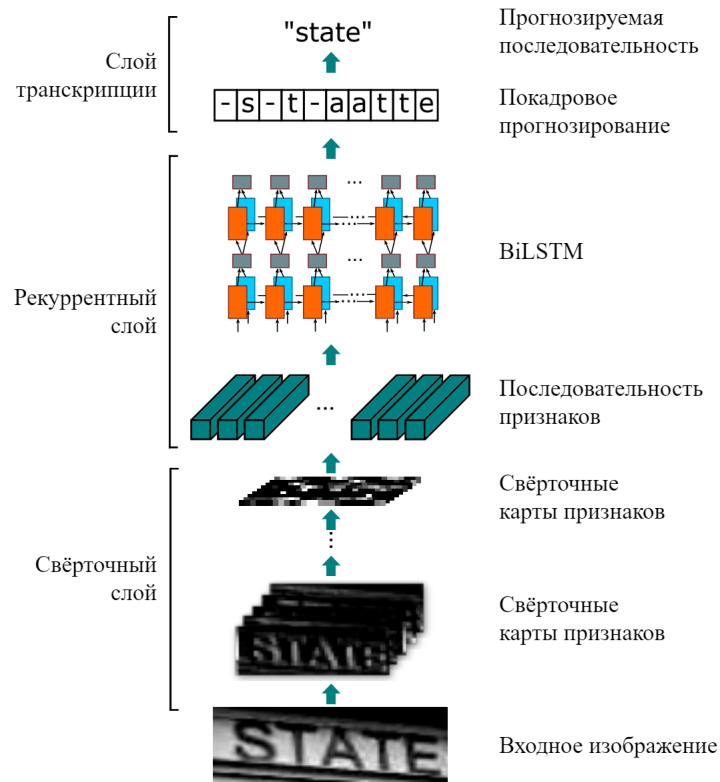


Рис. 4. Структура CRNN модели

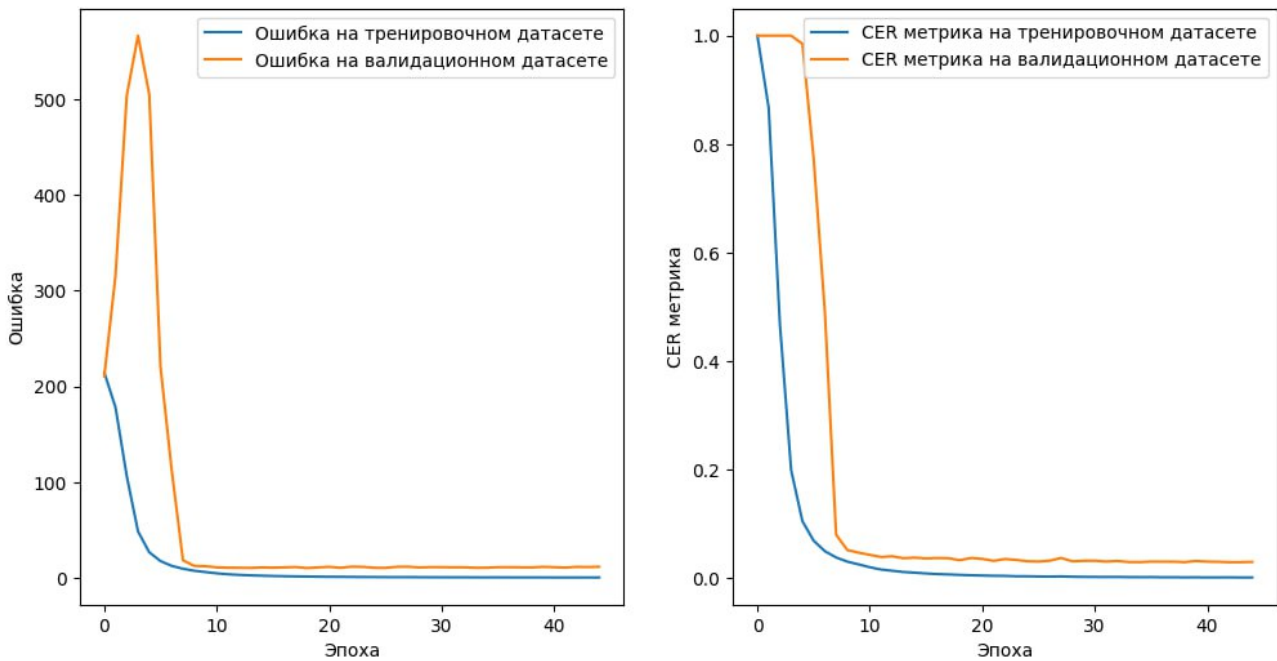


Рис. 5. График ошибки обучения и метрика CER для распознавания печатного текста

личных типах данных. В отличие от классификатора, для оценки работы данной модели не подойдет метрика точности, потому что в итоге выводится не просто одно число, которое можно

сравнить с исходным значением и подсчитать среднюю точность. В связи с этим для оценки качества работы модели была использована метрика CER, характеризующая частоту ошибок

в символах между предсказанной и реальной последовательностями [9], [10].

В качестве функции потерь для модели CRNN была использована метрика CTC, которая оценивает разницу между предсказанной последовательностью и истинной целевой последовательностью [11]. Эта метрика может работать с переменной длиной последовательности, и хорошо подходит для данной задачи, так как изначально количество символов для распознавания на фрагменте изображения неизвестно. Кроме того, эта метрика использует специальный символ «пустоты», который представляет отсутствие символа в целевой последовательности и помогает обрабатывать различные выравнивания между входными данными и целевой последовательностью.

На рис. 5 представлены результаты, а именно график ошибки обучения и метрика качества для распознавания печатного текста. Анализируя результаты на рис. 5, видно, что при обучении модели на ранних этапах наблюдался боль-

шой разброс значений ошибки и неизменно высокая величина CER метрики. Однако начиная с 6 эпохи, метрики постепенно стали стремиться к нулю, в результате чего к 19 эпохе обучения модели было достигнуто минимальное значение ошибки, и частота ошибок символов на данном шаге составила 3,3 %, что является хорошим результатом.

На рис. 6 показан пример распознавания печатного текста под небольшим наклоном. Видно, что модель допустила ошибку только в одном символе, следовательно, обучение модели прошло успешно.

На рис. 7 продемонстрирован результат обучения и метрика качества CER модели для рукописного текста, а на рис. 8 показаны результаты работы данной модели.

Стоит отметить, что задача распознавания рукописного текста намного сложнее, поэтому вторая модель демонстрирует более низкие результаты. Несмотря на то, что обучение происходило плавнее, чем для печатного текста, за-

достойно только искусство в принципе», все же - достойно только искусство в принципе», все же

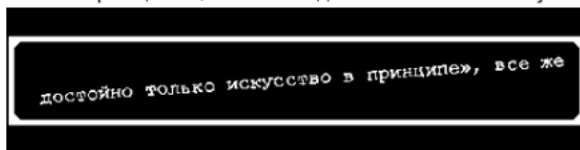


Рис. 6. Результат распознавания печатного текста

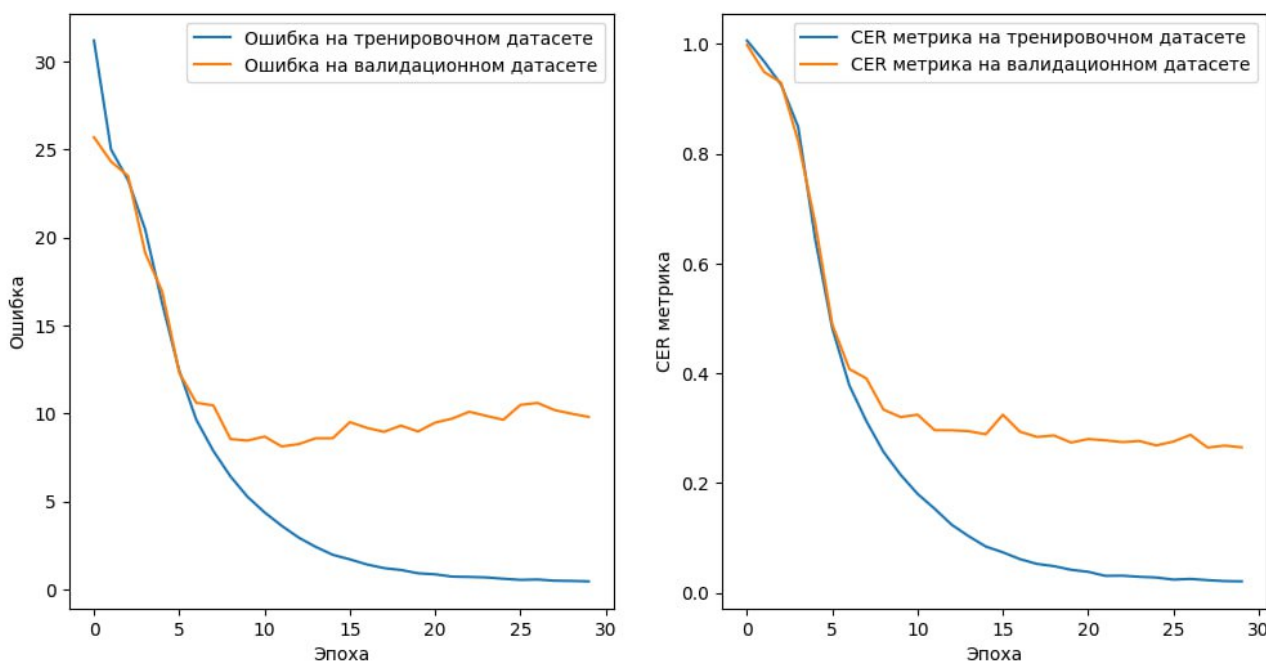


Рис. 7. График ошибки и метрика CER для распознавания рукописного текста

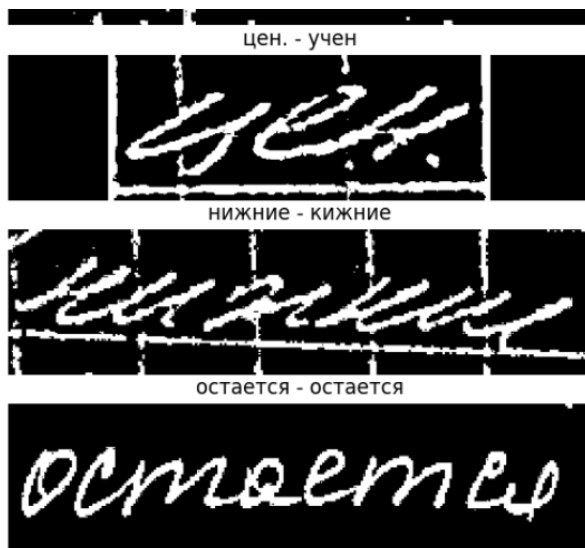


Рис. 8. Результаты работы модели для распознавания рукописного текста

метно, что с 12 эпохи начинается первая стадия переобучения модели, так как на тренировочном датасете нейронная сеть показывает хорошие результаты, а на валидационном метрики практически не меняются. Таким образом, наилучшие значения метрик были достигнуты на 12 эпохе, на которой частота ошибок в символах составляет 29 %, что практически в 9 раз больше, чем для распознавания печатного текста. На рис. 8 видно, что модель на рукописном тексте допускает более серьезные недочеты, так как разнообразный почерк вносит серьезные неопределенности в обрабатываемые данные.

Заключение

В результате была успешно реализована модель CRNN, которая продемонстрировала хорошие результаты распознавания печатного текста, так как допустимая моделью ошибка в символах составляет менее 5 %, что практически не влияет на смысл слова. Кроме того, с помощью методов неточного сравнения строк, можно добиться полного совпадения предсказанных символов с текстом на изображении.

На рукописных текстах модель показала себя хуже, потому что частота ошибок в символах достигает 29 %, что является достаточно большим значением для правильного функционирования системы распознавания. На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что стандартная CRNN архитектура недостаточно эффективно распознает рукописный текст из-за большого разнообразия почерков и огромного количества вариантов написания од-

них и тех же символов, поэтому представляет интерес модернизация системы, например, изменение параметров, увеличение объема тренировочных данных для обучения и тестирования новой модели.

Список источников

1. Болотова Ю. А., Спицын В. Г., Осина П. М. Обзор алгоритмов детектирования текстовых областей на изображениях и видеозаписях // Компьютерная оптика. 2017. Т. 41. № 3. С. 441–452.
2. Загинайло М. В., Фатхи В. А. Распознавание символов с помощью аппарата искусственных нейронных сетей // Инновации и инвестиции. 2021. № 5. С. 145–147.
3. Боженко В. В., Зорин И. А. Применение нейронных сетей к задаче распознавания текста // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXVI Междунар. науч. конф.: в 3 ч. СПб.: ГУАП, 2023. С. 32–36.
4. Алюнов Д. Ю. Использование нейронных сетей в задачах классификации текстов // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике: сб. научных трудов III Междунар. научно-техн. конф. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 30–33.
5. Adaptive Thresholding with OpenCV. URL: <https://pyimagesearch.com/2021/05/12/adaptive-thresholding-with-opencv-cv2-adaptivethreshold/> (дата обращения: 15.11.2023).
6. Text recognition on images using pre-trained CNN. URL: https://www.researchgate.net/publication/368462763_Text_recognition_on_images_using_pre-trained_CNN (дата обращения: 15.11.2023).
7. An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition. URL: https://www.researchgate.net/publication/280330424_An_End-to-End_Trainable_Neural_Network_for_Image-Based_Sequence_Recognition_and_Its_Application_to_Scene_Text_Recognition (дата обращения: 15.11.2023).
8. Bidirectional LSTM. URL: <https://www.codingninjas.com/studio/library/bidirectional-lstm> (дата обращения: 15.11.2023).
9. Selection technique for multiple outputs of optical character recognition. URL: <https://www.mathnet.ru/links/598b6dc4f69d56fa1dc64098685b9602/ejmca157.pdf> (дата обращения: 15.11.2023).
10. Analysis and Benchmarking of OCR Accuracy for Data Extraction Models. URL: <https://www.docsumo.com/blog/ocr-accuracy> (дата обращения: 15.11.2023).
11. Sequence Modeling With CTC. URL: <https://distill.pub/2017/ctc/> (дата обращения: 15.11.2023).

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-14-18

В. В. Боженко*

старший преподаватель

В. К. Клюканов*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВИДЕОПОТОКЕ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Рассмотрены основные технологии на основе глубокого обучения, которые используются для автоматического распознавания объектов на изображении, описана архитектура современной нейронной сети YOLO для детектирования объектов. В результате работы разработано программное средство с графическим интерфейсом для детектирования различных видов транспортных средств на видеопотоке с помощью нейронной сети. Разработанное средство позволяет обнаруживать пешеходов, легковые и грузовые автомобили, автобусы, велосипеды и мотоциклы с достаточно высокой точностью. В работе приведены примеры детектирования различных объектов с помощью программного средства.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное обучение, транспортные средства, детектирование, распознавание образов, сверточные нейронные сети, YOLO.

V. V. Bozhenko*

Senior Lecturer

V. K. Klukanov*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

VEHICLE DETECTION ON A VIDEO DATA STREAM USING A NEURAL NETWORK

The main technologies based on deep learning, which are used for automatic recognition of objects in the image, are considered, the architecture of the modern YOLO neural network for object detection is described. As a result of the work, a software tool with a graphical interface for detecting various types of vehicles on a video stream using a neural network has been developed. The developed tool makes it possible to detect pedestrians, cars and trucks, buses, bicycles and motorcycles with sufficiently high accuracy. The paper provides examples of detecting various objects using a software tool.

Keywords: computer vision, machine learning, vehicles, detection, pattern recognition, convolutional neural networks, YOLO.

Одной из наиболее актуальных транспортных проблем являются пробки на дорогах, особенно в крупных городах. В связи с постоянным ростом количества автомобилей, транспортная инфраструктура не готова к увеличению трафика, что приводит к снижению производительности труда, ухудшению логистики и качества жизни людей. Однако в настоящее время происходит существенный прогресс в области компьютерного зрения благодаря росту вычислительной мощности компьютеров и появлению новых математических моделей и алгоритмов. Поэтому с помощью новых технологий происходит развитие искусственного интеллекта, и становится возможным распознавание объектов с помощью нейронных сетей, в том числе

с достаточно высокой точностью выполняется детектирование транспортных средств на видеопотоке данных. Такое распознавание позволяет решить некоторые транспортные проблемы, потому что позволяет использовать автоматическое управление трафиком, контроль соблюдения правил дорожного движения, беспилотное управление автомобилем и в целом обеспечивать безопасность на дорогах [1].

Компьютерное зрение (computer vision) – область искусственного интеллекта, которая позволяет извлекать информацию из медиафайлов и анализировать ее с помощью нейронных сетей. К основным задачам компьютерного зрения относится классификация (присвоение объекту известного класса), локализация (опре-

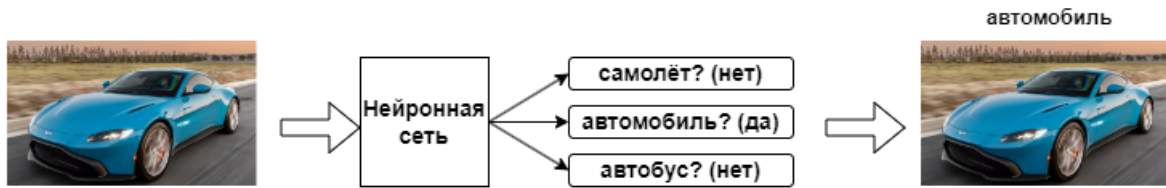


Рис. 1. Классификация изображения

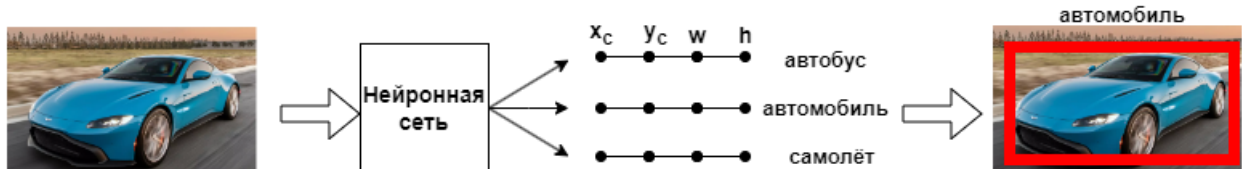


Рис. 2. Задача локализации объекта на изображении

деления положения объекта), идентификация или детектирование (обнаружение объекта конкретного класса) и сегментация (отделение объекта от фона). К объектам могут относиться люди, животные, самолеты, транспортные средства и т. д. [2].

Для решения задачи классификации на вход нейронной сети подается изображение, на котором есть объект, класс которого заранее известен, а на выходе выдается вероятность принадлежности к классу, при этом объекту присваивается наиболее вероятный класс (рис. 1).

Задача локализации заключается в выделении рамки (bounding box), ограничивающей местоположение экземпляра одиночного объекта. Координаты bounding box задаются как (x_0, y_0, w, h) , где (x_0, y_0) – координаты центра рамки, а w, h – ширина и высота соответственно. Модель в данном случае одновременно выдает вероятность принадлежности к данному классу и координаты рамки (рис. 2).

Для распознавания объектов применяются различные архитектуры нейронных сетей, которые основаны на сверточных нейронных сетях (CNN). Они позволяют обнаружить регионы с транспортными средствами, а затем классифицировать объекты в этих регионах. Основным слоем CNN является свертка [3]. Для каждого входного канала этот слой включает свой фильтр, ядро свертки которого суммирует результаты поэлементного произведения для каждого элемента входного сигнала. Коэффициенты весов ядра свертки заранее неизвестны и устанавливаются в процессе обучения. При этом CNN способна выделять наиболее значимые признаки на большом количестве изображений.

Как правило, после слоя свертки следует слой пулинга (pooling) для уплотнения входного сигнала [4]. Наиболее популярный тип пулинга – Max-pool (максимум), в котором непересекающиеся квадраты ужимаются в один пиксель, выбирая пиксель с максимальным значением чтобы уменьшить пространственный объем изображения и избежать переобучения после сверточного слоя, в котором были выделены ключевые признаки. Принцип работы Max-Pool и Average-Pool представлен на рис. 3.

После нескольких сверточных и pooling-слоев нейронная сеть выделяет карты признаков, что позволяет получить большой набор каналов, которые передаются на полносвязный слой, а затем на выходной, который производит окончательные вычисления и выдает резуль-

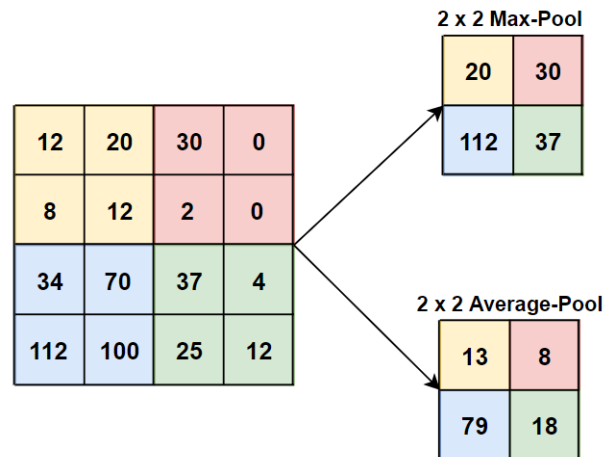


Рис. 3. Принцип работы слоя pooling

тат, то есть классы объектов, которые модель предсказала [5].

Стоит отметить, что обучение выполняется на большом наборе размеченных данных, где каждый объект имеет свою метку класса и границы региона.

Наиболее популярной архитектурой для распознавания объектов является YOLO, которая позволяет производить обнаружение объектов в режиме реального времени. Особенность заключается в том, что изображение делится на сетку из $N \times N$ ячеек (рис. 4), при этом у каждой ячейки несколько вариантов местоположения рамок, которые ограничивают один и тот же объект, так как непонятно, какой формы прямоугольник будет наиболее релевантным. При этом позиция, ширина, высота вычисляются относительно центра клетки.

Последний слой нейронной сети принимает решение о границах bounding box и классификации работает с тензором размерности $N \times N \times (5B + C)$, где B – количество предсказываемых ограничивающих рамок для ячейки; C – количество классов объектов, определенных изначально; N – размер сетки.

Для того чтобы определить достоверность местоположения ограничивающей рамки, в качестве метрики чаще всего применяется отношение площадей ограничивающих рамок (Intersection over Union) [6]:

$$IoU = \frac{S(A \cap B)}{S(A \cup B)},$$

где A – предсказанная ограничивающая рамка; B – настоящая ограничивающая рамка. На рис. 5 показан пример использования метрики.

В качестве входных данных алгоритм YOLO принимает изображение, которое подается на простую глубокую сверточную нейронную сеть для обнаружения объектов на изображении (Con-



Рис. 4. Разметка изображения на сетку $N \times N$ ячеек

volution-Downsampling Block) [7]. После этого используется плотная структура соединений сверточных слоев (Dense Connection Block), которая усиливает способности к извлечению признаков при одновременном обеспечении максимального потока информации в сети. Следующий шаг – объединение пространственных пирамид (Spatial Pyramid Pooling Block) для объединения и конкатенации многомасштабных объектов локального региона. Глобальный и локальный многомасштабные функции используются совместно для повышения точности обнаружения объектов.

Следует отметить, что алгоритм YOLO превосходит алгоритмы семейства R-CNN по скорости работы благодаря делению изображения на константное количество ячеек. В отличие от других алгоритмов, YOLO не предлагает регионы и не рассчитывает решение для каждого из них отдельно. Однако существует проблема с распознаванием объектов сложной формы или группы небольших объектов из-за конечного числа вариантов для ограничивающих рамок. Тем не менее

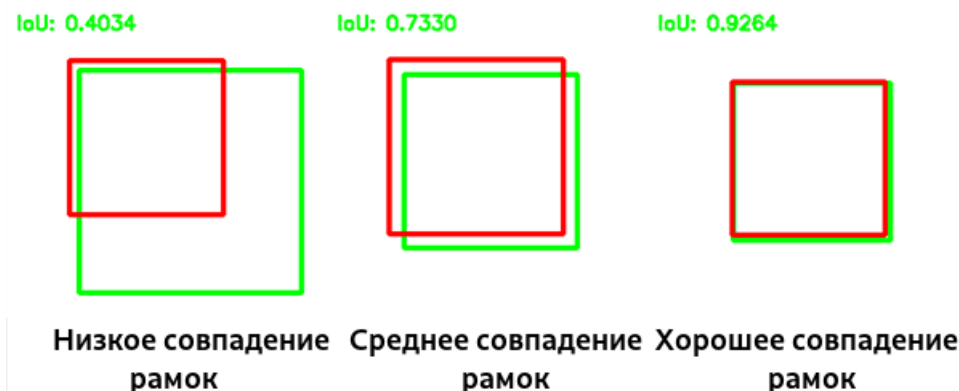


Рис. 5. Принцип работы метрики IoU

данный алгоритм подходит для решения задачи детектирования и активно применяется.

В ходе работы для демонстрации детектирования было разработано программное средство для локализации и классификации транспортных средств, которое автоматически определяет вид транспорта, его количество на видеопотоке данных, а также выводит наглядные результаты для пользователя.

К разрабатываемому средству были выдвинуты следующие требования: возможность загрузки любых медиафайлов, выбор вида транспортного средства для детектирования на изображении, использование искусственной нейронной сети для задачи детектирования образов в режиме реального времени, высокая скорость определения объектов, вывод результатов анализа в виде нового медиафайла с областью локализации и статистики на экран пользователя, возможность сохранения результатов анализа для дальнейшего использования в статистике и в задаче урегулирования транспортных потоков.

Для создания данной системы в качестве языка программирования был выбран Python, который имеет возможность создания графического интерфейса с помощью библиотеки PyQt5. Python имеет все необходимые библиотеки для обработки, анализа данных (pandas и numpy) и для создания моделей машинного обучения (scikit-learn). Кроме того, в Python есть библио-

тека Tensorflow, предназначенная для обучения нейронных сетей с целью автоматического нахождения и классификации образов, а также позволяющая использовать архитектуру YOLO. Кроме того, для обработки изображений необходима библиотека OpenCV, которая делает возможным выполнение сегментации и обнаружения объектов.

Для обучения модели был собран набор данных из различных фотографий, где под разным углом, с разных ракурсов и расстояний расположены различные типы дорожных объектов (пешеходы, легковые и грузовые автомобили, автобусы, велосипеды и мотоциклы). Для разметки изображений использовалось приложение labelImg, которое позволяет быстро расставить рамки локализации объекта на изображении и сохранить результат виде xml файла.

В результате было разработано приложение, результат его работы представлен на рис. 6–7. Это приложение по входному изображению может определить местоположение заранее выбранных классов из предложенного списка (раздел «Объекты отслеживания»), и подсчитать количество образов на конкретном кадре (раздел «Статистика»). На рис. 6 для распознавания были выбраны только следующие объекты: пешеходы, легковые автомобили, автобусы, грузовые автомобили, а на рис. 6 выбраны легковые автомобили, мотоциклы и автобусы. Видно, что,

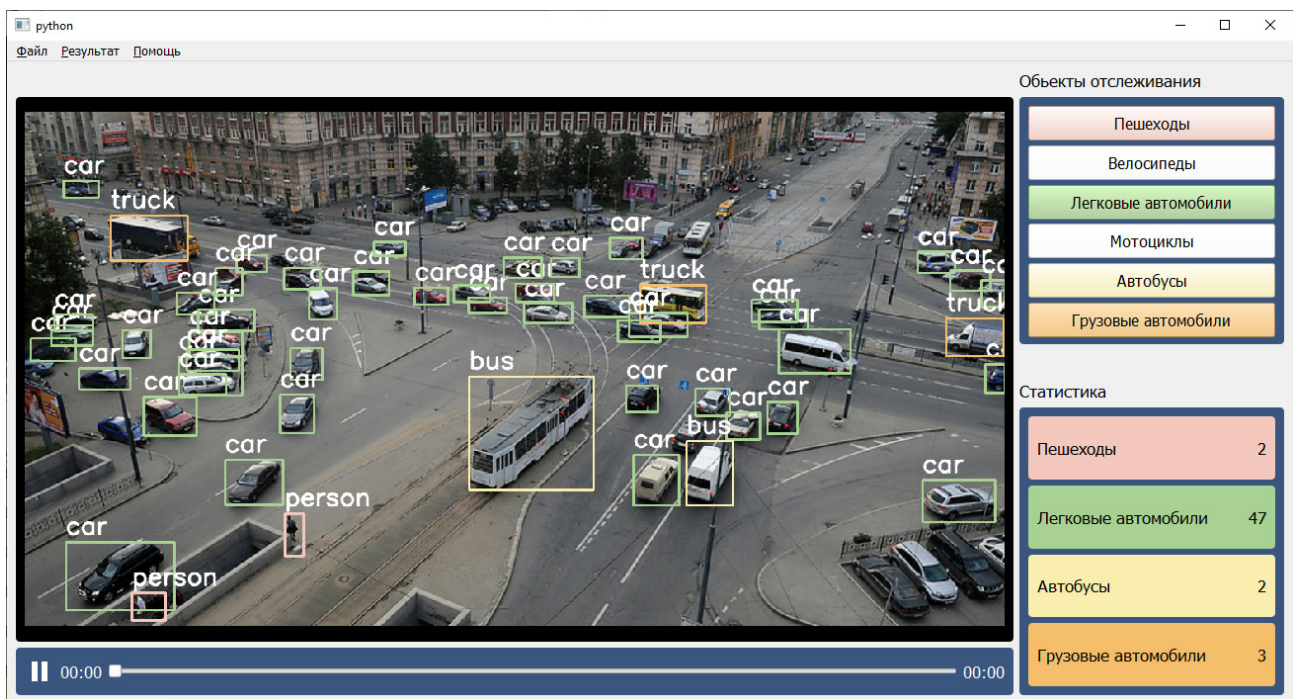


Рис. 6. Пример детектирования и локализации объектов

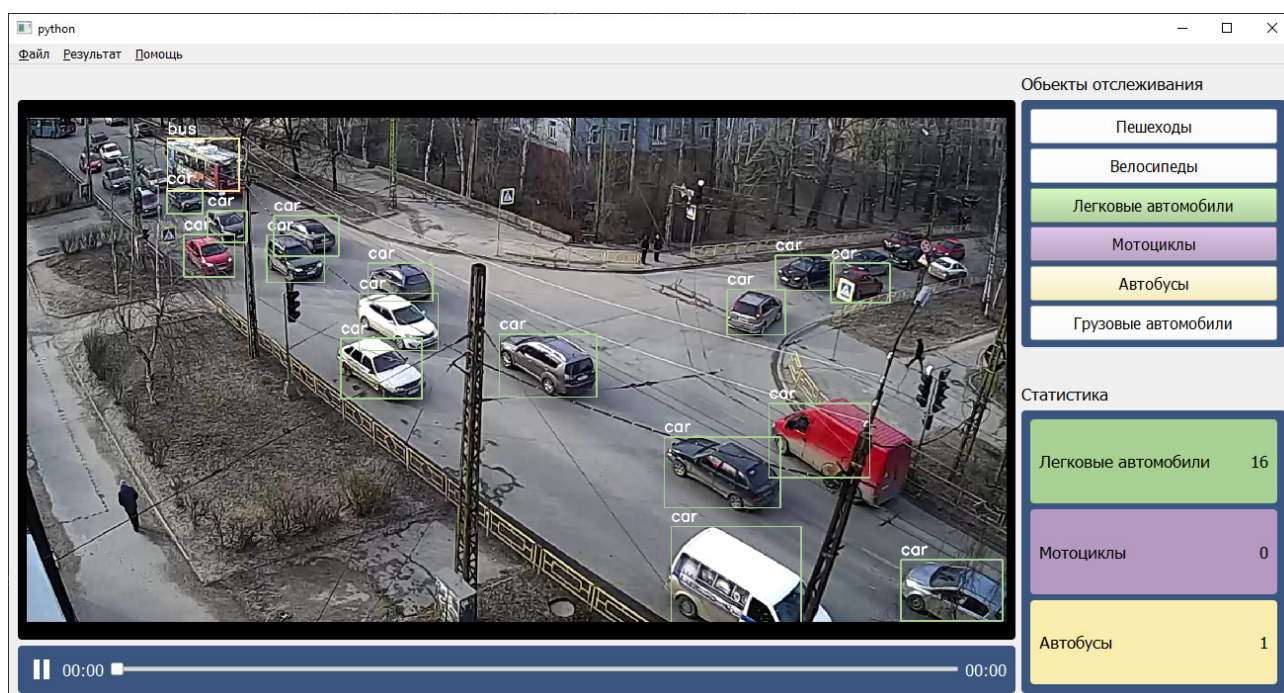


Рис. 7. Пример детектирования и локализации объектов

если объекты расположены слишком далеко или сливаются в одно целое, система может не распознать их. Также похожие объекты могут быть распознаны ошибочно, например, автобус на рис. 6 распознан, как грузовой автомобиль. Однако большинство транспортных средств были определены корректно на стоп-кадре видеопотока дорожного траффика, а также подсчитана статистика по каждому объекту. Так как отслеживание происходит в реальном времени, то такое приложение может быть использовано для контроля дорожного траффика.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение современной архитектуры нейронной сети YOLO для детектирования транспортных средств на видеопотоке данных позволяет достичь высокой точности и эффективности обнаружения различных транспортных средств. А разработанное в ходе работы средство соответствует всем предъявляемым требованиям и может быть использовано для детектирования транспорта в режиме реального времени, что было наглядно продемонстрировано на примерах.

Список источников

1. Распознавание транспортных средств и регистрация их траектории движения на последовательности изображений. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/29322/view> (дата обращения: 15.11.2023).

2. Как устроено компьютерное зрение. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-kompyuternoe-zrenie/> (дата обращения: 15.11.2023).

3. Сверточные нейронные сети. URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Сверточные_нейронные_сети (дата обращения: 15.11.2023).

4. Сверточные нейросети. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/svyortochnye-nejroseti> (дата обращения: 15.11.2023).

5. Боженко В. В., Ключанов В. К. Разработка классификаторов на основе полносвязных нейронных сетей и алгоритмов классического машинного обучения // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: сб. докл. Третьей междунар. науч. конф. СПб.: ГУАП, 2023. С. 10–13.

6. Intersection over Union (IoU) for object detection. URL: <https://pyimagesearch.com/2016/11/07/intersection-over-union-iou-for-object-detection> (дата обращения: 15.11.2023).

7. Convolutional block design for learned fractional downsampling: Laboratory for Image and Video Engineering (LIVE) / L. Chen, C. Bampis, Z. Chao Chen, A. Bovik. Austin: The University of Texas at Austin, 2021.

УДК 004.735

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-19-29

Д. А. Булгаков*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ТОКЕНОВ В ИНТЕРАКТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Рассказывается о невзаимозаменяемых токенах (NFT) в блокчейн-сетях: дается их определение, описываются стандарты, ключевые свойства и функции, а также процесс их создания и публикации. Далее рассматривается способ реализации аутентификации пользователя интерактивного Unity-приложения для соединения с блокчейном и описываются возможности взаимодействия с NFT и другими токенами сети внутри приложения и интеграции пользовательского цифрового контента в приложение с использованием полувзаимозаменяемых токенов.

Ключевые слова: блокчейн, токен, NFT, Unity, децентрализованные приложения, смарт-контракт.

D. A. Bulgakov*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

NON-FUNGIBLE TOKENS USAGE IN INTERACTIVE APPLICATIONS

The article talks about non-fungible tokens (NFTs) in blockchain networks, and describes their definition, standards, key properties and functions, as well as the process of their creation and deployment. The following describes how to implement user authentication for an interactive Unity application to connect to the blockchain, examines the possibilities of interacting with NFTs and other tokens within the application, and provides examples of using semi-fungible tokens for user digital content integration into the application.

Keywords: blockchain, token, NFT, Unity; decentralized applications, smart contract.

Определение невзаимозаменяемых токенов (NFT)

Невзаимозаменяемый токен (англ. non-fungible token, NFT) – это цифровой актив, который позволяет однозначно установить владельца и доказать аутентичность и уникальность какого-либо предмета, произведения искусства или, в конечном счете, любого цифрового файла, например, изображения, видео, текстового документа, лицензионного ключа и т. д. [1].

Токены – это криптографические активы в сети блокчейна, обладающие уникальными идентификационными кодами, которые позволяют отличать их друг от друга. Криптовалюты, такие как Bitcoin или Ethereum, являются заменяемыми и конвертируемыми – это значит, что одна единица валюты ничем не отличается от другой. NFT, с другой стороны, уникальны и не могут быть обменены на другие токены или активы или реплицированы [2]. Также NFT нельзя разделить или слить воедино. Информация о владении NFT хранится в блокчейне (в большинстве случаев, это блокчейны, совместимые с EVM), и право владения NFT может

передаваться другим пользователям так же, как и при обмене традиционными активами, вроде недвижимости или сертификатов акций [3]. Отсюда можно сделать вывод, что одной из ключевых особенностей NFT является их способность обеспечивать аутентификацию и подтверждение права собственности на уникальные цифровые активы. Создателям контента и коллекционерам это открывает новые возможности по монетизации и обмену таких цифровых активов, для которых ранее трудно было определить стоимость или авторство. Например, широкую популярность NFT получили в мире искусства, позволив художникам продавать свои цифровые творения как уникальные произведения искусства. Прикрепление цифрового полотна к невзаимозаменяемому токenu решает проблему его копирования и распространения без разрешения автора или без уплаты ему роялти.

Стандарты токенов

Стандарты токенов в сетях виртуальной машины Ethereum (англ. Ethereum Virtual Ma-

chine, EVM) определяются документом под названием «Предложения к обсуждению для Ethereum» (англ. Ethereum Request for Comment, ERC). Это сборник стандартов, протоколов и правил для создания токенов [4]. Там определяются вносимые в сеть протоколы и улучшения, которые сперва проходят обсуждение в сообществе Ethereum на GitHub, после чего внедряются и утверждаются ключевыми разработчиками Ethereum. Программисты используют определенные в этом документе положения для написания смарт-контрактов в блокчейне Ethereum. ERC могут относиться к различным областям блокчейна, например, к токенам, регистрационному имени, консенсусу и др.

Новые ERC создаются через механизм «внешения предложений по улучшению Ethereum» (англ. Ethereum Improvement Proposal, EIP). Это дизайн-документ, содержащий информацию о новых функциях или процессах в сети. Там дается логическое обоснование необходимости добавить конкретную функцию в блокчейн и приводятся ее исчерпывающие технические спецификации. Сообщество изучает внесенные предложения и дает заключение – стоит их внедрять в блокчейн или нет. Функции, получившие одобрение сообщества, попадают в ERC, где ключевые разработчики берутся за их внедрение. Наиболее популярными стандартами Ethereum на сегодняшний день являются ERC-20, ERC-721, ERC-1155 и ERC-998.

ERC-20

Стандарт ERC-20 используется для смарт-контрактов и устанавливает набор правил и руководств по созданию токенов, которые могут торговаться на децентрализованных платформах Ethereum. Токены ERC-20 являются взаимозаменяемыми, то есть каждый такой токен эквивалентен другому токenu того же типа. Все они имеют одинаковые функции и возможности, включая возможность передачи, просмотра и подтверждения, что существенно упрощает взаимодействие с ними со стороны приложений, криптокошельков и бирж. С использованием стандарта ERC-20 созданы тысячи токенов для применения в различных сферах деятельности, включая финансовые операции, сбор средств и игры. Среди наиболее популярных и распространенных токенов этого типа можно назвать Tether (USDT) – стабильную криптовалюту, курс которой привязан к доллару США, и Binance Coin (BNB) – родную криптовалюту крупнейшей криптобиржи Binance, которая используется для оплаты комиссий при торгах.

ERC-721

Текущая концепция NFT была впервые представлена в протоколе EIP-721 в 2017 году [5]. Этот протокол определил стандарт ERC-721 для уникальных токенов, существенно отличавшихся от токенов ERC-20. Стандарт ERC-721 содержит интерфейс, который должен быть реализован в смарт-контракте, чтобы пользователи смогли «чеканить» и продавать NFT. Этот интерфейс, в частности, предоставляет функции по передаче токенов между адресами кошельков в сети Ethereum.

NFT определяются уникальным 256-битным целочисленным идентификатором без знака. Он хранится внутри смарт-контракта и не может быть изменен. Однако разные смарт-контракты могут использовать одни и те же идентификаторы для своих токенов, а это значит, что каждый NFT может быть глобально и однозначно идентифицирован парой значений: адресом контракта (`contract_address`) и ID токена (`tokenId`). Как правило, при «чеканке» нового NFT смарт-контракты стандарта ERC-721 генерируют для него `tokenId` путем увеличения предыдущего значения на единицу, однако сам стандарт не устанавливает конкретных правил генерации идентификаторов. Ниже перечислены основные функции интерфейса ERC-721:

- `transferFrom` – позволяет переслать NFT на другой адрес, то есть изменить владельца;
- `approve` – владелец NFT может разрешить другому адресу пересылать этот NFT;
- `getApproved` – возвращает список одобренных адресов, кому разрешено пересылать данный NFT;
- `balanceOf` – возвращает количество NFT, владельцем которых является данный адрес;
- `ownerOf` – возвращает адрес владельца данного NFT.

Кроме того, стандарт ERC-721 предоставляет интерфейс, определяющий, какие методы необходимо реализовать для получения NFT, а также содержит метод обратного вызова для обработки механизма получения пересланного токена.

ERC-1155

Данный стандарт, также называемый «мульти-токеновым», определяет так называемые полувзаимозаменяемые токены (англ. semi-fungible) – это NFT, у которых в сети может существовать множество копий. Если в стандарте ERC-721 уникальный ID представляет единственный актив, то в стандарте ERC-1155 уникальный ID представляет целый класс ак-

тивов – в этом и кроется основное различие между ними. У каждого класса токенов ERC-1155 есть дополнительное поле, определяющее число копий. Все токены, имеющие одинаковый ID, являются заменяемыми, что дает пользователю возможность делиться своими цифровыми активами с другими адресатами.

ERC-998

ERC-998 – это стандарт, используемый для составных токенов [6]. Он позволяет группировать токены ERC-721 и ERC-20 в определенные структуры и атомарно управлять их владением. ERC-998 содержит один адрес владельца и может включать произвольный набор взаимозаменяемых и невзаимозаменяемых токенов. Управлять владением такой структурой проще, чем каждым токеном по отдельности, поскольку для изменения владельца достаточно всего одной транзакции.

Ключевые свойства и составляющие NFT

NFT состоит из двух частей: смарт-контракта и метаданных. Смарт-контракт размещается в блокчейн-сети и содержит набор правил или стандартов, которые обеспечивают проведение транзакции и служат цифровым описанием прикрепленного контента. Вдобавок смарт-контракты NFT отслеживают владельца каждого токена, используя для этого соответствующие структуры данных. Каждый токен, хранящийся в смарт-контракте, включает ссылку, которая однозначно идентифицирует любой цифровой актив с заданными характеристиками. В метаданные записывается ключевая информация об NFT, наряду со ссылкой на прикрепленный цифровой актив. При этом сам цифровой актив хранится в децентрализованной файловой системе, например, в системе IPFS [7].

Как правило, метаданные хранятся в формате JSON. В токенах ERC-721 метаданные определяются в виде функции `tokenURI`, которая принимает `tokenId` в качестве входных данных и возвращает JSON-объект с именем токена и URI-ссылкой на привязанный к нему контент (изображение, видео, документ и т. д.).

Можно выделить следующие основополагающие свойства NFT [8].

- **Нераздельность.** NFT не могут быть разделены на меньшие токены, как криптовалюты.
- **Дефицитность и уникальность.** Каждый NFT уникален по определению и не может быть реплицирован.

- **Защищенность.** Технология блокчейна гарантирует высокий уровень защищенности и может быть использована для подтверждения владения NFT.

- **Отслеживаемость.** При создании NFT информация о его держателе записывается в блокчейн. Также в блокчейн записываются все транзакции по передаче этого NFT, что позволяет легко отследить историю токена.

- **Оперативная совместимость.** NFT можно легко перемещать между различными системами.

Существует два механизма хранения информации в NFT.

1. Смарт-контракт содержит универсальный идентификатор ресурса (англ. `Universal Resource Identifier`, `URI`), доступ к которому осуществляется через функцию `tokenURI`. Этот идентификатор указывает на место в децентрализованной файловой системе (IPFS или `Arvweave`), где хранится цифровой контент NFT. Децентрализованные приложения и разнообразные торговые площадки могут напрямую обращаться к этой информации.

2. Смарт-контракт содержит функцию и набор данных, необходимые для генеративного воссоздания цифрового актива. Такой способ обычно применяется при процедурной генерации изображений для дальнейшего распространения их среди пользователей в виде NFT.

Выбор сети для размещения NFT

На сегодняшний день большинство NFT-проектов развернуто в сетях EVM, что делает их совместимыми с децентрализованными приложениями, построенными на базе Ethereum. Для написания смарт-контрактов в сети Ethereum используется специальный объектно-ориентированный язык программирования `Solidity`, компилируемый виртуальной машиной Ethereum. Публикация смарт-контракта в сети требует оплаты комиссии в нативной криптовалюте – ETH, причем размер комиссии варьируется в зависимости от текущей загрузки сети и составляет примерно от 20 до 60 \$. Кроме того, основная сеть Ethereum страдает от невысокой скорости прохождения транзакций (13–15 транзакций в секунду), что делает ее не самым оптимальным кандидатом для размещения NFT на сегодняшний день.

Для повышения масштабируемости Ethereum и сокращения времени обработки транзакций и комиссий, которые вынуждены платить пользователи, в октябре 2017 года была представлена сеть 2-го уровня Ethereum под названием `Matic`

Network [9]. Позднее, в феврале 2021 года, она была переименована в Polygon. Будучи сетью 2-го уровня, Polygon не копирует функциональность Ethereum, но работает с ним в параллели и предоставляет пользователям возможность переносить свои цифровые активы из одной сети в другую для создания «Интернета блокчейнов». Отличительной особенностью Polygon стала высокая скорость обработки транзакций – около 7000 в секунду – благодаря применению технологии масштабирования Plasma, которая позволила перемещать активы между корневой цепочкой и дочерними цепочками с помощью специальных мостов. Соответственно, снизилась и стоимость прохождения одной транзакции.

Для оплаты различных операций внутри сети, включая комиссии и стейкинг, Polygon использует собственную криптовалюту – MATIC. Она представляет собой токен ERC-20, созданный в основной сети Ethereum, и не имеет ограничений на выпуск, в отличие от большинства других криптовалют.

Архитектура Polygon включает четыре уровня:

1) основной сети Ethereum. Он обеспечивает безопасность блокчейнов Polygon при помощи смарт-контрактов основной сети;

2) безопасности. Он необходим для доступа к валидаторам. Технология позволяет подключать узлы (конечные точки RPC), взаимодействовать с ними и распределять награды между валидаторами;

3) Polygon. Здесь располагаются независимые блокчейны, которые создают иерархическую связь между транзакциями и отвечают за достижение консенсуса. Именно на этом уровне пользователи осуществляют транзакции;

4) слой исполнения. Тут происходит обработка транзакций и сохранение данных. На этом уровне функционируют EVM-совместимые сети, позволяющие выполнять смарт-контракты.

Помимо основной сети, экосистема Polygon также предлагает разработчикам тестовую сеть Mumbai, названную так в честь города в Индии. По сути, Mumbai является репликой основной сети Polygon, но соединяется она не с сетью Ethereum, а с ее тестовым вариантом – сетью Goerli. Она была спроектирована специально для разработки, отладки и тестирования децентрализованных приложений перед развертыванием их в основной сети. Mumbai использует механизм консенсуса на основе доказательства полномочий (англ. Proof of Authority, PoA), при котором транзакции и блоки проверяются утвержденными учетными записями, известными как «валидаторы» [10]. Они выбираются участниками сети путем голосования, и их ко-

личество обычно фиксировано. Главное отличие PoA от механизма доказательства владения (англ. Proof of Stake, PoS), который применяется в основных сетях Polygon и Ethereum, в том, что валидаторы не получают награды за стейкинг. Тем не менее это не является проблемой, потому что для оплаты транзакций в тестовой сети Mumbai пользователям и разработчикам не нужно тратить реальные деньги – нативные токены MATIC тестовой сети распространяются бесплатно через специальные узлы, называемые «кранами» (англ. faucet). Данный фактор наряду с высокой скоростью обработки транзакций позволяет рекомендовать сеть Mumbai для разработки интерактивных децентрализованных приложений и развертывания смарт-контрактов.

Создание NFT из цифрового актива

В общем случае алгоритм создания и продажи NFT включает следующие этапы:

1) выбор блокчейн-платформы. Это могут быть как основные, так и тестовые сети, например, Ethereum, Mumbai, Binance Smart Chain, Flow и другие;

2) создание самого цифрового актива. Это может быть изображение, музыкальная запись, видеофайл или любой другой актив, который вы желаете опубликовать в сети с подтверждением права владения;

3) «чеканка» (от англ. mint) NFT. Процесс «чеканки» включает создание уникального токена в выбранной блокчейн-сети, который будет представлять владельца цифрового актива. «Отчеканить» токен можно, например, на площадках популярных рынков NFT: OpenSea, Rarible или SuperRare;

4) указание цены продажи NFT и объема роялти, которые вы будете получать при дальнейших перепродажах вашего токена;

5) выставление NFT на продажу на специализированной рыночной площадке или на своем собственном сайте. Продажа и покупка NFT всегда осуществляется в криптовалюте – нативных токенах выбранной блокчейн-сети. Например, для основной сети Ethereum это будет монета ETH, а для сети Polygon это будут токены MATIC.

Платформа Thirdweb для децентрализованных приложений

Thirdweb – это площадка, предоставляющая различные инструменты для разработки web3-приложений. Среди них SDK для React, Native-

React, TypeScript, Python, Go, Unity и Solidity; рабочая среда «Thirdweb Dashboard», предназначенная для создания и развертывания смарт-контрактов на базе готовых шаблонов; функция бесплатного доступа к узлам RPC для соединения с различными блокчейн-сетями (как основными, так и тестовыми), а также многочисленные шаблоны, примеры, видеоуроки и руководства по разработке децентрализованных приложений [12].

SDK Thirdweb для Unity поддерживает функции публикации смарт-контрактов, управления кошельком, создания NFT и другие. Для начала работы с ним необходимо перейти в репозиторий на GitHub и скачать там последнюю версию Unity-пакета [13]. Установка пакета в Unity происходит привычным способом – через контекстное меню папки ассетов: «Import Package >> Custom Package».

Чтобы превратить проект Unity в децентрализованное приложение, работающее с блокчейном на нативной платформе (Windows, MacOS, Linux), необходимо добавить в сцену менеджер фреймворка Thirdweb (префаб «ThirdwebManager») и холст главного меню с кнопкой подключения (префаб «Prefab_ConnectWallet»).

Работа с блокчейном и NFT в Unity

Для демонстрации возможностей фреймворка Thirdweb в рамках НИР «Метавселенная ГУАП» [14] было разработано интерактивное приложение, позволяющее пользователю взаимодействовать с блокчейном и NFT, а именно:

- подключаться к блокчейну, просматривать информацию о сети и кошельке, а также пере-

ключаться между тремя тестовыми сетями: Goerli, Mumbai и Avalanche Fuji;

- совершать транзакции по отправке нативных токенов сети на другой адрес;

- производить поиск и отображать на экране все собственные NFT, созданные в рамках указанного смарт-контракта;

- получать подробную информацию о выбранном NFT из его метаданных;

- копировать изображения или 3D-модели из выбранного NFT и размещать их в трехмерной сцене;

- создавать новые коллекции NFT (смарт-контракты).

Вид стартового экрана показан на рис. 1, а. Кнопка «Подключиться» здесь является ключевым компонентом аутентификации. При ее нажатии появляется экран выбора провайдера подключения приложения к блокчейну. В данной версии доступны два варианта подключения (рис. 1, б):

- «MetaMask» – подключение к мобильному кошельку Metamask;

- «Продолжить как гость» – создать новый локальный кошелек на устройстве или подключиться к ранее созданному.

При выборе «MetaMask» появится экран со сгенерированным QR-кодом (показан на рис. 2, а). Этот код необходимо отсканировать камерой смартфона через мобильное приложение Metamask. После этого на экране смартфона появится запрос на подтверждение сопряжения с Unity-приложением (показан на рис. 2, б).

В случае успешного соединения на главном экране входа отобразятся текущая выбранная сеть, баланс основного токена этой сети и адрес

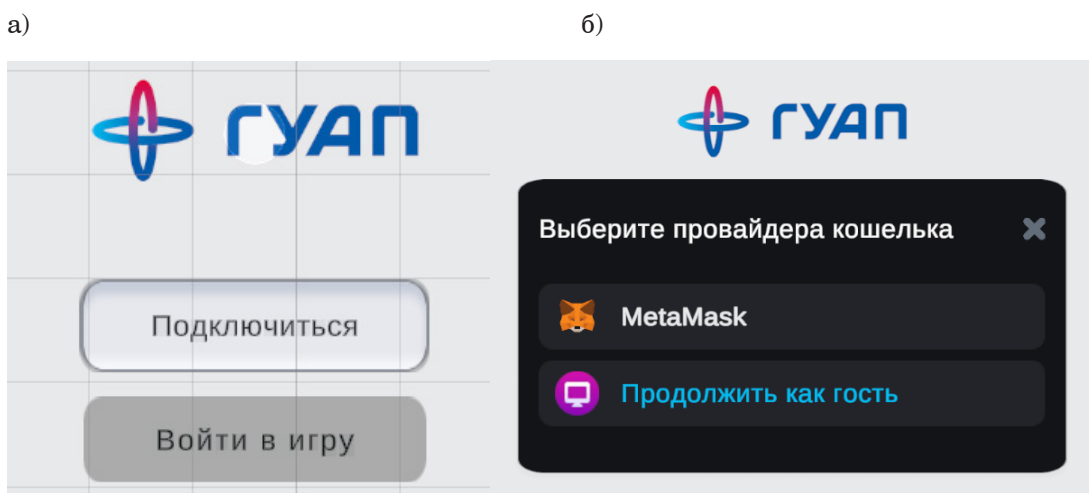


Рис. 1: а – начальный экран тестового децентрализованного приложения; б – экран выбора провайдера для подключения к блокчейну

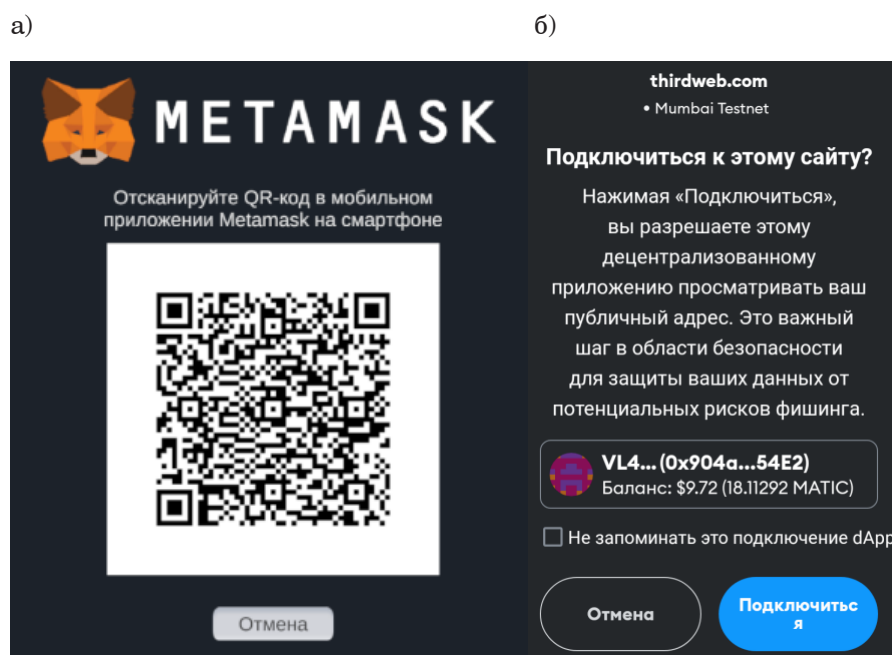


Рис. 2: а – сканирование QR-кода; б – соединение с мобильным клиентом Metamask

криптокошелек (учетной записи) пользователя (рис. 3). Здесь же можно сменить сеть, скопировать адрес кошелька в буфер обмена, отключиться и посмотреть дополнительную информацию о выбранной сети.

Использование NFT для контроля допуска пользователей

Один из вариантов использования NFT в интерактивных приложениях – контроль доступа пользователей к определенным сценам или ресурсам вашего проекта. Логика работы тут сле-

дующая: сразу после установления соединения с блокчейном выполняется проверка наличия в криптокошельке подключившегося пользователя специального NFT-ключа. Для этого проверяется количество копий токена с порядковым номером «0» во владении пользователя. Smart-контракт токена NFT-ключа записан в переменную `keyContract`. Если токен с NFT-ключом не обнаружен, то на главном экране появится картинка с изображением ключа и кнопкой «Получить ключ». Код на языке C#, реализующий данную логику, приведен ниже. Также на рис. 4 показан пример работы кода.

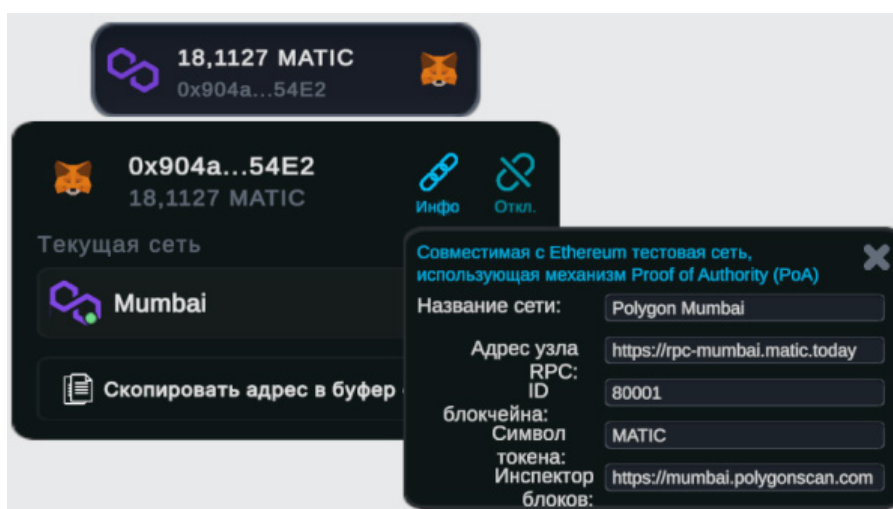


Рис. 3. Информация о сети после подключения

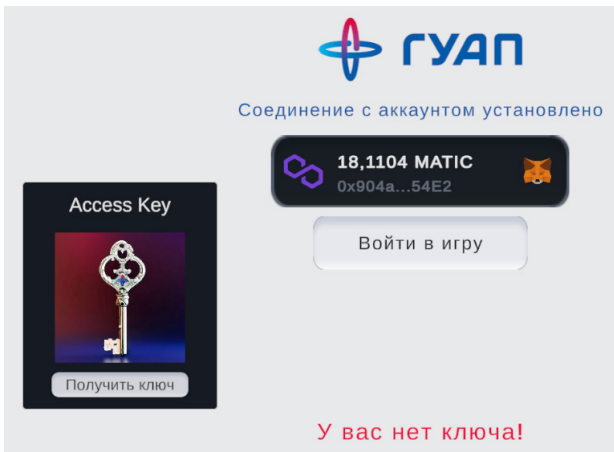


Рис. 4. Проверка на наличие у пользователя NFT-ключа

```
// Проверка баланса NFT
public async Task<string>
CheckBalance(string address)
{
    string balance = await keyContract.
ERC1155. BalanceOf(address, «0»);
    Debug. Log(«Баланс токена:
« + balance);
    return balance;
}

public async void GetNftMedia()
{
    NFT tempNFT = await keyContract.
ERC1155. Get(«0»);
    nftKeyPanel.
GetComponent<NFTKeyDisplay>().
LoadNFT(tempNFT);
}

Кнопка «Войти в игру» неактивна, если у
пользователя нет ключа. Чтобы получить во
владение одну копию NFT-ключа, нужно на-
жать кнопку «Получить ключ». Это вызовет ме-
тод RequestNftKey, код которого приведен ниже.
public async void RequestNftKey()
{
    try
    {
        // Получение копии NFT ключа
        Contract _contract =
ThirdwebManager. Instance. SDK.
GetContract(keyContract. ToString());
        TransactionResult
transactionResult = await _contract.
ERC1155. Claim(«0», 1); // Получить 1 NFT
с индексом 0
        Debug. Log(«Ключ ERC1155
получен» + transactionResult. ToString());
    }
}
```

```
// Если ошибка, система сообщит причину,
почему ключ не может быть получен
catch (System. Exception e)
{
    await keyContract. ERC1155.
claimConditions. CanClaim(«0», 1,
keyContract. ToString());
}
```

Метод Claim запрашивает разрешение на проведение транзакции по передаче 1 токена с индексом «0» на адрес криптокошелька подключенного пользователя. На данный момент этот метод работает только для платформы Unity WebGL, однако разработчики обещают вскоре добавить поддержку нативных платформ (Windows, Linux, Mac).

Поиск и отображение коллекции NFT

После подключения к сети и входа в основную 3D-сцену пользователю становится доступно меню галереи NFT (рис. 5). Здесь можно ввести номер и тип смарт-контракта, после чего программа просканирует сеть и отобразит на экране в виде карточек все NFT, имеющиеся во владении пользователя. Фрагмент кода скрипта Prefab_NFTloader. cs, отвечающий за получение собственных NFT, приведен ниже.

```
try
{ // Получить собственные NFT
    foreach (OwnedQuery ownedQuery
in query. loadOwnedNfts)
    {
        Contract tempContract =
ThirdwebManager. Instance. SDK.
GetContract(contractIdField. text);
        List<NFT> tempNFTList =
ownedQuery. type == NFTType. ERC1155 ?
await tempContract. ERC1155.
GetOwned(Prefab_ConnectWallet.
accountAddress): await tempContract.
ERC721. GetOwned(Prefab_ConnectWallet.
accountAddress);
        nftsToLoad.
AddRange(tempNFTList);
    }
}
catch (Exception e) // Если ошибка
{
    print(«Ошибка загрузки собственных
NFT: {e. Message}»);
}
```

Для загрузки найденных NFT циклически создаются клоны префаба «карточки» при по-

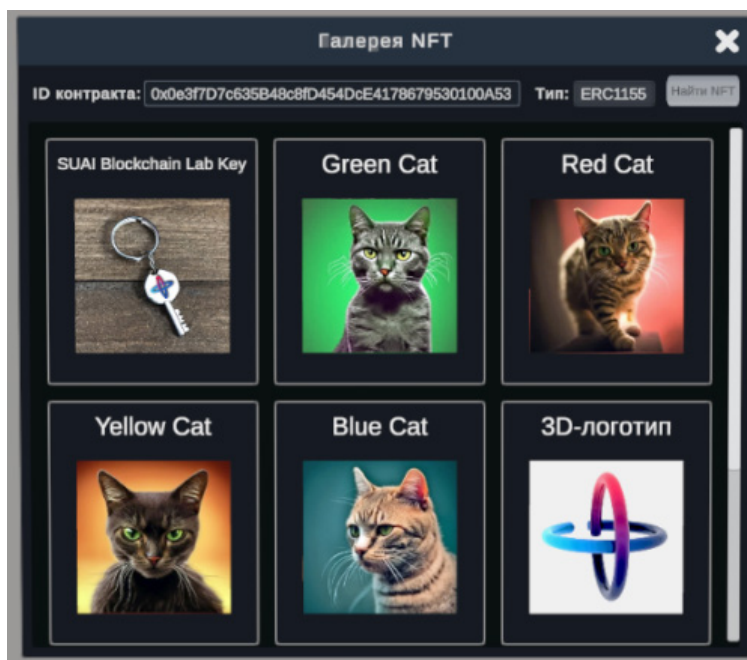


Рис. 5. Галерея NFT, принадлежащих пользователю

мощи метода `Instantiate`. После этого вызывается метод `LoadNFT`, который меняет название карточки с «Мой NFT» на имя найденного NFT, скачивает прикрепленное изображение из файловой сети IPFS и накладывает его на объект `UI Image` карточки в качестве 2D-текстуры.

```
// Загрузить все NFT в сцену
foreach (NFT nft in nftsToLoad)
{
    if (!Application.isPlaying)
        return;
    NFTPrefabScript nftPrefabScript =
Instantiate(nftPrefab, contentParent);
    nftPrefabScript.LoadNFT(nft);
}

// Получить картинку NFT из метаданных
и поместить ее на карточку
public async void LoadNFT(NFT nft)
{
    nftName.text = nft.metadata.name; // Имя
    nftImage.sprite =
await ThirdwebManager.Instance.SDK.storage.DownloadImage(nft.metadata.image); // Картинка
    nftButton.onClick.RemoveAllListeners();
    nftButton.onClick.AddListener(() => ShowNftInfo(nft));
}
```

Подробная информация об NFT и копирование изображения

Щелкнув курсором мыши на желаемую карточку из галереи (см. рис. 5), пользователь откроет окно с подробной информацией об этом NFT. Информация берется напрямую из метаданных NFT, хранящихся в децентрализованной файловой системе IPFS. За эту функцию отвечает метод `ShowNftInfo` скрипта `NFTPrefabScripts.cs`. Ниже приведен фрагмент кода, заполняющий поля имени и ID NFT.

```
// Инициализация кнопки
copyImageButton = nftInfoCanvas.transform.Find(«NFTInfo Screen/NFTSpecs Panel/Viewport/NFT_Picture/Copy Image URL (Button)»); copyImageButton.GetComponent<Button>().onClick.AddListener(CopyImageButtonPressed);
// Найти поля для заполнения
#region [НАЗВАНИЕ NFT]
nftNameField = nftInfoCanvas.transform.Find(«NFTInfo Screen/NFTSpecs Panel/Viewport/NFT_Name (Text)/NFT_Name (Field)»);
nftNameField.GetComponent<TMP_InputField>().text = nft.metadata.name;
#endregion
#region [ID NFT]
nftIdField = nftInfoCanvas.transform.Find(«NFTInfo Screen/NFTSpecs Panel/Viewport/NFT_ID (Text)/NFT_ID (Field)»);
```

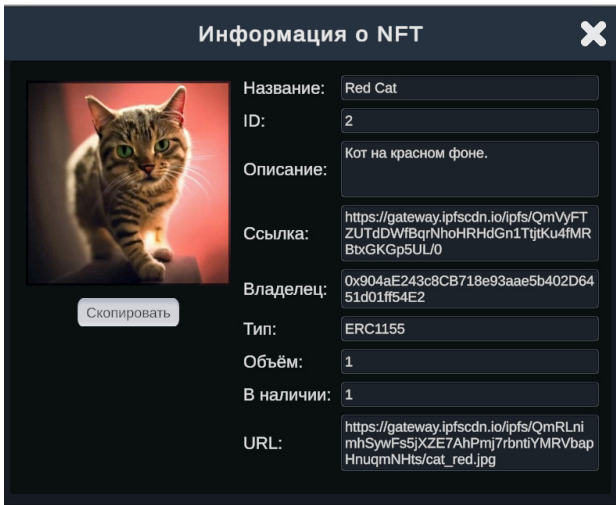


Рис. 6. Подробная информация о выбранном NFT

```
nftIdField.GetComponent<TMP_InputField>().
text = nft.metadata.id;
#endregion
```

Пример окна с метаданными NFT приведен на рис. 6. Также здесь присутствует кнопка «Скопировать». При нажатии выполняется скачивание прикрепленного к NFT изображения из файловой системы IPFS и преобразование его в текстуру, которую затем можно наложить на подходящий объект в сцене – картину на стене. За загрузку и преобразование текстуры отвечает метод `LoadTextureFromUrl` скрипта `LoadTexture.cs`. Его код приведен ниже. Данный метод использует класс `UnityWebRequest`

```
Texture для скачивания картинки и преобразо-
вания ее в текстуру, после чего накладывает ее
на материал 3D-объекта через обращение
к классу визуализатора (Renderer).
// Загрузить текстуру по URL-адресу
и наложить на объект
public async void LoadTextureFromUrl()
{
    pictureObject = this.gameObject;
    imageUrl = NFTPrefabScript.
nftImageGlobalUrl;
    Debug.Log(«Загрузка текстуры:
« + imageUrl);
    UnityWebRequest textureRequest =
UnityWebRequestTexture.
GetTexture(imageUrl);
    await textureRequest.
SendWebRequest();
    pictureObject.
GetComponent<Renderer>().material.
mainTexture = ((DownloadHandlerTexture)
textureRequest.downloadHandler).texture;
}
```

Для определения 3D-объекта, на который будет наложена картинка, применяется система испускания лучей (`Raycast`). Логика ее работы следующая: на каждом кадре из камеры персонажа выпускается невидимый луч в направлении «вперед». Если этот луч попадает в коллайдер (физическую оболочку) объекта, которому присвоен ярлык «Picture», то при последующем нажатии на клавиатуре клавиши «E» текстура этого объекта изменяется на ту, которая была сформирована из картинки NFT. Для удобства

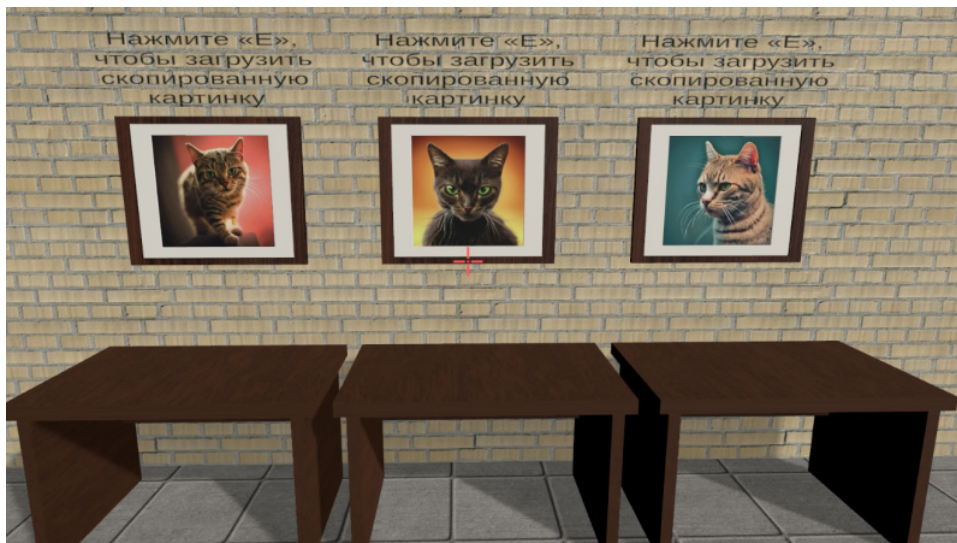


Рис. 7. Наложение текстур из NFT на картины в 3D-сцене

навигации объекты, на которые можно проецировать текстуры, подсвечиваются по контуру при попадании в них невидимого луча. Код, реализующий вышеописанный функционал приведен ниже. Результат проецирования текстур на картины в сцене показан на рис. 7.

```
// Если луч попал в картину
if (selected.gameObject.tag == «Picture»)
{
    outline = selected.Find(«Image_
Outline»);
    outline.
GetComponent<MeshRenderer>().enabled =
true; // Подсветка
    // При нажатии «Е» загрузить текстуру
    if (Input.GetKeyDown(KeyCode.E) &&
NFTPrefabScript.canPasteImage == true)
    {
        selected.gameObject.
GetComponent<LoadTexture>().
LoadTextureFromUrl();
        NFTPrefabScript.canPasteImage =
false;
    }
}
```

Создание коллекции NFT

Функция создания коллекций прямо из интерактивного приложения пока что функционирует только для платформы WebGL. Меню создания коллекции (смарт-контракта) приведено на рис. 8. В этом окне присутствуют поля с метаданными NFT. При наведении курсора

мыши на значки вопроса на экране будут появляться подсказки по конкретному полю. Всего здесь имеется 6 параметров:

- изображение – иконка NFT, которая будет отображаться в галерее;
- название – название смарт-контракта (коллекции NFT);
- символ – сокращенное обозначение смарт-контракта;
- описание – словесное описание смарт-контракта;
- получатель комиссий – им является аккаунт пользователя;
- внешняя ссылка – ссылка на прикрепленный цифровой контент.

При нажатии на значок картинки откроется окно обозревателя файлов, который позволит найти и выбрать изображение для NFT на жестком диске компьютера. При нажатии кнопки «Создать коллекцию» будет инициирована транзакция, и пользователю придется заплатить комиссию для ее обработки в блокчейне при помощи своего мобильного приложения криптокошелька.

Заключение

На приведенных выше примерах были продемонстрированы самые базовые функции взаимодействия пользователя интерактивного приложения (или игры) с NFT. Невзаимозаменяемые токены обладают потенциалом кардинально изменить механизмы создания, передачи и установления авторства цифрового контен-

Рис. 8. Создание смарт-контракта коллекции NFT

та в интерактивных приложениях. Одна из перспектив – это использование NFT в качестве уникальных цифровых активов и предметов, которые пользователи смогут приобретать, продавать и менять внутри интерактивных приложений. Конкретно для игр это могут быть, например, различные внутриигровые предметы и награды за выполнение заданий. Также NFT могут использоваться для предоставления доступа к различным локациям, зонам или режимам игры. Например, пользователь, который приобрел NFT-ключ, сможет попасть на определенный уровень. Еще одна перспектива – создание цифровой идентичности пользователей с помощью NFT-аватаров. Такой аватар сможет хранить информацию о достижениях, статусе, истории пользователя внутри приложения, что откроет большие возможности для развития экономики внутри виртуальных миров.

Список источников

1. *Guidi B., Michienzi A.* From NFT 1.0 to NFT 2.0: A Review of the Evolution of Non-Fungible Tokens. *Future Internet*.15.189.10.3390/fi15060189. URL: https://www.researchgate.net/publication/371061858_From_NFT_10_to_NFT_20_A_Review_of_the_Evolution_of_Non-Fungible_Tokens (дата обращения: 10.11.2023).
2. *Wang Q., Li R., Wang Q.* Non-fungible token (NFT): Overview, evaluation, opportunities and challenges. *arXiv* 2021, *arXiv*:2105.07447.
3. *Regner F., Urbach N., Schweizer A.* NFTs in practice–non-fungible tokens as core component of a blockchain-based event ticketing application // *Proceedings of the 40th International Conference on Information Systems*. Munich, 2019; Atlanta, 2019. P. 1–17.
4. *Chainani V.* What are Ethereum request for comments (ERC) Standards. URL: https://dev.to/envoy_/ks-what-are-ethereum-request-for-comments-erc-standards-5f80 (дата обращения: 10.11.2023).
5. *Di Angelo M., Salzer G.* Tokens, types, and standards: Identification and utilization in Ethereum. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures*. Oxford, 2020; Piscataway, 2020. P. 1–10.
6. *Lockyer M.* Introducing Crypto Composables. URL: <https://medium.com/coinmonks/introducing-crypto-composables-ee5701fde217> (дата обращения: 10.11.2023).
7. *Guidi B., Michienzi A., Ricci L.* Data persistence in decentralized social applications: The ipfs approach // *Proceedings of the 2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference*. Las Vegas, 2021; Piscataway, 2021. P. 1–4.
8. *Das D., Bose P., Ruaro N.* Understanding Security Issues in the NFT Ecosystem. *arXiv* 2021, *arXiv*:2111.08893.
9. *Можаров В.* Что такое Polygon (MATIC) и почему он важен для Ethereum? URL: <https://vc.ru/crypto/339093-что-такое-polygon-matic-i-pochemu-on-vazhen-dlya-ethereum> (дата обращения: 10.11.2023).
10. Новостной портал о событиях из мира блокчейнов и криптовалют Crypto Pizza. Гайд по PoW, PoS, PoA: как устроены алгоритмы консенсуса в блокчейнах. URL: <https://cryptopizza.news/education/gaid-po-pow-pos-po-a-kak-ustroyeny-algoritmy-konsensusa-v-blokceinax> (дата обращения: 10.11.2023).
11. Icongraph Apps. Набор схематичных иконок по тематике NFT, опубликованных в социальной сети Twitter. URL: <https://twitter.com/IcongraphApp/status/1384780886227439616> (дата обращения: 10.11.2023).
12. Thirdweb Documentation. Документация по работе с web3-фреймворком Thirdweb, позволяющим подключать игры и другие интерактивные приложения к блокчейн-сетям. URL: <https://portal.thirdweb.com> (дата обращения: 10.11.2023).
13. Актуальная версия SDK Thirdweb для Unity в репозитории GitHub. URL: <https://github.com/thirdweb-dev/unity-sdk/releases> (дата обращения: 10.11.2023).
14. НИР № 1.87.23 по теме: «Исследование и разработка на базе цифровых реальностей метавселенной ГУАП для решения учебных, научно-исследовательских, промышленных и коммуникационных задач, связанных с миссией университета». СПб.: ГУАП, 2023.

УДК 658.5

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-30-34

А. А. Бурыкин

доцент, кандидат военных наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова

***Российская академия транспорта

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

На основании опыта разработки и принятия управленческих решений рассматриваются проблемы влияния экономики знаний на стратегическое управление организацией и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: стратегическое управление, теория принятия решений, экономика знаний.

A. A. Burykin

Associate Professor, PhD Sc. Military, Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

***All-Russian Public Organization «Russian Academy of Transport»

MODERN PROBLEMS OF ORGANIZATION MANAGEMENT

Based on the experience of developing and making managerial decisions, the article examines the problems of the influence of the knowledge economy on the strategic management of an organization and management decision-making.

Keywords: strategic management, decision theory, knowledge economy.

Введение

Проблема специфики управленческой деятельности сегодня изучается специалистами различных дисциплин в контексте современного развития информационных технологий. Применение информационных технологий в своей деятельности для большинства компаний сегодня – объективная необходимость. Новые передовые технологии требуют по-настоящему новаторских методов и эффективной организации труда. Возросшая роль интеллектуализации систем поддержки принятия управленческих решений предполагают наличие базы знаний.

База знаний – это хорошо структурированные данные, главная цель ее создания – помочь менее опытным сотрудникам организации найти существующее описание способа решения некоторой проблемы в конкретной предметной области. Информационные технологии поддерживают правила, сопровождающие процесс управления знаниями, помогают снять барьеры на пути решения задач формирования единой рабочей среды, реализации механизма отчуждения, накопления, использования и модификации знаний, поддержки инноваций и

доведения сведений о них всем заинтересованным в них сотрудникам.

Обсуждения

Управление знаниями как новая концепция менеджмента появилась и сформировалась в последние два десятилетия, когда нематериальные активы организации – интеллектуальный капитал стали обеспечивать ей стратегические конкурентные преимущества.

Знания – как результат процесса познавательной деятельности, полученные в ходе практической деятельности и профессионального опыта позволили эффективно решать поставленные задачи в конкретных ситуациях. Известно, что каждой форме общественного сознания соответствуют специфические формы знания. Поэтому знания, которые помогают организации приносить прибыль, становятся ее интеллектуальным капиталом.

Вот почему одна из самых серьезных опасностей сегодня в области управления – это принятие некачественных решений и их реализация непрофессиональными действиями. Профессионализм – становится одним из ключевых ка-

чество, которое отличает успешного специалиста. Профессионализм – это не просто набор знаний и навыков, а комплексное понятие, включающее в себя компетентность, техническую грамотность, ответственность, моральные принципы, этику [1].

Действительно от того, насколько большими объемами знаний владеет ЛПР, насколько велика его познавательная способность, а мораль и мотивация соответствует целевым показателям, зависит, какую методику он будет использовать, на какие ресурсы будет при этом опираться. В частности, если затрагивать различные системы поддержки принятия решений, то их эффективное применение возможно лишь в том случае, когда ЛПР владеет соответствующими технологиями [2].

Научно-технический прогресс и мировая конкуренция выдвигают новые требования к совершенствованию системы обучения персонала организации ввиду того, что ускорение научно-технического прогресса значительно убыстряет процесс устаревания профессиональных знаний и навыков. Какой бы замечательный Вуз не окончил бы сотрудник, если не обновлять знания, в лучшем случае их хватит лет на пять не более. Доказано, что в самых прогрессивных отраслях (особенно в IT-сфере) через 1,5–2 года половина знаний перестают давать конкурентное преимущество. Чтобы создать его, нужно генерировать новые знания. То есть человек обрекается на пожизненное образование. Как только он отказывается от мысли непрерывного образования, то становится неконкурентоспособным.

Результаты

Оценка результативности управленческого решения может быть максимально объективна лишь после того, как решение было реализовано и получены конкретные целевые показатели. Здесь необходимо учитывать тот факт, что решение одних проблем порождает другие. Иногда кажущееся решение есть лишь оттягивание проблемы на более поздние времена. Нелинейность развития организаций в условиях конкуренции за короткие сроки может нивелировать само управленческое решение и результаты от его внедрения [3]. В результате чего возникает проблема стратегического управления, которая заключается в том, чтобы управлять изменениями (что требует гибкости), необходимо непрерывно адаптироваться в целях достижения соответствия между организацией и условиями внешней среды, учитывая то, что соот-

ветствие существует в определенной временной точке, в то время как гибкость является характеристикой временного интервала деятельности. Поэтому западными специалистами считается, что организации должны уделять меньше внимания стратегиям «наилучшего соответствия» и «наилучшей практики», а больше внимания процессам организационных изменений с тем, чтобы «избежать попадания в ловушку рационального выбора» [4].

По мнению А. Б. Миллера, управленческие решения организации становятся стратегическими, если в перспективе способствуют получению устойчивого конкурентного преимущества на рынке [5]. Вот почему основной целью стратегического управления человеческими ресурсами является создание стратегических возможностей за счет обеспечения организации квалифицированными, лояльными и хорошо мотивированными работниками, которые нужны для достижения долгосрочного конкурентного преимущества.

Надо четко понимать, что стратегия – это заранее продуманный образ действий, а также возникающих по ходу реализации ее новых инициатив, озарений и решений. То есть стратегия должна постоянно развиваться, где ее ключевым аспектом является наличие человеческих ресурсов, способных поддерживать принятую стратегию развития организации. Поэтому костяк формирования организации, должны составлять служащие и работники, имеющие достаточный профессиональный опыт. Такая дифференциация достигается за счет использования стратегий, гарантирующих формирование трудового потенциала высшей пробы по сравнению с другими организациями, за счет развития и наращивания интеллектуального капитала и внедрения принципов: «обучения профессиональному делу настоящим образом».

Бизнес-аналитика по результатам работы любого подразделения необходима для создания целостной картины эффективности работы организации и выработки управленческих решений. На сегодняшний день бизнес-аналитика доказала, что она способствует развитию компании и помогает проверить эффективность кадровой политики и бизнес-процессов. Для того чтобы бизнес-аналитика преуспела, команда, стоящая за ней, должна обладать знаниями как в области человеческих ресурсов, так и в области анализа статистических данных.

За последние несколько лет многократно выросли объемы данных, подходящих для обработки и их хранения. Big Data (большие данные) – стали революцией, потребовавшей пере-

осмыслить как методику хранения данных, так и само понятие «данные», а также информационные технологии их обработки. Заметим, что данные сами по себе не являются Big Data, а вот технологии Big Data находят широчайшее применение. Мировой рынок Big Data решений растет большими темпами, формируют множество инструментов, которые значительно облегчают работу бизнес-аналитиков, поэтому требуют их постоянного изучения. А в целом, кто же поспорит, что выстраивать систему обучения нужно так, чтобы обучать не всех и всему или кого-то чему-то, а с помощью аналитики выявлять стратегически значимые компетенции сотрудников и обучать команды тем компетенциям, которые приносят компании соответствующую выгоду.

Конкурентное преимущество организации формируется путем высокой степени групповой творческой активности, направленной на долгосрочную перспективу сотрудничества и тесного взаимозависимого поведения с широким диапазоном развития карьеры и навыков с учетом высокой степени терпимости к риску и неопределенности.

Для успешного решения всех проблем в организации должна быть принята, действовать и периодически корректироваться стратегия управления талантами. Современная экономика все больше нуждается в специалистах, обладающих глубокими знаниями и способных к новаторству, поэтому работа по выявлению и развитию молодых талантов, основанная на лучшем историческом опыте (пример внедрения программы TWI – Training Within Industry в компании Toyota) и наиболее успешных современных образцах, необходимый элемент модернизации экономики России. Сегодня отече-

ственные IT-компании начали включать инструменты управления талантами в корпоративные информационные системы (например, компания МОНОЛИТ-ИНФО – функциональный модуль «Монолит: Персонал» входит в программный комплекс «МОНОЛИТ SQL»); компания IBS – система управления персоналом на базе SAP HCM).

С 2013 года большинство мировых компаний все чаще и активнее стали проявлять интерес к системам управления талантами (англ. Talent management system, TMS), а принципы системы управления талантами и ее функциональные модули (рис. 1) становятся ключевыми в работе корпоративного менеджмента [7].

Консалтинговое агентство PwC провело исследование среди руководителей российских и международных компаний и предоставило для рассмотрения следующую тенденцию развития управления талантами (рис. 2–4).

Анализ результатов опроса позволил сделать следующие выводы:

- Цели управления талантами в компаниях – удержание ключевых сотрудников (см. рис. 2).
- Ключевые потребности бизнеса – высококвалифицированный персонал (см. рис. 3).
- Нехватка персонала – ключевой риск бизнеса на протяжении последних трех лет (см. рис. 4).
- Российские CEO видят решение вопроса талантов не таким, как остальной мир.

Согласно исследованию, Bersin & Associates, компании, внедрившие эффективную стратегию талант-менеджмента, получают на 26 % больше прибыли. Это справедливо для большинства современных отраслей экономики, связанных с инновационной деятельностью в основу которых положена экономика знаний.



Рис. 1. Функциональные модули системы управления талантами

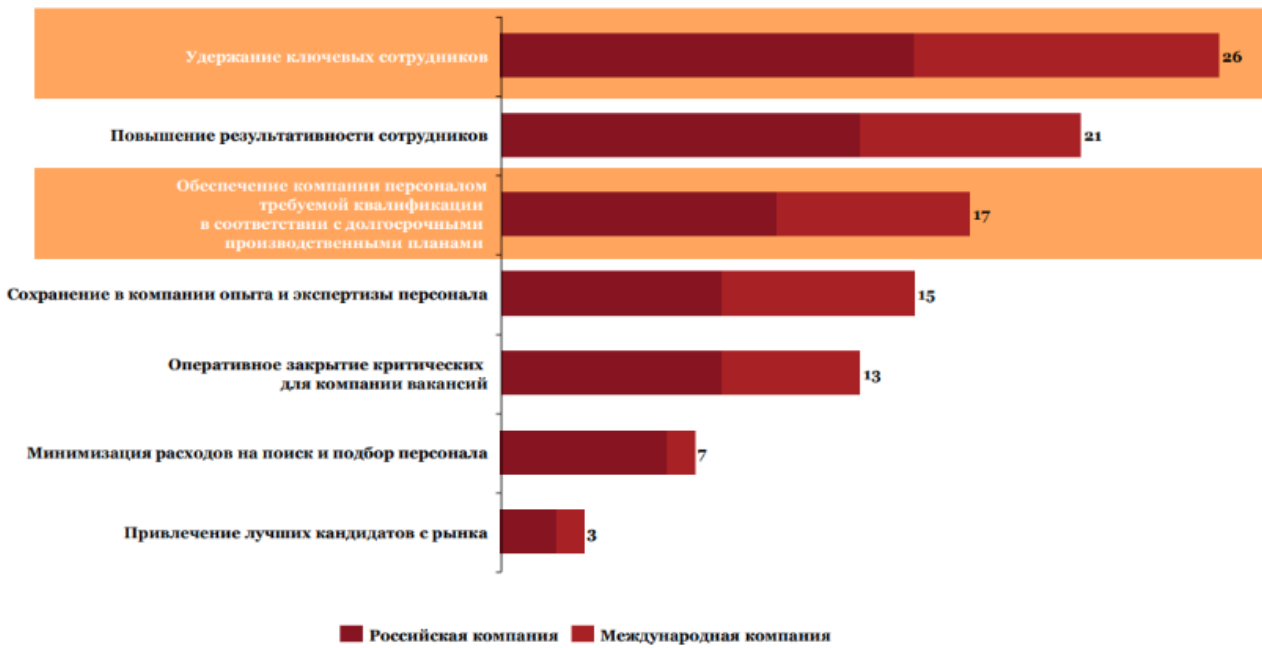


Рис. 2. Результаты опроса на тему: «Цели управления талантами в различных компаниях»



Рис. 3. Результаты опроса на тему: «Ключевые потребности бизнеса»



Рис. 4. Результаты опроса на тему: «Основные бизнес-риски бизнеса»

Поэтому трудно не согласиться с мнением Л. Грэттон в том, что проблема стратегического управления организацией и принятием решений заключается в том, что существует недостаточное понимание среди специалистов-практиков того, что необходимо активно достигать стратегической интеграции [9].

Заключение

Подводя итоги изложенному, можно констатировать следующее, что высшим этапом развития инновационной экономики является экономика знаний. Поэтому в современном мире развитие персонала организации рассматривается как особый вид инвестиций в собственный персонал.

Для менеджера-практика особенно важно знать ключевые элементы различных стратегий, чтобы осознанно подходить к их применению, имея широкий спектр возможных решений. Универсальных решений на все случаи жизни нет ни в одном из методологических подходов. Однако надо понять одно важное заключение, что в рамках современных подходов управления обосновывается создание условий для добровольной интенсификации труда и потенциала сотрудников в интересах организации.

Миссия государства в сфере поиска и поддержки одаренной молодежи состоит в том, чтобы создать эффективную систему образования, обеспечив условия для обучения, воспитания, развития ее всех способностей, их дальнейшей самореализации независимо от места жительства, социального положения и финансовых возможностей семьи.

Список источников

1. Бурькин А. А., Колисниченко С. В. Современные тенденции и технологии управления человеческими ресурсами: монография. СПб.: ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2023. 180 с.
2. Бурькин А. А., Шилкин В. П., Шилкина И. Д. Проблемы принятия управленческих решений в транспортной компании. Транспортное дело России. 2022. № 2. С. 84–87.
3. Problems of Making Managerial Decisions in a Transport Company / A. Burykin, V. Shilkin, I. Shilkina, M. Arutiunian // Transportation Research Procedia. 2023. Vol. 68. P. 21–27.
4. Армстронг М. Стратегическое управление человеческими ресурсами / Пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2002. 328 с.
5. Миллер А. Б., Пертов А. Н. Методология и инструментарий управления. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/strategicheskij-menedzhment-kak-strategicheskij-protsess> (дата обращения: 08.08.2018).
6. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами. 10-е изд. СПб.: Питер, 2012. 848 с.
7. Концепция общенациональной системы выявления и развития молодых талантов, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 3 апреля 2012 г. № Пр-827. (документ предоставлен «КонсультантПлюс»).
8. Левичев Ю., Ворогушин Е. Управление талантами в России и мире: цифры и тренды. PwC, 2016. URL: https://hrmedia.ru/sites/default/files/talent_management_shtat_final_full_0.pdf (дата обращения: 9.11.2023).
9. Грэттон Л. Живая стратегия. Как поместить людей в центр решения корпоративных задач. Днепрпетровск: Баланс клуб, 2003. 288с.

УДК 004.75

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-35-39

Н. Н. Григорьева*

старший преподаватель

А. В. Душеба*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГОСЗАКУПОК НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Рассмотрены подходы к построению электронной торговой площадки для проведения государственных закупок с использованием технологии блокчейн. Приводится исследование применения технологии блокчейн в системе госзакупок и описываются требования, архитектура, преимущества и недостатки предлагаемой системы.

Ключевые слова: блокчейн в госзакупках, архитектура электронной торговой площадки, повышение прозрачности госзакупок, смарт-контракты.

N. N. Grigoryeva*

Senior Lecturer

A. V. Dushaba*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A PUBLIC PROCUREMENT SYSTEM BASED ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY

The paper considers approaches to building an electronic platform for public procurement using blockchain technology. The research of blockchain technology application in the public procurement system is given as well as requirements, architecture, advantages and disadvantages of the specified system described.

Keywords: blockchain in public procurement, electronic public procurement system architecture, increasing transparency in public procurement, smart contracts.

Введение

По оценкам экспертов, одной из наиболее распространенных махинаций в области государственных закупок является несанкционированное изменение важной информации, влияющей на определение победителя торгов, такой как время подачи конкретной заявки или информация о предложенной цене [1].

В данной статье рассматривается вопрос использования гибридной системы распределенных реестров и смарт-контрактов в целях повышения прозрачности и обеспечения неизменяемости данных на всех этапах проведения процедуры госзакупок.

Архитектура разрабатываемой системы

Для обеспечения поставленных задач система будет строиться из трех компонентов:

– основного сервиса, реализованного в виде REST API и классической базы данных (БД),

в которой будут дублироваться данные, записанные на блокчейне, также сервис будет выполнять обработку запросов с пользовательского интерфейса по API;

– сервиса для шифрования размещаемой в блокчейне информации и хранилище ключей. Для обеспечения безопасности данный сервис предлагается разворачивать на отдельном сервере, не имеющем доступа к сети Интернет и связанного с основным сервером физически;

– блокчейн и развернутый на нем смарт-контракт.

Использование классической базы данных в связке с блокчейном позволит обеспечить большую степень гибкости во взаимодействии с данными, однако создаст проблему, аналогичную уже существующей – хранящаяся в БД информация может быть изменена. Для проверки достоверности информации, хранящейся в такой базе данных, необходимо в момент получения новых данных (или с определенными временными промежутками) запрашивать инфор-

мацию с блокчейна и пометать записи, которые отличаются от хранимых на блокчейне.

Так как передаваемая в сети блокчейн информация является открытой, использование сервиса для шифрования сообщения позволит, согласно требованиям законодательства, сохранить в тайне информацию об участниках торгов до их окончания [2].

Хранить прикрепляемые к тендерам файлы можно в децентрализованной файловой системе, например, используя протокол IPFS (Interplanetary File System) [5]. Сохраняемые с помощью такого протокола файлы имеют уникальный идентификатор, который получается из содержимого самого файла или данных с помощью хеширования и может быть использован для проверки содержимого файла на достоверность. Сохраняемые в IPFS данные являются общедоступными и неизменяемыми, что в сочетании с блокчейном, на котором сохраняется идентификатор файла в сети IPFS, позволит обеспечить неизменяемость и достоверность прикрепляемых документов.

Смарт-контракт, представляющий собой программный код, размещенный на блокчейне, описывает и обеспечивает соблюдение основного порядка проведения закупок: размещение тендеров, подачу заявок на исполнение. В публичных блокчейнах, таких как Ethereum, код

смарт-контракта является неизменяемым и общедоступным, любой участник сети может проверить программный код данного контракта [6]. Пользователь взаимодействует со смарт-контрактом путем подписи транзакций с помощью своей цифровой подписи на пользовательском интерфейсе.

Схема архитектуры проектируемой системы продемонстрирована на рис. 1.

Взаимодействие с системой в рамках участия в закупке происходит по следующему алгоритму:

- передать введенную пользователем информацию на основной сервис и осуществить валидацию данных;
- передать на подписывающий сервис данные, сформировать пару ключей и зашифровать с их помощью переданную информацию;
- вернуть зашифрованные данные на пользовательский интерфейс, сформировать транзакцию и запросить ее подпись.

После подписи транзакции и добавления ее в блокчейн смарт-контракт вызовет соответствующее событие.

Данные, содержащиеся в событии, вызванном смарт-контрактом, записываются в дублирующую БД основным сервисом.

Сообщение об успешном добавлении записи отобразится на пользовательском интерфейсе.

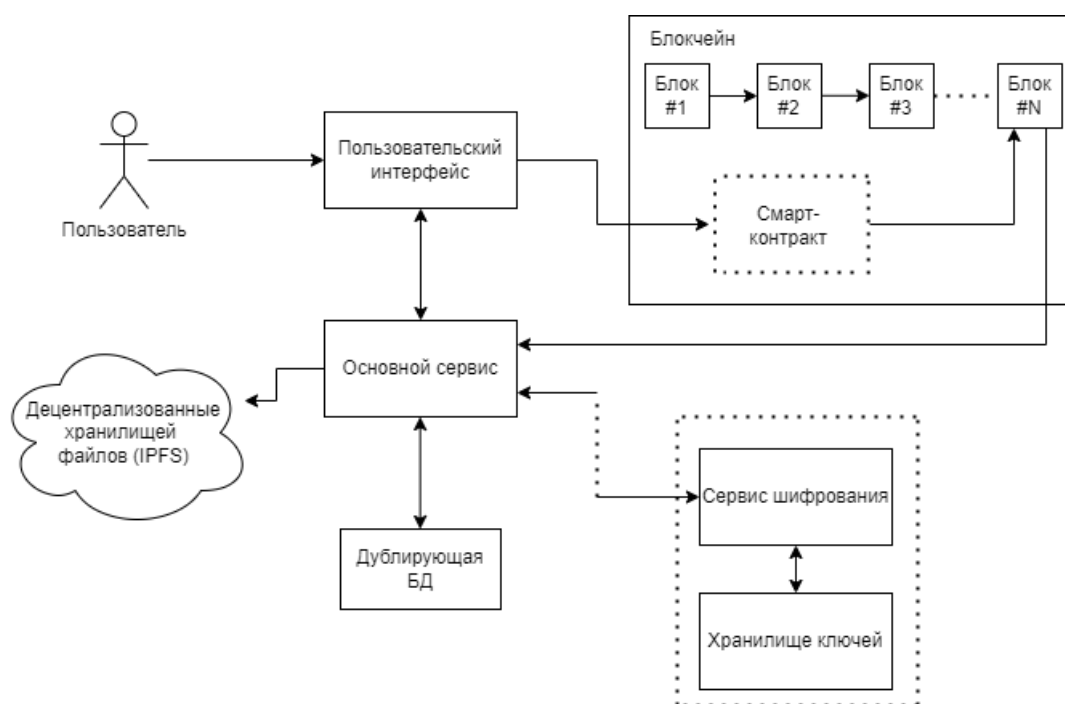


Рис. 1. Архитектура системы

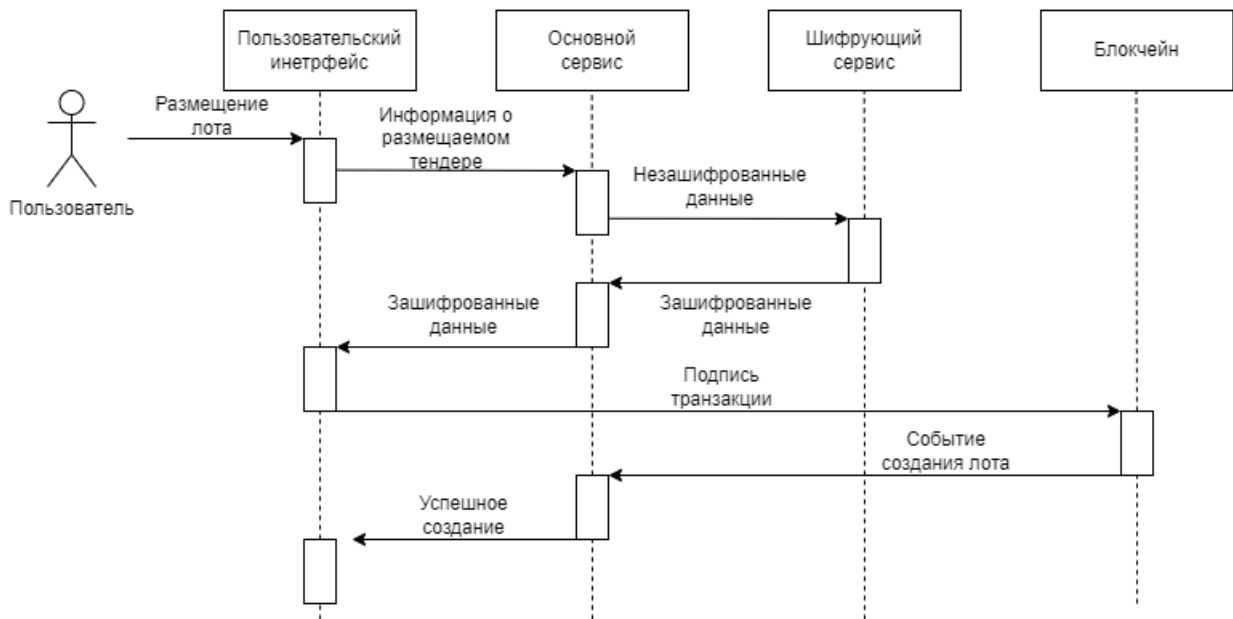


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия для создания тендера

Диаграмма взаимодействия для создания тендера по данному алгоритму показана на рис. 2

Для пользователя платформы проверка данных на соответствие действительности должна происходить автоматически, что позволит сделать этот механизм более простым и интуитивно понятным. Пример результата проверки с помощью описываемой системы показан на рис. 3. Здесь данные о закупке, сохраненные

on-chain (на блокчейне) и в дублирующей базе данных совпадают.

После несанкционированного изменения данных в дублирующей БД на странице лота пользователь увидит сообщение о расхождении информации с кратким описанием (как это показано на рис. 4), а информация о событии будет направлена администрации платформы или в компетентные органы.

Рис. 3. Несоответствий информации не обнаружено

Несоответствие информации
· Дата окончания

Подробнее...

Процедура: 10000000003

Наименование процедуры
Поставка компьютерной техники для нужд Мариинского театра

Организатор	ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ КУЛЬТУРЫ "ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ МАРИИНСКИЙ ТЕАТР" В РЕСПУБЛИКЕ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ
Телефон	8(928)8672017
E-mail	avsanov@mariinsky.ru
Способ проведения	Электронный аукцион
Электронная площадка	Госзакупки 3.0

Лоты

Лот 1 Прием заявок до 30 декабря 2020 г. в 09:42	178500 P
Поставка компьютерной техники для нужд Мариинского театра	

Рис. 4. Обнаружено несоответствие информации

Оценка внедрения блокчейна в существующие системы проведения госзакупок

Внедрение технологии блокчейн в существующие платформы для проведения госзакупок имеет ряд потенциальных проблем, которые можно разделить на юридические и технические.

Юридические проблемы связаны в основном с отсутствием законодательной базы для реализации системы госзакупок с помощью блокчейн-сетей, которые предусматривают оплату комиссий за транзакции с помощью криптовалюты. Решением проблемы может быть использование блокчейн-сети с неэкономическим алгоритмом консенсуса (алгоритма, согласно которому участники сети договариваются о включении новой транзакции в блок), например, Proof-of-Authority. В таком блокчейне узлы, занимающиеся валидацией транзакций, проходят проверку его владельца и получают рейтинг доверия, который может варьироваться от 0 до 100 %. Данный алгоритм является более эффективным, чем используемые в популярных блокчейнах Ethereum и Bitcoin алгоритмы Proof-of-Stake и Proof-of-Work [3]. Использование неэкономического алгоритма консенсуса также способно избавить от дополнительных сложностей, с которыми могут столкнуться пользователи при работе с платформой, где необходимо производить оплату транзакций.

Технические проблемы интеграции такой технологии в уже существующие системы гос-

закупок заключаются в необходимости внесения значительных изменений в инфраструктуру существующих сервисов, что может быть сложным и затратным процессом.

Говоря о преимуществах, помимо описанных ранее положительных аспектов внедрения технологии блокчейн в систему государственных закупок в РФ, которые связаны с возможностью проверки размещаемой информации и ее неизменяемостью, эксперты выделяют другие преимущества проведения госзакупок, которые следуют из принципов работы использующей блокчейн системы: возможности урегулирования в случае невыполненного контракта (например, дефолта компании, выполняющей контракт, либо одного из ее подрядчиков), так как упрощается процедура аудита и регулирования проводимых закупок; невозможность мошенничества с банковскими гарантиями; возможность автоматизации некоторых процессов проведения госзакупок, например, определение победителя аукциона [7].

Следует отметить, что на российском рынке уже существуют решения, интегрирующие блокчейн в различные сферы государственной деятельности. Так, например, дистанционное электронное голосование, которое проводится в ряде регионов с 2019 года, использует технологию блокчейн для фиксации голосов избирателей. Несмотря на успешный опыт проводимых таким образом голосований, выделяется необходимость обеспечения возможности проверки записанной информации для незнакомых с принципами работы блокчейна пользователей [4].

Список источников

1. Использование технологии блокчейн в госзакупках. URL: <https://borlas.ru/about/press/press/1996> (дата обращения: 12.10.2023).

2. Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ (ред. От 01.05.2019) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» // Собрание законодательства РФ. 08.04.2013. № 14. ст. 1652.

3. Разъяснение Proof of Authority. URL: <https://academy.binance.com/ru/articles/proof-of-authority-explained> (дата обращения: 05.10.2023).

4. Баранов Н. А. От недоверия – к легитимации: трудный путь цифровых электоральных технологий на примере России // Вестник Российского универси-

тета дружбы народов. Серия: Политология. 2022. Т. 24. № 3. С. 433–446.

5. Muradov C. Case studies of IPFS-based file-sharing systems // Вестник науки и творчества. 2023. С. 58–60.

6. Команов П. А., Ревазов Х. Ю., Тавасиев Д. А. Исследование безопасности смарт-контрактов Ethereum // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). URL: <https://research-journal.org/archive/1-103-2021-january/issledovanie-bezopasnosti-smart-kontraktov-ethereum> (дата обращения: 06.11.2023).

7. Уржумов А. В. Эффективность применения блокчейна для осуществления государственных тендеров // Госзаказ: управление, размещение, обеспечение. 2019. № 57.

УДК 004.896

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-40-43

К. Б. Гурнов*

кандидат технических наук, доцент

Б. В. Давидович*

аспирант, ассистент

К. Д. Соколова*

аспирант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА РАБОТУ ОПТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С МАЛОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКОЙ

Проведен эксперимент по обнаружению объекта-ориентира на видеозаписи с помощью нейронной сети YoloV8. Осуществлен анализ влияния неустойчивости летательного аппарата на работу оптического обнаружителя в дневное и ночное время.

Ключевые слова: нейронные сети, оптический обнаружитель, распознавание объектов, навигация, беспилотные летательные аппараты.

K. B. Gurnov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

B. V. Davidovich*

PhD Student, Assistant

K. D. Sokolova*

PhD Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

THE INFLUENCE OF AIRCRAFT INSTABILITY ON THE OPERATION OF AN OPTICAL DETECTOR BASED ON A SMALL TRAINING SAMPLE NEURAL NETWORK

An experiment of landmark object detection in a video using the YoloV8 neural network was conducted. The influence of aircraft instability on the operation of the optical detector during the day and night was analyzed.

Keywords: neural networks, optical detector, object recognition, navigation, unmanned aerial vehicles.

В современном мире беспилотные летательные аппараты применяются в различных сферах человеческой деятельности для решения широкого спектра задач. Зачастую полеты проходят в условиях, где ориентирование на местности затруднено из-за перебоев в работе навигационных систем и средств связи (например, при строительстве промышленных объектов, орошении сельскохозяйственных полей). В таких случаях для удержания курса в качестве ориентиров используются объекты на местности. При мониторинге загруженности трассы, можно выбрать в качестве ориентира для навигации саму дорогу или автомобильные развязки (рис. 1).

Для выявления объектов-ориентиров можно использовать различные методы. Одним из

наиболее эффективных является технология машинного зрения [1], работающая на основе нейронной сети. На качество изображения, получаемого для последующей обработки нейронной сетью, значительное влияние оказывают погодные условия. В ночное время качество изображения ухудшается, что затрудняет распознавание объекта.

Для обучения нейронной сети требуется большой объем обучающей выборки (рис. 2), в таком случае точность обнаружения будет высокой. Однако в данном случае обучение приходится производить на малых выборках в связи с недостаточным количеством информации об объекте – например, если имеются только космо-фотоснимки или 3D-модели объекта, но нет



Рис. 1. Автодорога как ориентир для летательного аппарата

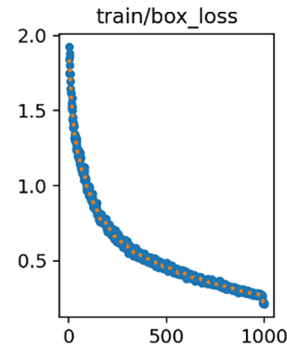


Рис. 2. Результаты обучения нейронной сети (по горизонтали – эпохи обучения, по вертикали – значение ошибки)

фотографий. Если камера, закрепленная на летательном аппарате, не оснащена системой стабилизации, то идентификация объекта усложняется по причине частого изменения угла наклона камеры.

В ходе данного исследования был проведен сравнительный анализ вероятности идентификации объекта-ориентира в кадре при различных условиях. В первом случае полет проходил в дневное время, произведено две видеозаписи – со стабилизацией камеры и без стабилизации. Во втором случае аналогичные видеозаписи произведены ночью. Оба полета производились в направлении объекта, с разного удаления. По результатам полетов составлены графики вероятности нахождения объекта в кадре (рис. 3–6). Ниже приведены результаты обучения нейронной сети, на базе библиотеки YoloV8

[2]. Для обучения использовалось 163 изображения, минимально рекомендуемый объем выборки для решения подобных задач, составляет 1000 изображений [3].

Из графика следует, что нейронная сеть способна идентифицировать объекты с вероятностью 0,19.

Результаты проведенных экспериментов демонстрируют, что стабилизация летательного аппарата в дневное время суток на больших расстояниях от объекта значительно улучшает эффективность идентификатора объекта на базе нейронной сети с ограниченным объемом обучающей выборки. В данном контексте стабилизация способствует увеличению вероятности идентификации объекта на первых кадрах, что является ключевым фактором для успешной работы системы.

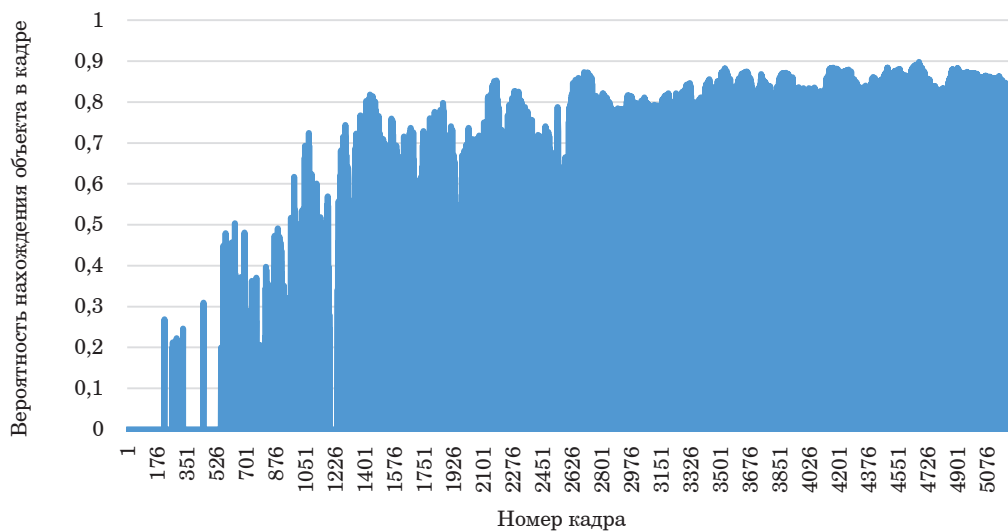


Рис. 3. Ночь (без стабилизации)

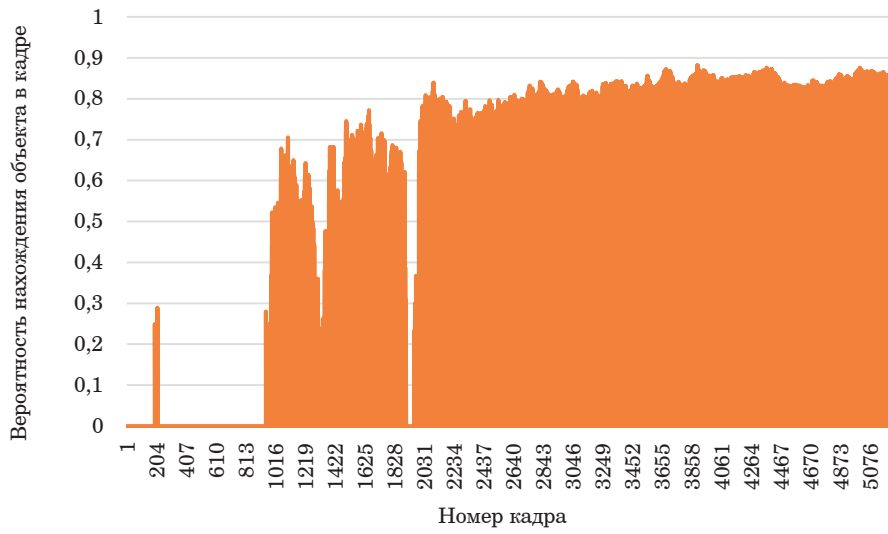


Рис. 4. Ночь (со стабилизацией)

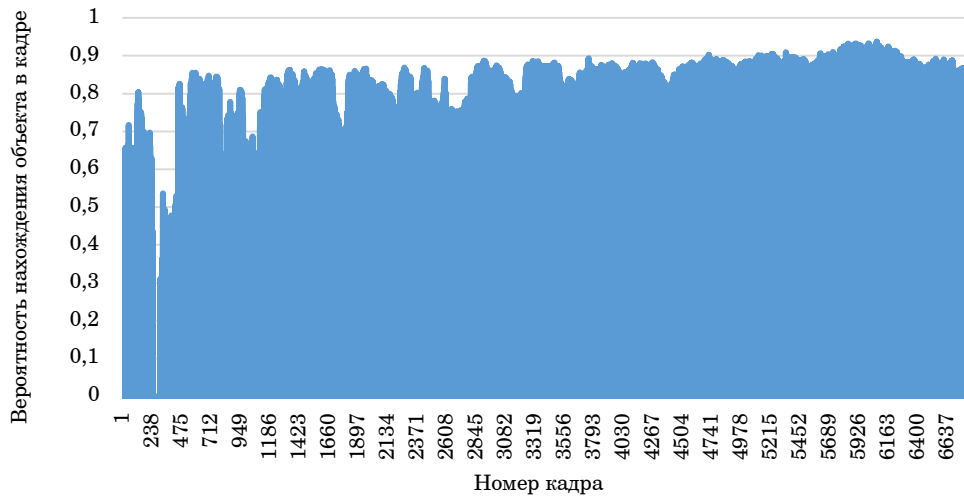


Рис. 5. День (без стабилизации)

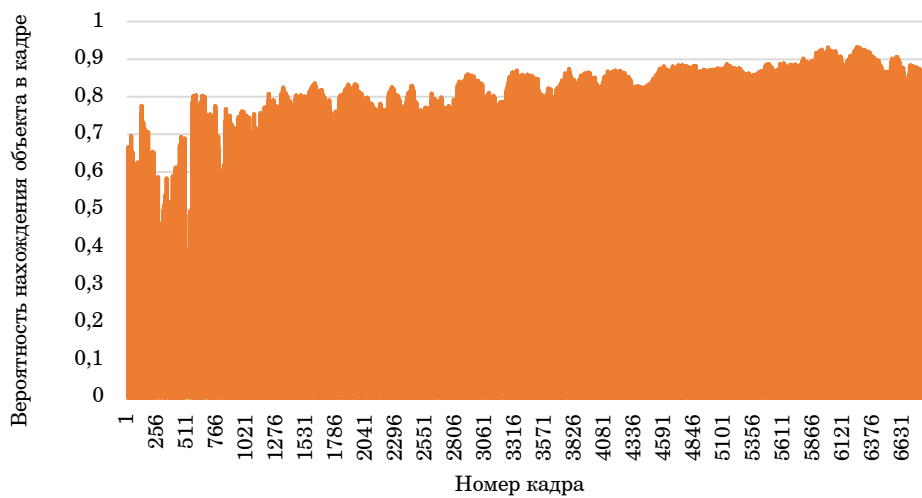


Рис. 6. День (со стабилизацией)

Однако в темное время суток, применение цифровой стабилизации на больших расстояниях приводит к неожиданному искусственному удалению объекта от летательного аппарата. Это существенное ухудшение работы идентификатора связано с цифровым характером стабилизации, что влияет на точность определения расстояния до объекта и, следовательно, на его вероятность идентификации.

Таким образом, несмотря на положительные результаты в дневные часы, необходимо учитывать контекст применения стабилизации и его воздействие в различных условиях освещенности. Подходы к стабилизации летательных аппаратов следует тщательно адаптировать к конкретным сценариям работы идентификатора, чтобы обеспечить их эффективность в различных условиях эксплуатации.

Список источников

1. *Нокеева Р. М.* Исследование оптимальных методов и алгоритмов обнаружения движущихся объектов в видеопотоке // Научные исследования. 2018. № 6 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-optimalnyh-metodov-i-algoritmov-obnaruzheniya-dvizhuschihsya-obektov-v-videopotoke> (дата обращения: 29.11.2023).
2. Ultralytics YOLOv8 Docs URL: <https://docs.ultralytics.com/> (дата обращения: 20.11.2023).
3. *Каракулов И. В., Клюев А. В.* Влияние размеров объекта обучающей выборки на качество сегментации методами искусственного интеллекта // Прикладная математика и вопросы управления. 2018. № 3. С. 89–99.

УДК 621.396.966

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-44-48

И. Н. Иванов*

аспирант

И. А. Юдин*

аспирант

А. П. Шепета*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ ТИП «К ИЗ N»

При обнаружении физических объектов на фоне отражений от подстилающей поверхности необходимо обеспечить заданный уровень ложных срабатываний, что обеспечивается выбором соответствующих порогов. Пороги в свою очередь зависят не только от мощности помехового сигнала, наблюдаемого на входе обнаружителей, но и от функционального вида его плотности распределения вероятностей. В работе анализируется случай стабилизации ложных срабатываний, при котором выбором соответствующего порога обнаружителей типа « k из n » достигается стабилизация вероятности ложных срабатываний для отражений от земной поверхности и поверхности моря.

Ключевые слова: обнаружение, ложное срабатывание, подстилающая поверхность, входной сигнал, мощность сигнала.

I. N. Ivanov*

PhD Student

I. A. Yudin*

PhD Student

A. P. Shepeta*

Dr. Sc. Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

STABILIZATION OF FALSE POSITIVES OF DETECTORS TYPE «K OF N»

When detecting physical objects against the background of reflections from the underlying surface, it is necessary to ensure a specified level of false alarms, which is ensured by the selection of appropriate thresholds. The thresholds, in turn, depend not only on the strength of the interference signal observed at the detector input, but also on the functional form of its probability distribution density. The paper analyzes the case of false alarm stabilization, in which the selection of the appropriate threshold of detectors of the « k of n » type stabilizes the probability of false alarms for reflections from the land surface and the sea surface.

Keywords: detection, false alarm, underlying surface, input signal, signal strength.

При обнаружении в заданной зоне локационных сигналов, отраженных от физических объектов или информационных сигналов датчиков, осуществляющих мониторинг окружающей среды, необходимо обеспечивать заданный уровень ложных срабатываний обнаружителей, то есть заданную вероятность ложных тревог [2]. Обнаружение сигналов происходит на фоне помех как собственных, присущих каждой аппаратуре, так и внешних, которые обусловлены отражениями локационных сигналов от подстилающих поверхностей, в качестве которых чаще всего выступают отражения от мор-

ской поверхности и поверхности суши [2]. При этом для обеспечения заданного уровня мощности помеховых сигналов, а также для расширения динамического диапазона приемных устройств бортового оборудования, используются схемы автоматической регулировки усиления (АРУ) и их модификации быстрая АРУ (БАРУ), мгновенная АРУ (МАРУ).

В данной работе ограничимся рассмотрением ситуации обнаружения в заданной зоне локационных сигналов, отраженных от физических объектов, при этом под помехой будем понимать собственные шумы бортовой аппарату-

ры и отражения от подстилающей поверхности, на которой и находятся искомые физические объекты. Под подстилающими поверхностями понимаем отражения от суши и от морской поверхности. При этом нас будет интересовать не вероятность обнаружения физических объектов, а вероятность ложных обнаружений, то есть задачей является стабилизация вероятности ложных тревог, обусловленных помеховыми сигналами естественного происхождения.

Для конкретизации задачи будем рассматривать ситуацию обнаружения на развертке сигнала по дальности с помощью гребенки обнаружителей, осуществляющих параллельное обнаружение по дальности [1]. В качестве обнаружителей рассматриваем цифровые обнаружители сигналов типа « k из n », которые являются одними из самых простых, легко реализуемых и самых распространенных. Эти обнаружители не являются оптимальными, но являются очень надежными и малочувствительными к закону распределения мешающих сигналов, конечно, при соответствующем выборе их параметров, согласованных с аппаратурой, в которой они используются. При этом они проигрывают оптимальным обнаружителям не более 1,5–2,0 Дб,

что по общепринятым меркам не является существенным, поскольку такой проигрыш укладывается в погрешности статистических характеристик, принимаемых для определения оптимальных алгоритмов обработки сигналов.

Итак, пусть осуществляется поиск в некоторой зоне (рис. 1). При сканировании электромагнитного луча на каждом направлении принимается сигнал, отраженный от подстилающей поверхности, в котором может находиться и информационный сигнал, подлежащий обнаружению [3]. Для поставленной задачи нас интересует только помеховый сигнал, который может привести к ложным обнаружениям. Считаем, что системы АРУ и БАРУ обладают достаточным быстродействием, чтобы поддерживать мощность помехового сигнала на одном и том же уровне при каждом зондировании.

Мы можем поддерживать только мощность сигнала. Однако в зависимости от подстилающей поверхности в зоне поиска, плотность распределения вероятностей мощности имеет разный функциональный вид, а именно, в соответствии с поставленной задачей, это либо отражения от земной поверхности, либо отражения от морской поверхности. Будем использовать об-

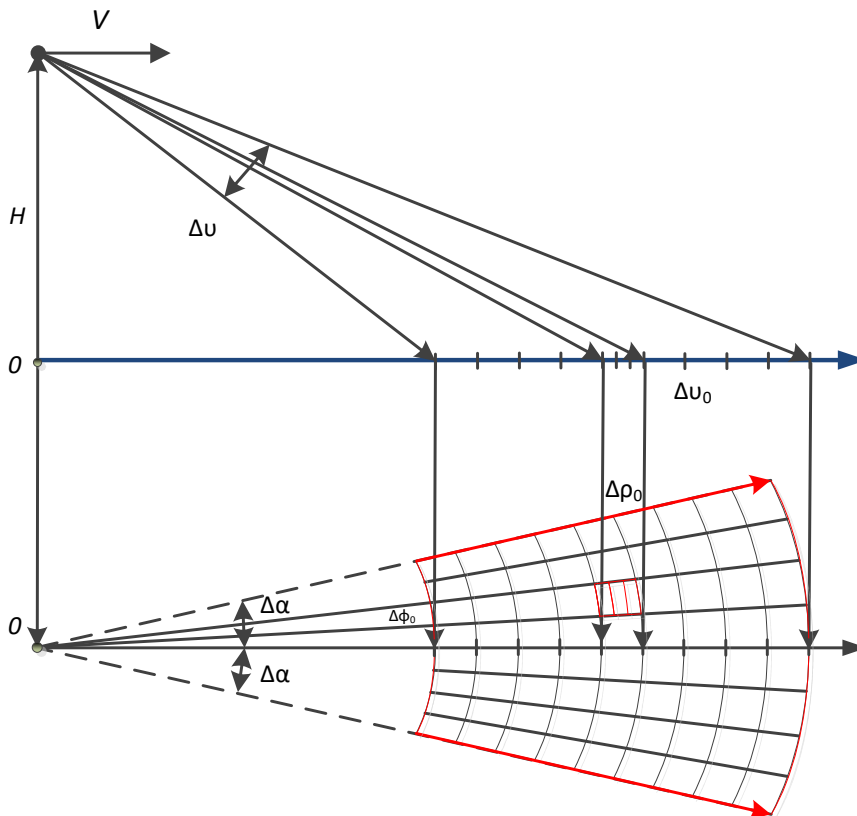


Рис. 1. Зона сканирования электромагнитного луча

щепринятые, наиболее распространенные модели этих отражений: для морской поверхности принимаем логарифмически-нормальный закон распределения амплитуд (огibaющей) наблюдаемого сигнала, а для земной поверхности закон распределения Вейбулла, который чаще всего сводится к своему частному случаю – закону распределения Рэля для амплитуд (огibaющей) или, что эквивалентно, к экспоненциальному закону распределения вероятностей для мощностей [5].

Развертка принимаемого сигнала по дальности делится на m дорожек дальности, каждая из которых имеет протяженность $c\tau_n/2$, где c – скорость света равная $3 \cdot 10^8$ м/с, а τ_n – длительность зондирующего импульса при простом сигнале, или длительность сложного импульса, например, фазоманипулированного или частотно модулированного, после сжатия (рис. 2) [4]. При параллельном обнаружении по дальности, в каждой дорожке дальности имеется свой обнаружитель, который по пачке из n импульсов принимает решение о наличии или отсутствии сигнала на этой дальности.

В качестве обнаружителей, как указано выше, мы используем обнаружители типа « k из n » (рис. 3). Это обнаружители бинарных сигналов, на вход которых подается аналоговый сигнал с приемного устройства после детектора огibaющей. Фактически на вход такого обнаружителя подается пачка из n импульсов, амплитуды

которых распределены в соответствии с законом распределения вероятностей локационных сигналов, отраженных от подстилающей поверхности на тех дорожках дальности, на которых отсутствует обнаруживаемый физический объект.

Обнаружитель содержит аналоговый компаратор с аналоговым порогом U_0 , на выходе которого и формируется последовательность бинарных сигналов – последовательность нулей «0» и единиц «1». Соответственно сигнал «0» на выходе компаратора появляется в том случае, если амплитуда входного импульса A_i меньше U_0 , то есть $A_i < U_0$, а сигнал «1» – если амплитуда A_i больше U_0 , $A_i > U_0$, $i=1,2,\dots,n$. С выхода компаратора последовательность сигналов «1» и «0» поступает на накопитель (сумматор), на выходе которого формируется сигнал обнаружения, если число «1» в принятой пачке из n импульсов превосходит некоторый цифровой порог k , в противном случае сигнал обнаружения не формируется.

Обнаружитель типа « k из n », имеет два порога – аналоговый порог компаратора U_0 и цифровой порог накопителя k . При отсутствии в принятой пачке отраженных от подстилающей поверхности сигналов вероятность превышения аналогового порога U_0 , равная $P_{\text{п}}$, меньше вероятности P_c – вероятности превышения порога U_0 импульсом, отраженным от физического объекта, $P_{\text{п}} < P_c$. В силу этого сумма сигналов «1» и «0» в накопителе при приеме сигнала, отражен-

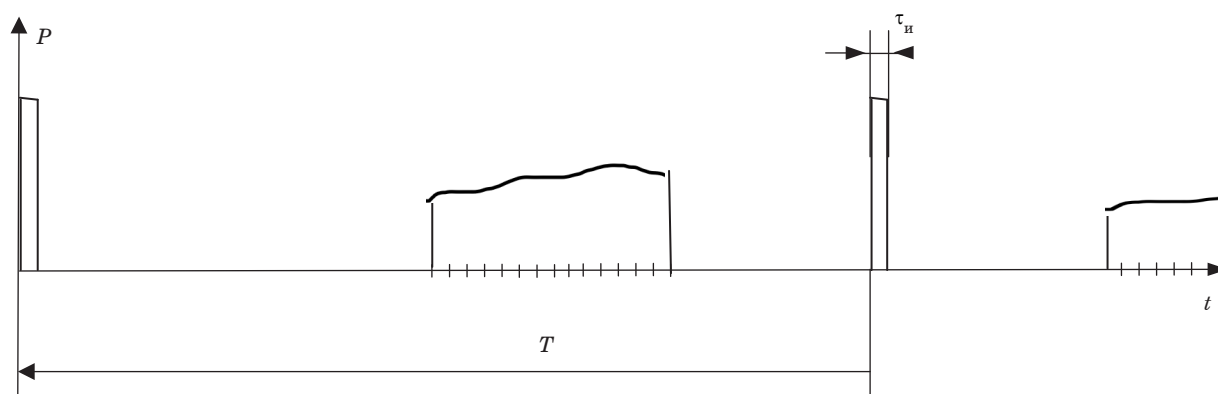


Рис. 2. Развертка принимаемого сигнала по дальности

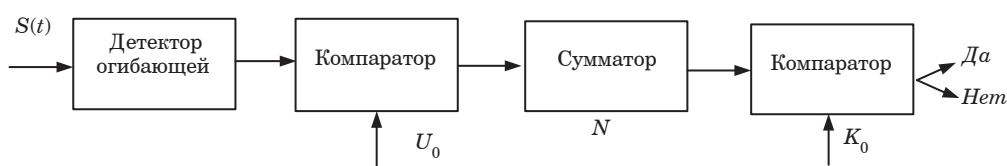


Рис. 3. Обнаружитель типа « k из n »

ного от физического объекта в среднем больше, чем сумма, накопленная в сумматоре при отсутствии информационного сигнала, поэтому вероятность обнаружения объекта $P_{\text{обн}}$ больше вероятности ложной тревоги $P_{\text{лтп}}$ (ложного обнаружения), $P_{\text{обн}} > P_{\text{лтп}}$. В данной работе нас интересует только вероятность ложной тревоги $P_{\text{лтп}}$.

Итак, на вход обнаружителя поступает аналоговый сигнал, который можно представить как выборку амплитуд локационного сигнала, отраженного от некоторой дорожки дальности в направлении излучения антенны $A_n = (A_1, A_2, \dots, A_n)$. После компаратора эта выборка преобразуется в выборку $s_n = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, где $s_i = 1$, если $A_i > U_0$, и $s_i = 0$, если $A_i < U_0$, $i = 1, 2, \dots, n$. Знак равенства можно исключить поскольку вероятность события $A_i = 0$ для аналогового сигнала в точности равна нулю. Выборка s_n поступает на вход сумматора, элементы выборки суммируются и в сумматоре образуется сумма $S = s_1 + s_2 + \dots + s_n$, которая сравнивается с цифровым порогом k_0 . Если $S > k_0$, то формируется сигнал обнаружения, если S меньше или равно k_0 , то обнаружения не происходит.

Таким образом, вероятность ложной тревоги $P_{\text{лтп}}$ при фиксированном размере пачки входных импульсов равной n зависит от двух порогов обнаружителя U_0 и k_0 . Вычислим эту вероятность для случаев присутствия на входе обнаружителя локационных сигналов, отраженных от подстилающих поверхностей земли и моря. Рассчитаем вероятность ложной тревоги такого обнаружителя.

Для i -го импульса на выходе компаратора появляется единичный сигнал $s_i = 1$ в том случае, когда $A_i > U_0$, а нулевой сигнал $s_i = 0$, когда $A_i < U_0$:

$$s_i = \begin{cases} 1, & \text{если } A_i > U_0, \\ 0, & \text{если } A_i < U_0. \end{cases} \quad (1)$$

Вероятность события $A_i > U_0$ и равна вероятности $P_{\text{п}}$, которую можно записать в виде

$$P_{\text{п}} = \int_{U_0}^{+\infty} f(x) dx = 1 - \int_0^{U_0} f(x) dx = 1 - F(U_0), \quad (2)$$

где $f(x)$ плотность распределения вероятностей амплитуд импульсов после детектора, а $F(x)$ функция распределения вероятностей амплитуд этих импульсов.

На вход сумматора поступает пачка сигналов «1» и «0», при этом вероятность появления единичного сигнала «1» равна $P_{\text{п}}$, поэтому сумма этих бинарных сигналов имеет биномиальное распределение. При цифровом пороге рав-

ном k_0 сигнал обнаружения формируется при $S > k_0$, вероятность этого события и есть вероятность ложного срабатывания, то есть это вероятность ложной тревоги $P_{\text{лтп}}$, которая равна

$$P_{\text{лтп}} = \sum_{l=k_0+1}^n C_n^l P_{\text{п}}^l (1 - P_{\text{п}})^{n-l} = 1 - \sum_{l=0}^{k_0} C_n^l P_{\text{п}}^l (1 - P_{\text{п}})^{n-l}, \quad (3)$$

где $C_n^l = \frac{n!}{l!(n-l)!}$.

Из выражений (2) и (3) следует, что вероятность ложной тревоги $P_{\text{лтп}}$ зависит от длительности пачки импульсов n , аналогового и цифрового порогов обнаружителя U_0 и k_0 и функции распределения плотности вероятностей огибающей помехового сигнала $F(x)$. Величина n зависит от выбранного режима сканирования зоны поиска физического объекта, характеристик бортовой аппаратуры и требований к значению вероятности его обнаружения, функция распределения плотности вероятностей огибающей помехового сигнала $F(x)$ зависит от типа подстилающей поверхности – отражения от суши или от моря. Эти данные для принятой в работе постановки задачи заданы и от нас не зависят, а пороги обнаружителя U_0 и k_0 являются теми параметрами, выбором которых мы и хотим обеспечить заданный уровень ложных тревог $P_{\text{лтп}}$, который не должен зависеть от типа подстилающей поверхности.

Порог k_0 связан с размером пачки n и для повышения вероятности обнаружения информационных сигналов рекомендуется его выбирать в соответствии с соотношением $k_0 = E(\sqrt{1.5 \cdot n} + 0.5)$, где $E(\cdot)$ – функция Антье (целая часть числа). В нашем распоряжении остается лишь один свободный параметр – аналоговый порог U_0 . При этом учтем то обстоятельство, что ложная тревога $P_{\text{лтп}}$ обнаружителя « k из n » в нашем рассматриваемом случае будет зависеть только от порога U_0 . Поэтому, если для отражений от суши и отражений от морской поверхности удастся выбором порога U_0 обеспечить одинаковое значение $P_{\text{п}}$, то уровень ложных тревог не будет зависеть от типа подстилающей поверхности.

Как отмечено выше, системы АРУ выравнивают мощности локационных сигналов, отраженных от подстилающих поверхностей. В нашем случае для принятых математических моделей помех Рэлеевской $f_R(A_R)$ и логарифмически-нормальной $f_L(A_L)$ это означает равенство вторых начальных моментов этих распределений

$$\int_0^{\infty} A_R^2 f_R(A_R) dA_R = m_R^2 + D_R = \int_0^{\infty} A_L^2 f_L(A_L) dA_L = m_L^2 + D_L, \quad (4)$$

где m_R, m_L, D_R, D_L – математические ожидания и дисперсии соответствующих законов распределения.

Для распределения Рэлея

$$f_R(A_R) = \frac{A_R}{\sigma_R^2} \cdot e^{-\frac{A_R^2}{2\sigma_R^2}}, \quad A_R > 0, \quad (5)$$

где σ_R – параметр распределения, через который выражаются средняя мощность помехи $\bar{P}_R = \sigma_R^2$, математическое ожидание m_R и дисперсия D_R

$$\begin{cases} m_R = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma_R, \\ D_R = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \sigma_R^2. \end{cases} \quad (6)$$

Для логарифмически-нормального распределения

$$f_L(A_L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L A_L} \cdot e^{-\frac{(\ln A_L - \ln \bar{A}_L)^2}{2\sigma_L^2}}, \quad A_L > 0, \quad (7)$$

где \bar{A}_L и σ_L – параметры закона ($\bar{A}_L > 0, \sigma_L > 0$), связанные с математическим ожиданием m_L и дисперсией помехи D_L соотношениями [6]

$$\begin{cases} m_L = \bar{A}_L \cdot \exp\left(\frac{\sigma_L^2}{2}\right), \\ D_L = \bar{A}_L^2 \cdot \exp(\sigma_L^2) \cdot (\exp(\sigma_L^2) - 1). \end{cases} \quad (8)$$

С учетом выражений (4), (6), (8) получаем выражения, связывающие параметры этих законов распределения

$$\begin{cases} \bar{A}_L = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \sigma_R, \\ \sigma_L^2 = \ln \frac{4}{\pi}. \end{cases} \quad (9)$$

Во всех предыдущих выражениях, без уменьшения общности, можно положить $\sigma_R = 1$, тогда все переменные, зависящие от σ_R , можно считать безразмерными величинами, выраженными в единицах σ_R . Тогда равенства (9) при

$U_0 = 0.1$ позволяют выравнять P_{Π} для Рэлеевского и логарифмически-нормального распределений, что означает независимость ложной тревоги $P_{\text{лтр}}$ от типа подстилающей поверхности. Заданный уровень ложных тревог в этом случае всегда можно обеспечить за счет выбора соответствующих значений n и k_0 .

Список источников

1. Сесин А. Е., Шенета Д. А. Математическая модель эхо-сигналов морской поверхности, наблюдаемых бортовыми локаторами летательных аппаратов // Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 21–25.
2. Шенета А. П. Определение зоны поиска надводного объекта по данным предварительного целеуказания // Информационно-управляющие системы. 2012. № 4. С. 98–99.
3. Исаков В. И., Шенета Д. А. Моделирование локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // Информационно-управляющие системы. 2017. № 5 (90). С. 89–94.
4. Мауритс В. Г., Климова М. А., Иванова М. С. Математическая модель эхо-сигналов морской поверхности, наблюдаемой бортовыми локаторами летательных аппаратов // Сб. докладов. СПб.: ГУАП, 2018. С. 351–357.
5. Исаков В. И., Шенета Д. А. Плотность распределения мощности огибающей локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '21. Междунар. науч. конф.: сб. докладов. СПб.: ГУАП, 2021. С. 25–28.
6. Шенета Д. А. Разработка математических моделей и синтез алгоритмов моделирования входных сигналов бортовых систем обработки информации и управления: дис. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук. СПб., 2000.

УДК 621.396.966

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-49-52

В. И. Исаков*

кандидат технических наук, доцент

Д. А. Шепета*

кандидат технических наук, доцент

В. А. Тюринова*

ассистент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При обнаружении физических объектов в заданной зоне поиска на фоне морской поверхности определяющее значение при расчете вероятности обнаружения имеет расчет отношения сигнал/помеха. В этом случае основной помехой являются отражения локационного сигнала от моря, мощность которых зависит от характеристик бортового оборудования летательного аппарата, состояния морской поверхности и условий ее наблюдения. В работе приводятся соответствующие расчеты, основанные на эмпирических данных, полученных в реальных экспериментах.

Ключевые слова: мощность, морская поверхность, бортовая аппаратура, отношение сигнал/помеха.

V. I. Isakov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

D. A. Shepeta*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

V. A. Tyurinova*

Assistant

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CALCULATION OF THE POWER OF LOCATION SIGNALS REFLECTED FROM THE SEA SURFACE

When physical objects are detected in a given search area against the background of the sea surface, the calculation of the signal-to-noise ratio is of decisive importance in calculating the probability of detection. In this case, the main interference is the reflection of the location signal from the sea, the power of which depends on the characteristics of the aircraft's onboard equipment, the state of the sea surface and the conditions of its observation. The paper presents the relevant calculations based on empirical data obtained in real experiments.

Keywords: power, sea surface, on-board equipment, signal-to-interference ratio.

При работе спасателей в зоне бедствия всегда возникает проблема поиска терпящих бедствие в морской акватории, спасающихся на небольших плавсредствах, или даже отдельных людей, унесенных в море ураганом. Перспективным способом поиска и обнаружения являются радиолокационные системы.

Радиолокационные импульсы, отраженные от подстилающей поверхности, характеризуются плотностью распределения вероятностей амплитуды A или мощности P , а также спектрально-корреляционными характеристиками [1]–[4]. Мощность флуктуаций P – пропорциональна эффективной площади рассеяния (ЭПР) облучаемого участка подстилающей поверхности, которая, прямо пропорциональна удельной от-

ражающей способности «засвечиваемого» локатором участка поверхности и площади этого участка, попадающей в элемент разрешения.

Для повышения точности, необходимо уменьшать размеры элементов разрешения, которые определяются в полярной системе координат (рассматриваем плоскую картину). Уменьшение размеров элементов разрешения по координате дальность может быть достигнуто за счет уменьшения длительности зондирующих. Повышение разрешающей способности бортовой малогабаритной РЛС по угловой координате, достигается за счет реализации режима синтеза апертуры. При этом необходимо учесть, что «высокое» разрешение может быть достигнуто только при достаточно больших скоростях дви-

жения летательного аппарата, на котором базируется бортовая аппаратура [5]–[8].

Для аппроксимации плотности распределения вероятностей амплитуды отраженного сигнала, обычно используют плотность распределения Рэлея, так как в элемент разрешения попадает множество независимых отражателей, которые в силу центральной предельной теоремы «обеспечивают» нормальность квадратур отраженного сигнала. Такая аппроксимация допустима лишь, если разрешающая способность локатора невелика. Для современных высокоточных локаторов с высоким разрешением как по углу, так и по дальности условия центральной предельной теоремы не выполняются, в силу чего распределение амплитуд отличается от Рэлеевского, что и подтверждается многочисленными экспериментальными данными.

Для аппроксимации распределения амплитуд сигналов, отраженных от морской поверхности, используют логарифмически-нормальную плотность, а для отражений от земной поверхности – распределение Вейбулла, поскольку эти распределения не противоречат экспериментальным данным и достаточно просты при их использовании как в теоретических выкладках, так и при синтезе алгоритмов моделирования флуктуаций эхо-сигналов подстилающих поверхностей [9]–[11].

Для отражения от морской поверхности логарифмически-нормальное распределение ве-

роятности амплитуд можно записать в следующем виде

$$f(A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_A A} \exp\left[-\frac{(\ln A - \ln \bar{A})^2}{2\sigma_A^2}\right], \quad (1)$$

где σ_A и $\ln \bar{A}$ – параметры распределения, связанные с математическим ожиданием, дисперсией и коэффициентом вариации соотношениями:

$$M(A) = \bar{A} \cdot \exp\left(\frac{\sigma_A^2}{2}\right), \quad (2)$$

$$D(A) = \bar{A}^2 \cdot \exp(\sigma_A^2) \cdot (\exp(\sigma_A^2) - 1), \quad (3)$$

$$K_A = \sqrt{\exp(\sigma_A^2) - 1}. \quad (4)$$

Это распределение обладает свойством – при возведении случайной величины, распределенной по логарифмически-нормальной плотности, в любую степень, полученная случайная величина также имеет логарифмически-нормальное распределение [12].

На рис. 1 приведены схема и обозначения при сканировании зоны обзора.

Мощность отраженного от морской поверхности сигнала зависит от многих параметров

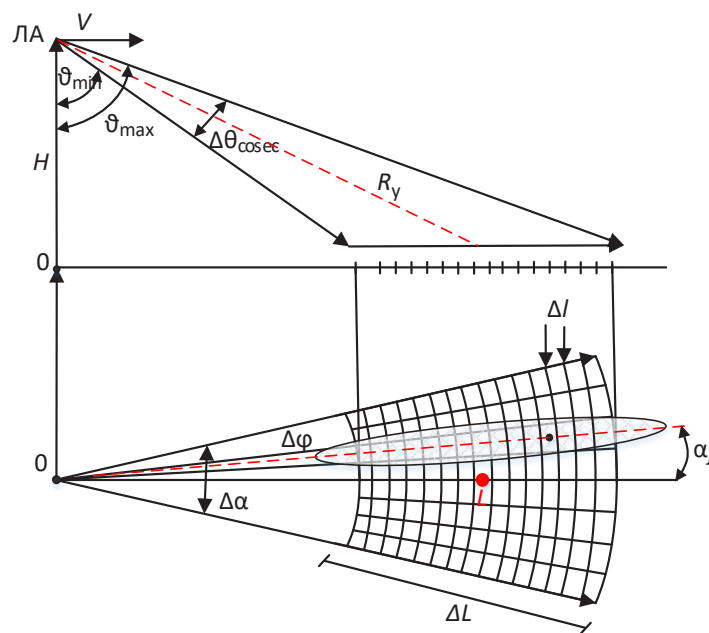


Рис. 1. Зона сканирования электромагнитного луча

как локационной станции, так и от характеристик полета летательного аппарата.

Распределенными называют такие цели, линейные размеры которых превышают линейные размеры разрешаемого объема. Удельная ЭПР поверхностно распределенной цели есть ЭПР единицы поверхности. При этом

$$\bar{S}_\vartheta = \eta_S \cdot \delta S,$$

где η_S – удельная ЭПР; δS – разрешаемый элемент поверхности.

Мощность отражений от цели обратно пропорциональна 4 степени дальности

$$P_y = \frac{P_{\text{прд}} \cdot G_A \cdot S_A \cdot S_\vartheta}{(4\pi)^2 R_y^4},$$

где $S_\vartheta = \pi r^2$ – главное сечение шара.

Средняя мощность отражений \tilde{P}_{ij} от морской поверхности определяется как [13]

$$\tilde{P}_{ij} = \frac{P_{\text{прд}} \lambda_i^2 c \tau_c \eta_i}{2(4\pi)^3 R_{ij}^3 \cos \theta_{ij}} 10^{0,1\sigma_{ij}^0} \int_{-\pi}^{\pi} G_{ij}^2 d\varphi,$$

где $P_{\text{прд}}$ – мощность передатчика, отражение сигнала которого и обуславливает наличие эхо-сигнала; $c\tau_c$ – длительность импульса; c – скорость света; R_{ij} – наклонная дальность до элемента поверхности (ij -й элемент), обуславливающего этот эхо-сигнал; R_{ij}^3 – угол визирования в вертикальной плоскости i, j -го элемента поверхности; η_i – коэффициент потерь, $\sigma_{ij}^0 = \sigma^0(\theta_{ij}, \lambda_i, w_i, \psi_i)$ – удельная ЭПР i, j -го элемента поверхности; G_{ij} – коэффициент усиления диаграмм направленности в направлении i, j -го элемента; w_i и ψ_i – волнение моря и ракурс волны – угол между проекцией на плоскость моря направления визирования участка поверхности и направлением движения морских волн.

Под условиями наблюдения морской поверхности понимают высоту полета локационной станции H , направление максимума излучения антенной системы в вертикальной плоскости $\bar{\theta}_i$, скорость перемещения максимума излучения на горизонтальной плоскости V , расстояние от локационной системы до поверхности моря по направлению максимума излучения \bar{R}_i , волнение моря W_i , ракурс волны ψ_i – направление между движением гребня волн и проекцией на плоскость направления локационная станция – цель.

Параметры системы и условия наблюдения являются необходимыми и должны быть заданы. Чтобы вычислить \tilde{P}_{ij} необходимо задать удельную ЭПР моря σ_{ij}^0 . В настоящее время не существует общей теории отражения локацион-

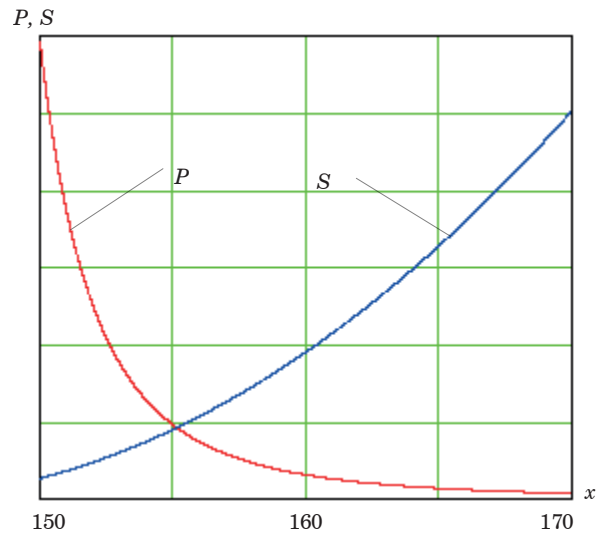


Рис. 2. Зависимость мощности отраженного от морской поверхности сигнала P и площади элемента разрешения S от дальности

ных сигналов от морской поверхности, которая бы давала общее выражение для σ^0 . Поэтому для определения σ^0 пользуются эмпирическими формулами.

С точностью до $\pm 3,5$ дБ/м² можно вычислить σ^0 из выражения

$$\sigma_{ij}^0 = 10 \left[1,6 \lg(\theta_{ij} + 0,5) + \frac{0,9}{\lambda_i} \left(W_i - \frac{\psi_i}{\pi} - \sin \psi_i \right) - 5 \right].$$

где θ_{ij} – в градусах; ψ_i – в радианах; $\sin \psi_i$ – в сантиметрах; W_i – в баллах; σ^0 – в децибелах на квадратный метр.

На рис. 2 приведены зависимости мощности отраженного от морской поверхности сигнала P и площади элемента разрешения S от дальности.

Список источников

1. Сесин А. Е., Шенета Д. А. Математическая модель эхо-сигналов морской поверхности, наблюдаемых бортовыми локаторами летательных аппаратов // Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 21–25.
2. Шенета А. П. Определение зоны поиска надводного объекта по данным предварительного целеуказания // Информационно-управляющие системы. 2012 № 4. С. 98–99.
3. Исаков В. И., Шенета Д. А. Моделирование локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // Информационно-управляющие системы. 2017. № 5 (90). С. 89–94.
4. Мауритс В. Г., Климова М. А., Иванова М. С. Математическая модель эхо-сигналов морской по-

верхности, наблюдаемой бортовыми локаторами летательных аппаратов: сб. докладов. СПб.: ГУАП, 2018. С. 351–357.

5. *Исаков В. И., Шенета Д. А.* Плотность распределения мощности огибающей локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // *Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '21. Междунар. науч. конф.: сб. докладов.* СПб.: ГУАП, 2021. С.25–28.

6. *Isakov V., Shepeta D., Nenashev V.* Algorithm for modeling location signals reflected from the edge of various underlying surfaces // *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020.* P. 9131550.

7. *Подоплекин Ю. Ф., Шенета Д. А.* Имитационные модели и математическое моделирование эхосигналов кораблей и морского фона // *Морская радиоэлектроника 2021. № 2 (76).* С. 54–56.

8. *Shepeta D., Nenashev V.* Optimization the size of the search area for moving physical objects based on preliminary target designation data *Proceedings of XXIV International Conference Wave electronics and infocommunication systems.* P. 1–4.

9. *Isakov V., Shepeta D.* Simulation of location signals when determining a coastal edge // *2021 Wave Elec-*

tronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), 2021. P. 1–5

10. *Ivanova M., Isakov V., Shepeta D.* Simulation models of input signals of information processing systems synthesized from empirical data // *XXIII International conference «Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems» (WECONF-2020).* Saint-Petersburg, 2020. P. 1–5.

11. *Ваттимера Г. М., Исаков В. И., Шенета А. П.* Определение береговой кромки земли и моря // *Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXV Междунар. науч. конф.* СПб.: ГУАП, 2022. С. 74–78.

12. *Григорьева Н. Н., Исаков В. И.* Особенности моделирования эхо-сигналов морской поверхности // *Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '22: Междунар. науч. конф.: сб. докладов.* СПб.:ГУАП, 2022. С. 40–43.

13. *Шенета Д. А.* Разработка математических моделей и синтез алгоритмов моделирования входных сигналов бортовых систем обработки информации и управления: дис. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб., 2000.

УДК 621.38

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-53-56

В. А. Килимник*

кандидат технических наук

Д. С. Шамрицкая**

инженер

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Общество с ограниченной ответственностью «АМА-Мир»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ БИОТЕЛЕМЕТРИИ

Рассмотрены использование возможности биотелеметрии в современном мире и RFID-технологии в проблемах биотелеметрии.

Ключевые слова: биотелеметрия, RFID-технология, метка.

V. A. Kilimnik*

PhD Sc. Tech.

D. S. Shamritskaya**

Engineer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**Limited Liability Company «АМА-Мир»

USING RFID TECHNOLOGIES FOR BIOTELEMETRY TASKS

The use of biotelemetry in the modern world is considered. The possibility of using RFID technology in problems of biotelemetry is considered.

Keywords: biotelemetry, RFID technology, tag.

Использование биотелеметрии в современном мире

В современном мире все в большем количестве отраслей человеческой жизни начинают использоваться технологии биотелеметрии. Биотелеметрия – это способ дистанционного исследования биологических явлений и измерения биологических показателей. При использовании технологии биотелеметрии на изучаемом объекте (животном или человеке) закрепляют соответствующие датчики, сигналы которых, характеризующие те или иные биологические или физиологические процессы (движение, пульс, дыхание и др.), передают по каналам связи (радио- или телефонная связь) и регистрируют на пункте приема информации. Исследуемый процесс, если он неэлектрической природы, предварительно преобразуют в какие-либо электрические сигналы [1].

В настоящее время биотелеметрия используется в различных сферах жизни. Например, в спорте электронные датчики ЭКГ (пульсометры), и используются для контроля состояния и нагрузки спортсменов во время интенсивных тренировок и соревнований.

Некоторые заводы и крупные предприятия рассматривают варианты введения биотелеметрии в использование среди сотрудников и рабочих. Предлагается ввести специальные браслеты, которые будут считывать пульс, уровень жидкости в организме, уровень стресса, энергетический баланс и другие показатели [2]. Таким образом, предполагается вести учет состояния здоровья работников на производстве, а также заранее выявлять проблемы со здоровьем каждого отдельно взятого человека, что может предотвратить аварийные и травмоопасные ситуации. Предполагается, что такие меры могут даже помочь выявить серьезные заболевания на начальных стадиях чтобы вовремя направить человека на обследование [3]. Также биотелеметрия активно используется в космической отрасли для отслеживания состояния здоровья космонавтов при перегрузках и невесомости [4].

Длительное дистанционное отслеживание показателей организма и их учет называется телемониторингом [5]. Данный способ исследования животных и птиц часто используется в биологических и других научных отраслях. Например, с помощью трекеров ученые могут отслеживать сезонные миграции птиц и сле-

дить за численностью видов животных в определенном ареале обитания.

Имплантируемые RFID-метки

Одним из способов ведения наблюдения и учета за животными с является имплантация RFID-меток (рис. 1). Такие метки вводятся подкожно (как правило в холку) животного, что не позволит их потерять или повредить. RFID – это краткая аббревиатура технологии радиочастотной идентификации. Принцип работы данной технологии заключается на передаче данных при помощи электромагнитного радиоканала в небольшом диапазоне от считывающего устройства. Устройство состоит из считывателя и метки, имплантируемой в животное. RFID-метка структурно состоит из чипа, на котором содержится индивидуальный номер, и антенны, которая может передавать сигнал с чипа на считывающее устройство. Чип и антенна помещаются внутрь специальной капсулы, которая производится из специального стекла и не влияет на организм животного, а также не подвержены коррозии внутри организма. Данные метки изготавливаются разного размера для разных видов животных (рис. 2). Для крупных животных и копытного скота так же могут использоваться ушные RFID-метки.

Единственным минус данного метода с точки зрения биотелеметрии заключается в том, что из-за отсутствия собственного источника питания RFID-метки неспособны передавать сигнал на большие расстояния, что делает их неэффективными при использовании для отслеживания животных на крупных территориях в дикой природе. Такие метки требуют установки считывателей с постоянным источником

питания в местах интереса исследователей, например, у кормушек или нор.

На рынке существуют RFID-метки и считыватели с большим радиусом действия, однако они используются в промышленности, не приспособлены для использования с животными, имеют большие габариты, а также высокую стоимость и расстояние считывания не более 50 метров в зависимости от модели (рис. 3). Такие считыватели используются на производствах для маркировки деталей и товара, а также для обеспечения безопасности на пунктах пропуска автомобилей на предприятиях.

Биотелеметрическое устройство с использованием технологии RFID

Не смотря на небольшой радиус действия технологии RFID, у нее есть потенциал и возможность использования в сфере биотелеметрии. Отсутствие у RFID-меток источника собственного питания и возможность их внедрения в организм животного, делает метки долговечными и надежными.

Одним из направлений развития RFID-технологии в биотелеметрии является оснащение RFID-меток дополнительными датчиками для учета состояния организма носителя метки. Такими датчиками могут быть датчик температуры, давления или пульса. Такое устройство не подойдет для мониторинга на крупных территориях, однако хорошо для исследований, проводящихся в лабораторных условиях, где возможно установить несколько RFID-считывателей – например, в клетках и вольерах.

Использование внутри метки датчиков, предполагает добавление внутрь RFID-капсулы микроконтроллера, который будет активиро-



Рис. 1. Размер RFID-меток по сравнению с пальцем человека [6]

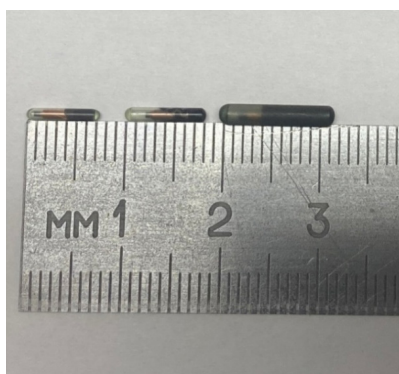


Рис. 2. Имплантируемые RFID-метки разных размеров



Рис. 3. Parsec PR-G07. N, считыватель дальней идентификации (до 50 м) [7]



Рис. 4. Схема устройства RFID-метки с датчиками состояния организма

ваться от питания, получаемого через антенну и передавать на считыватель информацию не только о индивидуальном номере метки, но и о других параметрах организма. На рис. 4 представлена теоретическая схема устройства такой метки.

SMD-датчики

На данный момент существуют различные датчики, размеры которых могут подойти для реализации подобного проекта. Для примера и сравнения были рассмотрены датчики температуры, размеры которых могут поместиться в RFID-капсулу без значительного увеличения ее габаритов.

Датчик температуры АНТ21

Датчик АНТ21 (рис. 5) представляет новое поколение датчиков измерения температуры и влажности, совмещающая в себе точность и малый размер [8]. Данный датчик работает с микроконтроллерами по I2C протоколу.



Рис. 5. Датчик температуры АНТ21



Рис. 6. Датчик температуры ВМЕ280

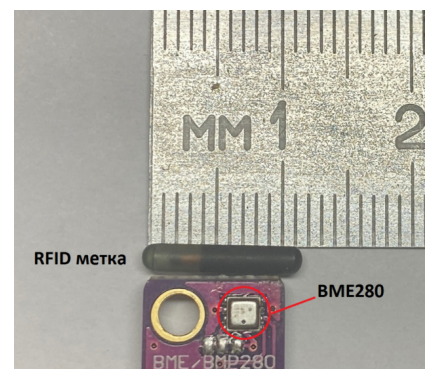


Рис. 7. Сравнение размеров датчика ВМЕ280 и RFID-метки

Размеры данного датчика совсем невелики: его ширина составляет 4,9 мм, длина 3,9 мм, а высота 1,6 мм.

Датчик температуры ВМЕ280

Датчик ВМЕ280 (рис. 6) представляет собой комбинированный цифровой датчик влажности, давления и температуры. Сенсорный модуль размещен в чрезвычайно компактном корпусе LGA с металлической крышечкой [9].

Размеры датчика составляют: 2,5 мм, длина 2,5 мм, а высота 0,93 мм. Данный датчик меньше и точнее, чем рассмотренный ранее АНТ21, однако это так же делает его более дорогим в производстве и, соответственно, в закупке.

На рис. 7 представлено сравнение размеров датчика ВМЕ280 и RFID-метки.

В данной статье были рассмотрены принципы биотелеметрии и ее применение в различных областях человеческой жизни.

Также на основе проведенных исследований, было предложено разработка нового устройства биотелеметрии на основе RFID-технологии.

Список источников

1. Большая советская энциклопедия: в 30 т. 3-е изд. М., 1969–1978.

2. 2019: Описание «Биотелеметрии». URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F> (дата обращения: 28.11.2023).

3. Биотелеметрия – цифровое решение для корпоративного здравоохранения. URL: <https://oiitf.ru/news/biotelemetry-cifrovoye-reshenie-dlya-korporativnogo-zdravoohraneniya> (дата обращения: 28.11.2023).

4. Космическая биотелеметрия. URL: https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/tehnika_-_molodyoji/1962/9/25-26.html (дата обращения: 28.11.2023).

5. Глава 10. Биотелеметрия и телемониторинг. URL: <https://www.rosmedlib.ru/doc/ISBN9785970441954-0011/-esf2k2z11-tabrel-mode-pgs.html> (дата обращения: 28.11.2023).

6. RFID-метка для животных, 125 кГц/134,2 кГц. URL: https://aliexpress.ru/item/1005001337588103.html?sku_id=12000015740138128 (дата обращения: 28.11.2023).

7. Parsec PR-G07. N, считыватель дальней идентификации. URL: <https://us-plast.ru/product/parsec-pr-g07-n-schityvatel/> (дата обращения: 28.11.2023).

8. Датчик температуры и влажности (I2C) АНТ21. URL: https://www.avrobot.ru/product_info.php?products_id=6282 (дата обращения: 28.11.2023).

9. DatasheetBosch BME280 – Даташит. URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=648823&BME280> (дата обращения: 28.11.2023).

УДК 338.242

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-57-58

А. П. Орлов*

кандидат технических наук, доцент

М. В. Савинов*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Проведен анализ отказоустойчивости угломерной системы, использующей датчики линейных перемещений и анализ составляющих погрешности измерения углового положения крупногабаритного объекта, вызванных деформацией его конструкции. Получена форма, позволяющая учесть эту погрешность, при измерении угла наклона объекта по показаниям двух датчиков линейных перемещений, позволяющая оптимизировать их размещение на поверхности объекта.

Ключевые слова: объект, измерение, угол, колебания, вибрации, погрешность, отказ, датчик.

A. P. Orlov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

M. V. Savinov*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

OPTIMIZATION OF THE NUMBER AND PLACEMENT OF LINEAR DISPLACEMENT SENSORS OF THE ANGLE MEASURING SYSTEM

An analysis of the fault tolerance of an angle measuring system using linear displacement sensors and an analysis of the components of the error in measuring the angular position of a large object caused by deformation of its structure is carried out. A form has been obtained that allows taking into account this error when measuring the angle of inclination of an object according to the readings of two linear displacement sensors, which allows optimizing their placement on the surface of the object.

Keywords: object, measurement, angle, vibrations, vibration, error, failure, sensor.

Устройства определения относительного углового положения крупногабаритных объектов находят широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Это стыковка и монтажные операции в космосе, определение параметров движения летательных аппаратов на сверхнизких высотах, монтаж различных крупногабаритных конструкций в промышленности и строительстве. Широкий круг задач такого рода приходится решать в ракетно-космической области техники, например, при установке космических аппаратов на стартовой позиции.

В статье рассматриваются угломерные системы, которые работают с крупногабаритными объектами, отличительной особенностью которых является перемещение на малом расстоянии относительно Земли, соизмеримом с габаритами самого объекта. Вследствие больших размеров даже при малых изменениях

углового положения объекта происходят существенные изменения положения фиксированных точек на краях конструкции. Это обстоятельство, создавая с одной стороны ряд трудностей в процессе управления движением объекта, с другой стороны играет положительную роль, так как дает возможность с высокой точностью измерять угловые координаты через линейные перемещения его фиксированных точек. Таким образом, в качестве первичных датчиков в подобных угломерных устройствах могут использоваться датчики линейных перемещений: фотоэлектрические, лазерные и локационные высотомеры и дальномеры, индуктивные и емкостные датчики.

Для получения информации об угловых координатах объекта с помощью угломерной системы в ее состав должны входить минимум три датчика линейных перемещений, расположенных в плоскости объекта. Однако отказ од-

ного из них приводит к потере информации. Для обеспечения отказоустойчивости угломерной системы необходимо ввести избыточность в виде четвертого датчика [1]. Это позволяет обнаружить факт одиночного отказа одного из датчиков. Однако для локализации отказавшего датчика систему необходимо перевести в специальный режим, заключающийся в горизонтировании плоскости объекта.

Отказавший канал устанавливается по критерию:

$$\left| x_i - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_j \right| \geq R,$$

где $i = 1, 2, 3, 4$; x_i – выходной сигнал i -го канала; R – пороговая величина.

Выявленный отказавший канал отключается, а система переходит в режим работы с тремя датчиками. Недостатком подобной системы является использование специального режима горизонтирования.

Введение дополнительного пятого датчика позволяет осуществить идентификацию отказавшего канала без использования специального режима горизонтирования.

Использование избыточности в измерительной системе и наличие в ней пяти каналов является необходимым и достаточным условием построения отказоустойчивой угломерной системы [1].

Крупногабаритные конструкции в реальных условиях в динамическом режиме работы могут деформироваться, как за счет собственного веса, так и за счет веса полезной нагрузки. Эти деформации носят устойчивый характер и создают квазипостоянную составляющую погрешности измерения перемещения $\Delta Z_{КП}$. Составляющая $\Delta Z_{КП}$ является детерминированной функцией координат точек расположения датчиков на поверхности объекта.

При эксплуатации крупногабаритных конструкций могут возникнуть различного рода колебания, вызванные упругими деформациями. Например, параметры вибрации на летательных аппаратах (ЛА) зависят от работы двигателей, винтов, турбулентного движения пограничного слоя воздуха, окружающего объект в полете. В зависимости от уровня вибрационного ускорения на ЛА различают несколько динамических зон. Наибольшую величину вибрации имеют в зоне установки двигателей и зоне, составляющей 1/3 часть от полуразмаха крыла, считая от его конца. Наименьшую в зоне фюзеляжа.

Таким образом, в суммарной погрешности измерения присутствует случайная составля-

ющая ΔZ_B , которая может быть разбита на две составляющие: коррелированную ΔZ_K и некоррелированную ΔZ_H . Составляющая ΔZ_H характеризуется дисперсией случайных колебаний в заданной точке D_H .

Коррелированная случайная погрешность возникает при свободных колебаниях точек симметричных относительно продольной оси ЛА.

Величина коэффициента взаимной корреляции k_{ij} определяется симметричностью расположения этих точек i и j относительно продольной оси.

Таким образом, коррелированная составляющая погрешности измерения угла наклона объекта Y датчиками линейных перемещений, расположенных в точках i и j поверхности объекта, определяется по формуле

$$\Delta Y_{Kij} = (1 - k_{ij}) \Delta Z_{maxi},$$

где ΔZ_{maxi} – максимальное значение коррелированной составляющей погрешности в точке i .

Погрешность измерения угла наклона крупногабаритного объекта при помощи датчиков линейных перемещений, расположенных в точках i и j конструкции с учетом ее деформации, колебаний и вибрации может быть оценена формулой

$$\Delta Y_{maxij} = \frac{|\Delta Z_{kni} - \Delta Z_{knj}| + (1 - k_{ij}) \Delta Z_{kmaxi} + 3\sqrt{D_{Hi} + D_{Hj}}}{l_{ij}},$$

где l_{ij} – расстояние между точками i и j .

Оптимизация размещения датчиков линейных перемещений угломерной системы на поверхности крупногабаритного объекта можно производить по критерию минимума ΔY_{max} , то есть по минимаксному точностному критерию [2].

Список источников

1. Дмитриев Е. В., Лухт Р. А., Небылов А. В. Алгоритм обнаружения отказа одного из четырех функционально связанных датчиков // Вопросы радиоэлектроники. 1984. Вып. 4. С. 76–78.
2. Небылов А. В., Орлов А. П., Устинович В. А. Комплект программ «ОРТ» оптимизации расположения датчиков линейных перемещений при измерении углового положения крупногабаритного объекта. М., 1989.

УДК 519.85

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-59-63

Т. М. Татарникова*

доктор технических наук, профессор

А. С. Раскопина*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОБУЧЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Методы оптимизации играют важную роль в обучении нейронных сетей, они минимизируют функцию потерь для более точного прогноза. Представлен сравнительный анализ оптимизаторов SGD, RMSProp, Adagrad, Adam и Adadelta на наборе данных рентгеновских снимков для диагностирования пневмонии. Рассмотрены популярные методы оптимизации и анализируются их эффективность и применимость в различных задачах машинного обучения. Обсуждаются преимущества и недостатки каждого метода.

Ключевые слова: нейронные сети, машинное обучение, методы оптимизации, SGD, RMSProp, Adagrad, Adam, Adadelta.

Т. М. Tatarnikova*

Dr. Sc. Tech., Professor

A. S. Raskopina*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS USED IN TRAINING NEURAL NETWORKS

Optimization methods play an important role in training neural networks, they minimize the loss function for a more accurate prediction. This article presents a comparative analysis of the optimizers SD, MS Pro, Ada gray, Adams and Adadelta on a dataset of X-ray images for the diagnosis of pneumonia. Popular optimization methods are considered here and their effectiveness and applicability in various machine learning tasks are analyzed. The article also discusses the advantages and disadvantages of each method.

Keywords: neural networks, machine learning, optimization methods, SSD, RMSProp, Adagrad, Adam, Adadelta.

Метод стохастического градиентного спуска (SGD)

Метод стохастического градиентного спуска (SGD) является одним из основных методов оптимизации в машинном обучении. Он используется для обновления весов модели в направлении, обратном градиенту функции потерь, с целью минимизации этой функции.

Основная идея SGD заключается в том, чтобы на каждом шаге обучения брать случайный пример из обучающего набора данных и вычислять градиент функции потерь только на основе этого одного примера:

$$w_{N+1} = w_N - \alpha \nabla_w E(w; x^{(i)}; y^{(i)}), \quad (1)$$

где $(x^{(i)}, y^{(i)})$ – i -й обучающий набор.

Затем веса модели обновляются в направлении, обратном этому градиенту, с учетом скорости обучения (learning rate).

Также существуют различные вариации SGD, которые модифицируют базовый алгоритм для улучшения его свойств. Преимущества стохастического градиентного спуска (SGD) включают:

- эффективность на больших наборах данных;
- быстрая сходимость к локальному минимуму.

Недостатки стохастического градиентного спуска включают:

- высокая дисперсия обновлений весов;
- медленная сходимость на сложных функциях потерь.

Чувствительность к выбору скорости обучения, так как слишком высокая скорость обучения может привести к осцилляциям вокруг ми-

нимума, а слишком низкая – к медленной сходимости [1].

Метод оптимизации Adam

Метод оптимизации Adam – это метод, который комбинирует преимущества методов градиентного спуска первого и второго порядков для обновления весов модели в процессе обучения.

Обновление моментов происходит по формулам:

$$\begin{aligned} m_t &= \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot g_t \\ v_t &= \beta_2 \cdot v_{t-1} + (1 - \beta_2) \cdot g_t^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где m_t и v_t – первый и второй моменты градиента на времени t ; g_t – градиент на времени t , β_1 и β_2 – коэффициенты затухания.

Коррекция смещения происходит по формулам:

$$\begin{aligned} \hat{m}_t &= \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \\ \hat{v}_t &= \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \end{aligned} \quad (3)$$

где t – номер итерации.

Обновление весов происходит по формуле:

$$\theta_{t+1,i} = \theta_t - learning_rate \cdot \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \varepsilon}}, \quad (4)$$

где θ_t – параметры на времени t ; $learning_rate$ – коэффициент обучения; ε – маленькое число, добавленное для стабильности.

Преимущества оптимизатора Adam включают:

- автоматическая настройка скорости обучения;
- обеспечивает стабильность обучения за счет возможности корректировать скорость обучения в процессе обучения;
- эффективность на различных типах данных.

Недостатки оптимизатора Adam включают:

- требует хранения дополнительной информации о первых и вторых моментах градиента для каждого параметра модели, что может привести к высокому использованию памяти;
- чувствительность к выбору гиперпараметров [2].

Метод оптимизации Adagrad

Метод оптимизации Adagrad – это метод, который адаптирует скорость обучения для каж-

дого параметра на основе истории градиентов. Его основная идея состоит в том, чтобы уменьшать скорость обучения для параметров, которые имеют большие обновления, и увеличивать скорость обучения для параметров с меньшими обновлениями. Это позволяет эффективно обучать модели с разреженными данными и различной динамикой параметров.

Аккумуляция квадратов градиентов происходит по формуле:

$$G_{t,i} = G_{t-1,i} + (\nabla J(\theta_{t,i}))^2, \quad (5)$$

где $G_{t,i}$ – аккумулярованная сумма квадратов градиентов для параметра i ; $\nabla J(\theta_{t,i})$ – градиент функции потерь по параметру i на времени t .

Обновление весов происходит по формуле:

$$\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \frac{learning_rate}{\sqrt{G_{t,i} + \varepsilon}}, \quad (6)$$

где $\theta_{t+1,i}$ – новое значение i на времени $t+1$, $learning_rate$ – коэффициент обучения; ε – маленькое число для стабильности.

Преимущества оптимизатора Adagrad включают:

- адаптивная скорость обучения, ведь метод автоматически настраивает скорость обучения для каждого параметра;
 - простота в использовании.
- Недостатки оптимизатора Adagrad включают:
- накопление квадратов градиентов, что ведет к постепенному уменьшению скорости обучения с течением времени;
 - чувствительность к начальной скорости обучения [3].

Метод оптимизации Adadelta

Метод оптимизации Adadelta – это алгоритм, который является улучшением оптимизатора Adagrad. Adadelta решает проблему уменьшения скорости обучения в Adagrad за счет использования окна скользящего среднего для адаптации скорости обучения.

Аккумуляция экспоненциально сглаженных квадратов градиентов происходит по формуле:

$$E[g^2]_t = \rho \cdot E[g^2]_{t-1} + (1 - \rho) \cdot (\nabla J(\theta_t))^2, \quad (7)$$

где $E[g^2]_t$ – аккумулярованная сумма квадратов градиентов на времени t ; ρ – параметр сглаживания.

Обновление весов с использованием адаптивного шага происходит по формуле:

$$\Delta\theta_t = -\frac{\sqrt{\Delta\theta_{t-1} + \varepsilon}}{\sqrt{E[g^2]_t + \varepsilon}} \cdot (\nabla J(\theta_t)) \quad (8)$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \Delta\theta_t,$$

где $\Delta\theta_t$ – изменение параметров на времени t ; ε – маленькое число для стабильности.

Аккумуляция экспоненциально сглаженных квадратов изменений параметров происходит по формуле:

$$E[\Delta\theta^2]_t = \rho \cdot E[\Delta\theta^2]_{t-1} + (1 - \rho) \cdot (\Delta\theta_t)^2. \quad (9)$$

Обновление параметров для следующей итерации происходит по формуле:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \Delta\theta_t. \quad (10)$$

Основные преимущества оптимизатора Adadelta включают:

- использование скользящего среднего, что помогает преодолеть проблему постепенного уменьшения скорости обучения в методе Adagrad;

- отсутствие необходимости в ручной настройке скорости обучения.

Недостатки данного метода:

- гиперпараметры сложны для настройки;
- расчеты для скользящего среднего и обновления параметров могут быть вычислительно затратными [4].

Метод оптимизации RMSprop

Метод оптимизации RMSprop – это алгоритм, используемый в области глубокого обучения для обновления весов нейронной сети в процессе обучения. Он был предложен Гейффри Хинтоном в одной из его лекций.

Аккумуляция экспоненциально сглаженных квадратов градиентов происходит по формуле:

$$E[g^2]_t = \rho \cdot E[g^2]_{t-1} + (1 - \rho) \cdot (\nabla J(\theta_t))^2, \quad (11)$$

где $E[g^2]_t$ – аккумулярованная сумма квадратов градиентов на времени t ; ρ – параметр сглаживания.

Обновление весов с использованием адаптивного шага происходит по формуле:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\text{learning_rate}}{\sqrt{E[g^2]_t + \varepsilon}} \cdot \nabla J(\theta_t), \quad (12)$$

где $\Delta\theta_{t+1}$ – новое значение параметра на времени $t+1$, learning_rate – коэффициент обучения; ε – маленькое число для стабильности.

Преимущества оптимизатора RMSprop включают:

- автоматически адаптирует скорость обучения для каждого параметра на основе истории градиентов;

- помогает уменьшить колебания скорости обучения и ускорить сходимость процесса обучения за счет использования экспоненциально-скользящего среднего для градиентов;

- эффективное управление гиперпараметрами.

Несмотря на это, у оптимизатора RMSprop есть некоторые недостатки:

- чувствительность к выбору параметра скользящего среднего;

- требует хранения дополнительной информации о градиентах для каждого параметра, что может привести к увеличению потребления памяти [5].

Сравнительный анализ

Для сравнения данных оптимизаторов выберем датасет на котором будет происходить обучение модели. Был выбран датасет состоящий из 5863 рентгеновских снимка грудной клетки, которые были заранее промаркированы на два типа: здоровые легкие и диагноз пневмония [6]. Для тренировочной выборки было выбрано 5216 снимков, а для тестовой выборки 624 снимка.

В табл. 1 представлена общая структура нейронной сети, организованной по слоям. Размер батча 64 и количество эпох 10. Метрика качества была выбрана «ассигасу» и потери рассчитываются с использованием двоичной перекрестной энтропии.

В табл. 2 приведены данные по окончанию работы моделей, а на рис. 1 и 2 можно увидеть изменение значений точности и потерь в течение всех эпох.

Заключение

В данной работе был проведен сравнительный анализ оптимизаторов SGD, RMSProp, Adagrad, Adam и Adadelta. По результатам работы получили, что по времени обучения выигрывает метод Adagrad с значением 1233 секунды, но точность и потери одни из самых худших в исследовании. По точности метод Adam справился лучше всех и достиг значения 0.9119 (91%). Методы Adagrad, Adadelta и SGD плохо себя показали в работе с данным датасетом, что визуально видно по рис. 1 и 2. Лучшее всего справились Adam и RMSprop, следовательно,

Таблица 1

Общая структура нейронной сети

Тип слоя	Выходная форма	Параметр
conv2d (Conv2D)	(None, 148, 148, 32)	896
max_pooling2d(MaxPooling2D)	(None, 74, 74, 32)	0
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 72, 72, 64)	18496
max_pooling2d_1(MaxPooling2D)	(None, 36, 36, 64)	0
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 34, 34, 128)	73856
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 17, 17, 128)	0
flatten (Flatten)	(None, 36992)	0
dense (Dense)	(None, 128)	4735104
dropout (Dropout)	(None, 128)	0
dense_1 (Dense)	(None, 1)	129
Total params: 4828481 (18.42 MB) Trainable params: 4828481 (18.42 MB) Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)		

Таблица 2

Результаты при скорости обучения 0.001(learning_rate=0.001)

Метод оптимизации	Потери (тренировочная выборка)	Точность (тренировочная выборка)	Потери (тестовая выборка)	Точность (тестовая выборка)	Время обучения, сек.
Adam	0.2342	0.9013	0.2828	0.9119	1346
Adagrad	0.5327	0.7488	0.6383	0.6330	1233
Adadelata	0.5778	0.7429	0.7080	0.6250	1347
RMSprop	0.2510	0.8992	0.3293	0.8622	1242
SGD	0.5671	0.7429	0.6826	0.6250	1313

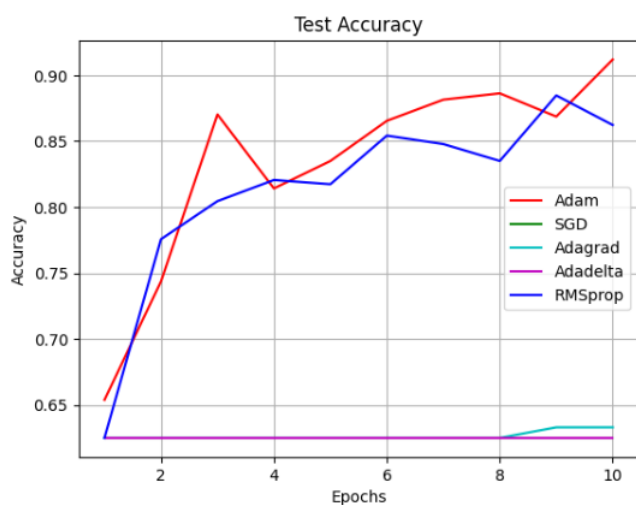


Рис. 1. Точность при обработке тестовой выборки

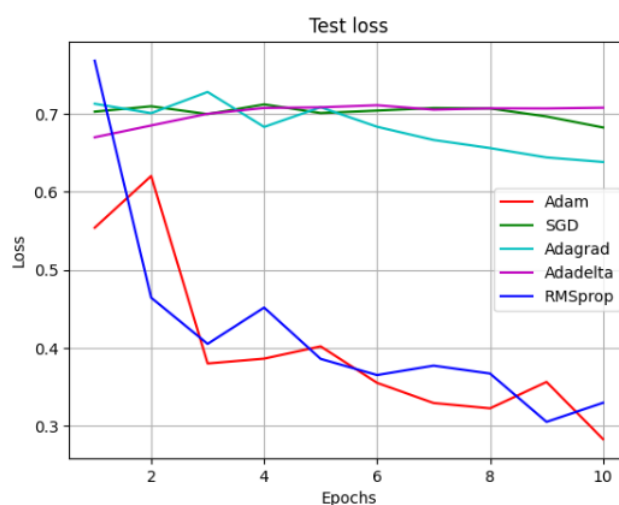


Рис. 2. Потери при обработке тестовой выборки

для дальнейшей работы с данными о больных пневмонией следует выбирать именно их.

Список источников

1. *Vigneshwer D.* Deep drive into SGD Optimizer. URL: <https://dvigneshwer.github.io/posts/2016/04/SGD-intro/> (дата обращения: 15.11.2023).
2. *Jais I., Ismail A., Nisa S.* Adam Optimization Algorithm for Wide and Deep Neural Network. Knowledge Engineering and Data Science (KEDS) pISSN 2597–4602. 2019. Vol 2. N 1. P. 41–46 eISSN 2597–4637.
3. *Zeiler M.* (2012). ADADELTA: an adaptive learning rate method. arXiv preprint arXiv:1212.5701. URL: <https://arxiv.org/abs/1212.5701> (дата обращения: 15.11.2023).
4. *Nilsson A.* Understanding AdaDelta: An Adaptive Learning Rate Optimization Algorithm. URL: <https://iq.opengenus.org/adadelta/> (дата обращения: 15.11.2023).
5. *Oppermann A.* Optimization in Deep Learning: AdaGrad, RMSProp, ADAM. URL: <https://artemoppermann.com/optimization-in-deep-learning-adagrad-rmsprop-adam/> (дата обращения: 15.11.2023).
6. *Mooney P.* Chest X-Ray Images (Pneumonia). URL: <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia/data> (дата обращения: 10.11.2023).

УДК 004.83

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-64-67

Т. М. Татарникова*

доктор технических наук, профессор

А. С. Раскопина*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Медицинская диагностика является важным этапом в области здравоохранения, который помогает врачам определить наличие и характер болезни. От данного этапа зависит жизнь пациента, ведь неправильно поставленный диагноз может привести к непоправимым последствиям.

С развитием нейронных сетей открываются новые эффективные решения в области медицинской диагностики. Нейросети – это компьютерные модели, способные обучаться на основе больших объемов данных и принимать решения аналогично человеческому мозгу.

На данный момент нейронные сети применяются в различных задачах медицинской диагностики: от обнаружения рака до диагностирования неврологических заболеваний. Уровень точности и надежности, достигнутый нейронными сетями, позволяет снизить риск ложных срабатываний и ошибок диагностики.

Проводится обзор недостатков и преимуществ использования нейронных сетей в медицинской диагностике, приведены успешные примеры внедрения нейронных сетей в больницах для выявления и классификации болезней как в России, так и за рубежом. Также будут приведены преимущества и недостатки применения нейронных сетей в медицинской диагностике [1].

Ключевые слова: нейронные сети, машинное обучение, диагностика, медицина.

T. M. Tatarnikova*

Dr. Sc. Tech., Professor

A. S. Raskopina*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN MEDICAL DIAGNOSTICS

Medical diagnostics is an important stage in the field of healthcare, which helps doctors determine the presence and nature of the disease. The patient's life depends on this stage, because an incorrectly diagnosed diagnosis can lead to irreparable consequences.

With the development of neural networks, new effective solutions in the field of medical diagnostics are opening up. Neural networks are computer models capable of learning from large amounts of data and making decisions similar to the human brain.

At the moment, neural networks are used in various tasks of medical diagnostics: from cancer detection to the diagnosis of neurological diseases. The level of accuracy and reliability achieved by neural networks reduces the risk of false positives and diagnostic errors.

This article reviews the disadvantages and advantages of using neural networks in medical diagnostics, and also provides successful examples of the introduction of neural networks in hospitals for the detection and classification of diseases, both in Russia and abroad. Also in this paper, the advantages and disadvantages of using neural networks in medical diagnostics will be presented [1].

Keywords: neural networks, machine learning, diagnostics, medicine.

Нейронные сети и их преимущества в медицинской диагностике

Нейронные сети – это компьютерные модели, разработанные для имитации работы человеческого мозга. Нейросети предлагают несколько преимуществ в медицинской диагностике, а именно могут:

– анализировать и учиться на основе большого количества медицинских данных, что по-

зволяет им улучшать свою производительность и точность с течением времени;

– автоматизировать медицинскую диагностику, ускоряя и упрощая ее для врачей и медицинских сотрудников, что в дальнейшем сокращает время, которое затрачивается на диагностику;

– обнаруживать связи, которые могут быть трудно различимы вручную, что может улучшить точность диагноза;

- анализировать индивидуальные медицинские данные и предлагать индивидуальный подход к диагнозу и лечению;

- обнаружить заболевания, когда симптомы не всегда очевидны и болезнь находится на ранней стадии. Это может улучшить прогноз и эффективность лечения;

- помочь медицинским специалистам принять решение о диагнозе или лечении, предоставляя дополнительную информацию.

Применение нейросетей в медицинской диагностике дает возможности для развития и создания новых методов диагностики и лечения. Бывают случаи, когда точность нейронных сетей выше, чем у человека, что может сделать их решением для повышения эффективности диагностики [2].

Недостатки применения нейросетей в медицинской диагностике

Существуют у данного метода и недостатки, которые нужно также учитывать, например:

- обучение нейросетей требует большого количества данных для достижения точности и надежности, что может быть затруднительно, особенно когда дело касается редких заболеваний;

- нейросети сложно интерпретировать, и их выводы могут быть непредсказуемыми;

- существует риск сбоев и ошибок при использовании нейросетей в качестве инструмента для принятия решений в критических ситуациях, что может привести к летальному исходу;

- на данный момент нейросети не могут заменить человека и являются только инструментом поддержки принятия решений;

- нейросети могут столкнуться с ситуацией, когда результаты обследований неоднозначные, поэтому в таких случаях их использование может иметь ограничения в предсказательной точности.

Все эти недостатки существенны, что дает понять, что нейросети пока не готовы полностью заменить медицинских сотрудников, но могут стать отличными помощниками для врачей. Даже имея хорошо обученные нейронные сети, нужно быть осторожными с поставленным диагнозом, ведь на кону стоит жизнь человека [3].

Примеры применений нейронных в медицинской диагностике

Применение нейронных сетей в медицинской диагностике уже демонстрирует потенциал этой технологии. Например, нейронные сети успешно используются для обнаружения ран-

них стадий рака путем анализа медицинских изображений, таких как рентгены, маммограммы и снимки МРТ, что способствует раннему выявлению рака и назначению соответствующего лечения. Также по образцам содержащих информацию о пищеварительной системе, тканях почек, печени и тканях рака молочной железы несколько ученых создали свою эффективную модель раннего диагностирования рака.

Они объединили нейросетевые подходы с алгоритмами оптимизации, такими как PSO, чтобы еще больше повысить точность диагностирования и внедрили оригинальную архитектуру CNN-NPR, которая учитывает данные об экспрессии генов высокой размерности и предсказывает тип рака, принимая во внимание ткань происхождения. Предложенная методология, которая имела значительно упрощенную структуру CNN-NPR и меньшее влияние происхождения ткани, чем в ранее опубликованных исследованиях, имела точность прогнозирования 94 %. Это позволяет использовать модель CNN-NPR для выявления раковых сигналов для каждого типа рака с целью дальнейшего уточнения, ведущего к получению маркеров для более ранней идентификации рака [4].

Еще один пример – использование нейронных сетей для диагностирования неврологических заболеваний, таких как болезнь Паркинсона и болезнь Альцгеймера, путем анализа ритма движений или паттернов речи для определения характерных признаков этих заболеваний. Также определить раннюю стадию Альцгеймера можно используя МРТ мозга. Например, группой ученых была внедрена ранняя диагностика на основе двух моделей, основанных на CNN. Они использовали снимки МРТ, полученные из базы данных ADNI. Экспериментальные результаты показывают, что фреймворк, основанный на CNN, продемонстрировал наилучшую производительность с точки зрения точности классификации. Предложенный ими метод достиг точности 95,33 %, что является убедительными результатами для построения модели автоматизированных систем, используемых для раннего обнаружения Альцгеймера [5].

Нейронные сети могут быть также использованы для распознавания и классификации различных видов медицинских изображений, таких как рентгенограммы, МРТ-сканы, УЗИ и другие, что поможет врачам в определении наличия заболеваний и выборе соответствующего лечения. Кроме того, они могут прогнозировать различные заболевания на основе медицинских данных, а также оценивать риск развития диабета и гипертонии, предсказывать реакцию па-

циентов на лекарства и помогать в диагностике редких и сложных заболеваний.

Уже существуют нейросети, которые диагностируют риск сердечных заболеваний. Так, студент Северного федерального университета имени М. В. Ломоносова разработал нейронную сеть, а также подобрал оптимальные гиперпараметры и архитектуру, позволяющие диагностировать наличие сердечных заболеваний по ряду анализов с 90 % точностью [6].

Также нейронные сети могут использоваться для мониторинга состояния пациента на основе различных параметров, таких как частота сердечных сокращений и давление, предупреждая врачей о возможных изменениях и осложнениях в состоянии пациента. Они также могут помочь в анализе рентгеновских снимков и сканнограмм и даже предоставить помощь в операциях и хирургическом планировании [7].

Будущие перспективы применения нейросетей в медицинской диагностике

Прогресс в области использования нейросетей в медицинской диагностике уже имеет место, и некоторые приложения уже применяются в практике. Однако для полного внедрения и широкого использования нейросетей в медицинской диагностике потребуется дополнительное время и исследования.

Нейросети требуют большого объема данных и обучения для достижения высокой точности. В медицинской сфере существуют особые требования к точности и надежности систем диагностики, поэтому необходимо продолжать исследования и проводить большие масштабные исследования, прежде чем нейросети могут быть полностью интегрированы в медицинскую практику.

Однако с постоянным развитием и прогрессом в области искусственного интеллекта и машинного обучения, ожидается, что применение нейросетей в медицинской диагностике будет продолжать расти и совершенствоваться со временем.

Приведем некоторые примеры больниц, где применяют нейросети в медицинской диагностике.

1. Королевская больница Аделаиды (Royal Adelaide Hospital, Австралия): Здесь нейросети применяются для распознавания рака груди на основе маммографических изображений и для диагностики других онкологических заболеваний.

2. Университетская клиника Хейдельберга (Heidelberg University Hospital, Германия): У них было успешное исследование применения ней-

росетей для распознавания генетических вариантов, связанных с болезнью Альцгеймера.

3. Генеральная больница Торонто (Toronto General Hospital, Канада): Здесь применяются нейросети для прогнозирования рисков после хирургических вмешательств и анализа медицинских изображений, таких как КТ и МРТ.

Это лишь некоторые примеры, и использование нейросетей в медицинской диагностике распространено во многих других больницах по всему миру.

В России также есть больницы, где применяются нейросети в медицинской диагностике.

1. Национальный медицинский исследовательский центр имени Н. И. Пирогова. В этом медицинском центре используются нейросети для диагностики различных заболеваний, включая рак, на основе медицинских изображений.

2. Городская клиническая больница № 52 имени Н. А. Семашко: Здесь применяются нейросети для автоматического анализа ЭКГ и других кардиологических данных.

3. ГБУЗ «Краевая больница г. Томска». В этой больнице нейросети используются для анализа МРТ-изображений и диагностики онкологических заболеваний.

4. ФГБУ «НМИЦ неврологии и нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко». В рамках исследований и клинических испытаний в этом медицинском центре применяются нейросети для анализа нейроимиджинговых данных и диагностики неврологических заболеваний.

5. ФГБУЗ «Московский научно-практический центр детской онкологии, гематологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева». В этом центре нейросети используются для анализа медицинских изображений и диагностики онкологических заболеваний у детей.

6. ГБУЗ «Московская городская больница № 52». Здесь применяются нейросети для автоматического анализа рентгеновских снимков и диагностики различных заболеваний.

Это лишь некоторые примеры больниц. Нейросети в медицинской диагностике активно развиваются, и их применение становится все более распространенным [8].

Заключение

Использование нейронных сетей в медицине открывает новые горизонты в диагностировании болезней у пациентов. Эта технология позволяет проводить более точные анализы медицинских данных, обнаруживать признаки болезней на ранних стадиях, что увеличивает эффективность лечения пациента.

Однако использование нейронных сетей в данной сфере также имеет ряд недостатков и использование данной технологии не подразумевает диагностирования болезней без осмотра у медицинских сотрудников.

Тем не менее с учетом дальнейших исследований и технологического развития, нейронные сети могут стать мощным инструментом для помощи врачам в диагностировании болезней на ранних стадиях.

Список источников

1. *Roach J.* Neural Networks – An Artificial Intelligence Approach to the Analysis of Clinical Data. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine, 12 100-106 (1989).
2. *Kadhim Q., Shayeя A.* Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis // International Journal of Computer Science Issues. 2011. Vol. 8. Issue 2.
3. *Bounds D., Lloyd P.* A Comparison of Neural Network and Other Pattern Recognition Approaches to the Diagnosis of Low Back Disorders. Neural Networks, 1990.
4. *Gangurde R., Jagota V.* Developing an Efficient Cancer Detection and Prediction Tool Using Convolution Neural Network Integrated with Neural Pattern Recognition // BioMed Research International. 2023. 11 p.
5. *Mehmood A., Abugabah A.* Early Diagnosis of Alzheimer's Disease Based on Convolutional Neural Networks // Computer Systems Science & Engineering. 2022.
6. *Рашитов Т. Ф.* Использование нейронных сетей для определения наличия сердечных заболеваний // Синергия наук. 2018. № 20. С.293–299.
7. *Musienko Y.* How neural networks can be used in health industry: 10 use cases. URL: <https://merehead.com/blog/neural-networks-health-industry-cases/> (дата обращения: 08.11.2023).
8. The National Library of Medicine (NLM). URL: <https://www.nlm.nih.gov/> (дата обращения: 08.11.2023).

УДК 623.98

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-68-71

С. Г. Толмачев*

кандидат технических наук, доцент

К. В. Лапшин*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВЫБОР МЕТРИКИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ИХ ПРИЗНАКОВ

Рассматривается задача распознавания реальных и ложных надводных объектов в информационных радиоэлектронных средствах освещения надводной обстановки. Обсуждаются вопросы распознавания названных объектов в пространстве признаков с использованием метрик различного типа.

Ключевые слова: классификация, информативные признаки, метрика, расстояние.

S. G. Tolmachev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

K. V. Lapshin*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

THE METRIC CHOICE IN THE PROBLEM OF RECOGNIZING SURFACE OBJECTS IN THE SPACE OF THEIR FEATURES

The problem of recognition of real and false surface objects in information radio-electronic means of illumination of the surface situation is considered. The issues of recognition of named objects in the feature space using metrics of various types are discussed.

Keywords: classification, informative features, metric, distance.

Задача распознавания надводных объектов

Одними из ключевых задач, возложенных на радиоэлектронные средства (РЭС) освещения надводной обстановки (ОНО), являются задачи обнаружения и распознавания надводных объектов (НО) на фоне естественных и искусственных помех. Нахождение надежного способа распознавания НО остается одной из актуальных проблем, связанных с повышением помехозащищенности РЭС. Использование для этого известных признаков для различения судов и кораблей, относящихся к разным классам, связано с рядом трудностей, вызванных наличием объектов, имитирующих параметры, близкие к параметрам реальных судов и кораблей. Систематизированное изложение вопросов использования признаков НО для их различения содержится в [1].

Алгоритм распознавания НО [1]. предусматривает реализацию обзора области пространства РЭС освещения обстановки, обработку полученной информации и принятие решения по

результатам частных проверок полученных признаков о принадлежности каждого обнаруженного НО к известным типам ложных или реальных объектов. Алгоритм принятия комплексного решения основан на логическом анализе значимости и применимости отличительных признаков в конкретных условиях работы. В результате выполнения алгоритма каждый НО получает признак принадлежности к одному из известных классов или признается неопределенным.

К основным типам пассивных радиолокационных ложных объектов (ЛО) относятся [1]:

– дипольные облака (ДО);

– уголкового отражатели (УО) разных видов – надувные и на плавучестях, одиночные и в составе связок, низкие, приподнятые и т. д.

В зависимости от условий приема сигналов от обнаруженных объектов перечень доступных для анализа признаков НО может изменяться. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность принятия решения о принадлежности обнаруженного НО к одному из известных классов на основе анализа всей совокупности

сти доступных признаков, полученных в процессе обзора пространства. Эта процедура может быть применена в том случае, когда основной алгоритм не может однозначно классифицировать обнаруженный объект.

Формирование исходных данных на основе априорной информации

Основная сложность построения эффективных алгоритмов распознавания НО связана с отсутствием достаточного объема достоверных статистических данных о параметрах применяемых ЛО. На основании имеющихся экспериментальных и расчетных данных формируется математическая модель распределения признаков реальных и ложных объектов для различных условий наблюдения.

В рамках модели выделены основные информативные признаки радиолокационных сигналов, характеризующих наблюдаемые НО. Их можно разделить на группу первичных параметров сигналов на выходе приемных устройств и вторичных признаков, полученных в результате обработки принятых сигналов на временном интервале.

К первой группе относятся энергетические и временные признаки:

- P_c энергия сигнала на выходе приемного устройства характеризует размеры объекта и его отражательные свойства. Большой сигнал, полученный на значительной дальности может свидетельствовать о наличии помехи;

- T_i длительность импульса принятого сигнала характеризует протяженность объекта в направлении линии визирования. Она не может превышать длину самой большого судна. УО фактически представляет точечный объект, а ДО, как правило, имеет значительную протяженность;

- D дальность до объекта (временная задержка отраженного сигнала).

Ко второй группе относятся расчетные признаки:

- At крутизна (скорость нарастания) сигнала во времени. Зависимость изменения энергии отраженного от объекта сигнала находится в обратном в отношении в четвертой степени от дистанции до него. Квадратичная зависимость энергии принятого сигнала о дистанции свидетельствует о наличии помехи;

- Fa флуктуации энергии принятого сигнала по отношению к его среднему значению

- Rsn отношение сигнал/шум принятого сигнала на выходе фазового детектора различаются у разных типов ЛЦ;

- Ff частота флуктуаций амплитуды принятого сигнала. Для кораблей и судов эта величина определяется частотой их качки. Для ДО этот признак имеет на порядок большее значение;

- Vr радиальная скорость НО. Она имеет понятные ограничения для реальных объектов. Малая скорость перемещения служит дополнительным признаком ДО, т. к. определяется скоростью ветра;

- L линейные размеры НО. Для цели она не может превышать максимальных линейных размеров надводной цели;

- Hv высота центра отражения принятого сигнала над уровнем моря служит отличительным признаком ДО. Для других видов ЛЦ и реальных целей этот признак имеет значение в пределах нескольких метров.

Значения признаков обнаруженного НО полученные РЭС ОНО образуют его векторный портрет. В результате сравнения этого портрета с эталоном класса НО вычисляется мера близости объекта к этому классу.

Способы сравнения векторных представлений НО

Математические понятия метрического пространства, меры и расстояния используются в различных сферах науки и техники. Существует большое количество мер для вычисления близости объектов в метрическом пространстве. Эффективность использования тех или иных мер близости определяется особенностями решаемой задачи и зависит от вида функциональной зависимости сравниваемых сигналов. Например, в [2], исследуются основные меры сходства, применяемые в задачах классификации объектов. Параметры эталонного вектора для каждого класса задаются значениями математического ожидания каждого признака данного класса.

Метрика вводит функцию вычисления расстояния $d(x,y)$ между точками x и y в этом пространстве, для которой должны выполняться условия:

- $d(x,y) = d(x,y)$ (симметричность расстояния);

- $d(x,z) + d(z,y) \geq d(x,y)$ (правило треугольника);

- $d(x,y) \geq 0$, причем $d(x,y) = 0$ только если $x = y$ (положительность расстояния).

Были рассмотрены наиболее характерные виды расстояний: Евклидово расстояние, расстояние Манхэттена, расстояние формы Пенроуза, расстояние Махаланобиса (статистическое расстояние), косинусное расстояние [3]. В табл. 1 приведены их формульные выражения для вычисления расстояния между двумя

объектами, представленными ненулевыми векторами признаков $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_n\}$ и $\mathbf{y} = \{y_1, \dots, y_n\}$ из R^n . В таблице используется следующее обозначение среднего значения компонент \mathbf{x} :

$$\bar{x} = \sum_i^n x_i / n.$$

При вычислении косинусного расстояния между векторами \mathbf{x} , \mathbf{y} значение угла α_{xy} зависит от выбора точки начала координат признакового пространства. Если признаки распознаваемых объектов принимают положительные значения, а за начало координат пространства признаков выбраны их нулевые значения, то угол между векторами \mathbf{x} , \mathbf{y} принимает значение в диапазоне $[0^\circ, 90^\circ]$. Если в качестве начала координат пространства признаков выбраны средние значения признаков $m_i = (x_{i\max} - x_{i\min})$,

то диапазон возможных значений углов между векторами \mathbf{x} , \mathbf{y} увеличиться до $[0^\circ, 180^\circ]$. На рис. 1 приведен пример косинусного расстояния между двумя двумерными векторами.

Расстояние Махаланобиса учитывает априорные статистические характеристики распределения признаков класса: вектор их средних значений \mathbf{m} и ковариационная матрица \mathbf{C} . Вектора средних значений \mathbf{m} и дисперсий \mathbf{D} для каждого класса априорно известны. Коэффициенты ковариации C_{ij} i -го и j -го признаков в нашей задаче априорно неизвестны. Поэтому в формуле вычисления расстояния Махаланобиса ковариационная матрица заменяется на диагональную матрицу дисперсий \mathbf{D} (рис. 2).

Математическое моделирование проводилось в предположении, что классификатор объектов имеет вид, представленный табл. 2.

Таблица 1

Расстояние	Формульное выражение
Евклидово расстояние	$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$
расстояние Манхэттена	$\sum_{i=1}^n x_i - y_i $
расстояние формы Пенроуза	$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})^2}$
расстояние Махаланобиса	$\sqrt{(\mathbf{x} - \mathbf{y})\mathbf{C}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{y})^T}$, где \mathbf{C} – ковариационная матрица
косинусное расстояние	$1 - \cos\phi$, где $\cos\phi = \langle \mathbf{x}, \mathbf{y} \rangle / \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2} \right)$, $\langle \mathbf{x}, \mathbf{y} \rangle$ – скалярное произведение векторов \mathbf{x} и \mathbf{y}

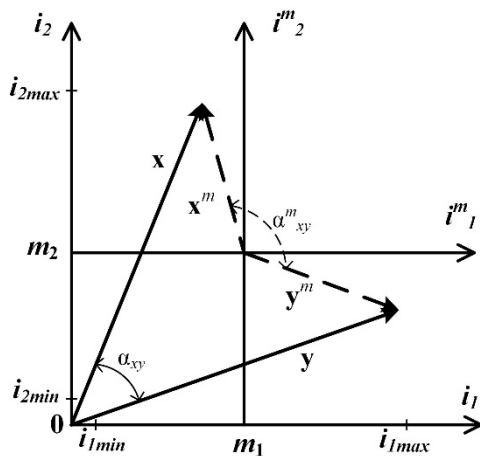


Рис. 1. Косинусное расстояние

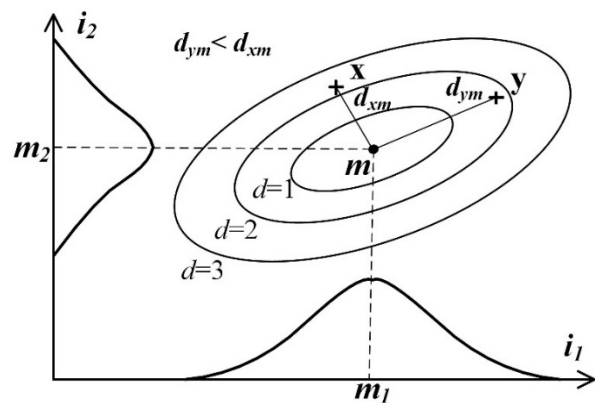


Рис. 2. Расстояние Махаланобиса

Таблица 2

Номер класса	Тип объекта
1	НО большой или средний
2	НО малый
3	УО
4	ДО

Нормированные значения классовых признаков, принятых в качестве исходных данных при моделировании алгоритмов распознавания приведены в табл. 3.

Сравнительный анализ способов вычисления мер различия позволяет отдать предпочтение косинусному расстоянию, поскольку его шкала измерений имеет в 1,5 раза больший диапазон по сравнению с мерами, приведенными в табл. 1.

Для проверки правильности результатов классификации используется тестовая выборка, в которой представлены образцы объектов каждого класса. Для каждого образца вычисляется мера различия между его вектором признаков и всеми эталонными векторами признаков классов. Принадлежность образца к классу определяется по наименьшему значению этой меры. Анализ результатов моделирования по-

Таблица 3

Номер класса		1	2	3	4
Признак					
Pc	m_1	0,352	0,231	0,351	0,308
	σ_1	0,116	0,070	0,131	0,103
At	m_2	0,597	0,596	0,605	0,635
	σ_2	0,107	0,118	0,113	0,100
Fa	m_3	0,499	0,481	0,474	0,165
	σ_3	0,236	0,221	0,222	0,025
Rsn	m_4	0,559	0,581	0,487	0,498
	σ_4	0,082	0,086	0,167	0,200
Ti	m_5	0,346	0,253	0,148	0,749
	σ_5	0,115	0,066	0,079	0,136
D	m_6	0,253	0,233	0,271	0,304
	σ_6	0,160	0,143	0,172	0,203
Vr	m_7	0,629	0,653	0,608	0,250
	σ_7	0,110	0,096	0,115	0,043
L	m_8	0,323	0,108	0,088	0,642
	σ_8	0,050	0,012	0,062	0,128
Hv	m_9	0,128	0,043	0,004	0,706
	σ_9	0,019	0,006	0,001	0,154
Ff	m_{11}	0,07	0,07	0,000	0,720
	σ_{11}	0,010	0,010	0,000	0,130

Таблица 4

Эталонные образцы \	1	2	4	5
1	0,287	0,519	1,004	1,026
2	0,541	0,291	0,827	1,357
4	0,932	0,726	0,175	1,395
5	1,178	1,432	1,444	0,065

казывает, что каждый образец тестовой выборки правильно классифицируется при использовании косинусного расстояния. В табл. 4 приведены средние значения косинусного расстояния d_{cos} между векторами признаков образцов из тестовой выборки и эталонными векторами признаков каждого класса.

При этом значения элементов таблицы, не лежащих на главной диагонали, показывают значительное отличие образцов тестовой выборки от эталонов других классов. Значения d_{cos} для «своего» класса, в среднем, в 4 раза отличаются от аналогичных значений для «чужих» классов. При использовании аналогов Евклидова расстояния в качестве меры близости образца к эталону класса значения d_E для «своего» класса отличаются от аналогичных значений для «чужих» классов, в среднем, только в два раза для той же тестовой выборки.

Заключение

Для распознавания НО по признакам, выделяемым из сигналов РЭС ОНО, целесообразно применять классификатор, решающие правила которого используют «геометрический» метод вычисления меры близости векторов объектов в признаковом пространстве. В качестве меры близости объектов использование косинусного расстояния между векторами признаков имеет предпочтение перед аналогами Евклидова расстояния за счет большего различия значений этой меры для разных классов.

Список источников

1. Бредун И. Л., Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф. Пути повышения эффективности перспективных бортовых РЛС ПКР в условиях сложного радиоэлектронного противодействия. СПб., 2016.
2. Лепский А. Е., Броневиц А. Г. Математические методы распознавания образов. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. 154 с.
3. Деза Е. И., Деза М. М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука, 2008.

УДК 004.6, 004.912

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-72-78

Е. Л. Турнецкая*

кандидат технических наук, доцент

В. В. Пономаренко*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВАКАНСИЙ В ИТ-СФЕРЕ

Представлен подход к созданию рекомендательной системы вакансий в ИТ-сфере. Рассмотрены этапы разработки, начиная со сбора данных до предоставления рекомендаций. Продемонстрирована предобработка данных, включая удаление специальных символов и стоп-слов. Проведены лемматизация слов и векторизация текста с использованием метода TF-IDF для последующего создания рекомендаций на основе косинусного сходства между описанием вакансий и навыками соискателя. На основании описанных способов манипулирования данными разработана рекомендательная система, с помощью которой подбирают оптимальный спектр вакансий по навыкам, указанным соискателем.

Ключевые слова: рекомендательная система, рекомендация вакансий, лемматизация, векторизация, TF-IDF, косинусное сходство.

E. L. Turnetskaya*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

V. V. Ponomarenko*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF A JOB RECOMMENDATION SYSTEM IN THE IT SPHERE

This article presents an approach to creating a job recommendation system in the IT sector. The development stages are discussed, starting from data collection to providing recommendations. The data preprocessing steps are demonstrated, including the removal of special characters and stop words. Word lemmatization and text vectorization using the TF-IDF method are performed for generating recommendations based on cosine similarity between job descriptions and applicant skills. Based on the described data manipulation methods, a recommendation system is developed to match the optimal range of job positions based on the skills provided by the applicant.

Keywords: recommendation system, job recommendation, lemmatization, vectorization, TF-IDF, cosine similarity.

В современном динамичном мире информационных технологий (ИТ) сфера подбора персонала и поиска работы стала более сложной и разнообразной, чем когда-либо. Индустрия ИТ предлагает разнообразные карьерные возможности, от разработчиков программного обеспечения и системных администраторов до аналитиков данных и специалистов по искусственному интеллекту. В таком многообразии важно, чтобы как соискатели, так и работодатели могли быстро и эффективно найти оптимальные сопоставления между профессиональными навыками, интересами и доступными вакансиями.

В данной статье будет рассмотрена разработка рекомендательной системы, предназначенной для решения двух важных проблем в области ИТ-рекрутинга: во-первых, помощь соис-

кателям в определении того, какие должности наилучшим образом подходят к их навыкам и амбициям, а во-вторых, упрощение и оптимизация процесса поиска работы в ИТ-секторе. Эти проблемы требуют комплексного и технологически продвинутого решения, которое позволит легко соотнести кандидатов и вакансии, увеличивая эффективность подбора персонала, а также снижая стресс и затраты времени как для соискателей, так и для работодателей.

Понятие рекомендательной системы и ее виды

Рекомендательные системы представляют собой программные инструменты, которые предлагают пользователям персонализирован-

ные рекомендации о товарах, услугах, контенте или других объектах на основе их предпочтений и поведения [1].

Рекомендательные системы играют важную роль в различных областях, включая электронную коммерцию, социальные сети, потоковые видео и музыку, онлайн-публикации и многое другое. Они помогают пользователям найти интересные продукты, контент, новости и прочее, снижая информационный шум и упрощая принятие решений.

Существует несколько видов рекомендательных систем, каждый из которых использует различные методы и подходы для предоставления рекомендаций [1]–[3].

Рекомендация, основанная на контенте (content-based)

Рекомендация, основанная на контенте – это один из методов рекомендательных систем, который использует информацию о содержании элементов (таких, как фильмы, книги, продукты и т. д.) для создания рекомендаций. Этот метод анализирует характеристики и свойства элементов, чтобы найти соответствия. Например, для рекомендации фильма можно анализировать жанр, актеров, режиссера, рейтинги и другие характеристики фильма.

Коллаборативная рекомендация (collaborative)

Коллаборативная рекомендация – это метод рекомендательных систем, который опирается на собранные данные о предпочтениях пользователей. Суть метода заключается в том, чтобы найти схожие пользователи или элементы и предложить пользователям элементы, которые понравились другим пользователям с похожими предпочтениями.

Рекомендация, основанная на знаниях (knowledge-based)

Фильтрация, основанная на знаниях – это метод, который использует знания о предметной области для классификации и оценки данных. Этот подход основан на использовании экспертных для формирования рекомендаций.

Гибридные рекомендательные системы (hybrid)

Гибридные рекомендательные системы объединяют различные методы рекомендаций, чтобы повысить качество рекомендаций. Эти системы могут быть построены на основе комбинации разных методов, чтобы учесть их преимущества и уменьшить недостатки. Поэтому гибридные системы являются сложными и тре-

бую более продвинутых методов машинного обучения, но могут предоставлять более точные и удовлетворительные рекомендации, чем каждый из отдельных методов.

Этапы создания рекомендательной системы вакансий

Для создания рекомендательной системы IT-вакансий была выбрана рекомендательная система, основанная на контенте, поскольку она лучше всего подходит для рекомендаций без учета оценок и предпочтений пользователей.

Создание рекомендательной системы вакансий на основе описания работы также включает в себя ряд этапов. Эта система будет рекомендовать вакансии на основе сходства между описанием вакансии и описанием работы, которая предоставляется пользователем.

Вот этапы этого процесса:

- 1) сбор и подготовка данных;
- 2) предобработка данных;
- 3) секторизация текста;
- 4) создание рекомендаций.

Сбор и подготовка данных

Первым делом необходимо подготовить данные, на основе которых и будут создаваться рекомендации. Для этого следует определиться с источником данных: это могут быть веб-сайты вакансий (например, hh.ru, superjob.ru), с которых данные будут взяты с помощью API или скрэпинга, или уже готовые данные, заранее собранные в датасет.

Затем следует проанализировать данные на наличие дубликатов и пустых значений, чтобы решить какие данные оставить, а какие удалить.

После успешного сбора и подготовки данных можно приступать к следующему шагу.

Предобработка данных

На этом этапе описания вакансий приводятся к нижнему регистру, удаляются ненужные слова (стоп-слова), которые зашумляют текст, а также специальные символы, которые не являются столь же ценными, как буквы. В завершении этапа, слова подвергаются стеммингу или лемматизации.

Лемматизация и стемминг – это два метода обработки текста, используемых в области обработки естественного языка (NLP) для сокращения слов до их базовых форм. Эти методы помогают уменьшить разнообразие словоформ в тексте и упростить последующую обработку [1]–[4].

Стемминг – это процесс обрезания слова с целью удаления его аффиксов (приставок,

окончаний) и получения «основы» слова. Это более простой метод, чем лемматизация, и не всегда приводит слова к их действительным базовым формам, но обычно использует эвристики и правила для усечения слов. Результат стемминга может быть менее читаемым и менее точным, чем результат лемматизации. Например, слово может быть сокращено до «бег». Однако стемминг может также порождать менее интуитивные результаты, например, «лучший» может быть обрезан до «лучш», что не всегда соответствует базовой форме этого слова.

Стемминг обычно быстрее, чем лемматизация, и может использоваться в случаях, когда скорость обработки текста имеет большое значение.

Лемматизация – это процесс приведения слова к его базовой форме, называемой «леммой». Лемма – это слово, которое представляет собой словарную форму слова и охватывает все его грамматические вариации. Лемматизация учитывает грамматические характеристики слова и пытается привести его к нормальной форме. Например:

«бежал», «бежит», «бежит» -> «бежать»
 «мышей», «мышкой» -> «мышь»
 «лучший», «лучшего» -> «лучший»

Лемматизация более сложный процесс, чем стемминг, и требует доступа к словарю словоформ для эффективной работы.

Векторизация текста

Текстовое представление данных является понятным для человека, но для успешного анализа описаний вакансий и создания рекомендаций, необходимо преобразовать текстовые данные в числовой формат понятный машине. Такое преобразование называется векторизацией. Существует несколько методов векторизации текста, но наиболее популярными являются TF-IDF или Word2Vec [2]–[4].

TF-IDF основывается на статистических свойствах текстового набора и оценивает важность слова в контексте отдельного документа и всего корпуса документов. Не требует обучения на больших объемах текста; его можно применять непосредственно к предоставленному текстовому набору.

Word2Vec и стремится представить слова в виде векторов фиксированной размерности так, чтобы семантически близкие слова имели близкие векторные представления. Требуется обучения на больших объемах текста для того, чтобы изучить семантические отношения между словами.

В нашем случае, метод TF-IDF больше подходит, поскольку занимает меньше времени на

обучение и не нуждается в больших объемах текста для успешной работы.

Создание рекомендаций

Для создания рекомендаций необходимо определить меру сходства вектора описания вакансии и вектора навыков соискателя. Наиболее популярной метрикой для определения подобия векторов, является косинусное сходство, поскольку оно дает наиболее быстрые и точные результаты по сравнению с другими метриками [2].

Косинусное сходство является одним из методов измерения сходства между двумя векторами в многомерном пространстве. Если даны два вектора признаков, A и B, то косинусное сходство, $\cos(\theta)$, может быть представлено используя скалярное произведение и норму [5], [6]:

$$\text{similarity} = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{|A||B|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}}$$

Одна из причин популярности косинусного сходства состоит в том, что оно эффективно в качестве оценочной меры, особенно для разреженных векторов, так как необходимо учитывать только ненулевые измерения.

Для создания рекомендаций используется косинусное сходство между векторизованными навыками пользователя и описаниями вакансий.

Поскольку исходные значения векторов неотрицательны, их косинус находится в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение к 1, тем более схожими являются вектора, следовательно, тем лучше соотносится описание вакансии и навыки соискателя.

Посчитав косинусные сходства между описанием каждой вакансии и навыков соискателя, можно отсортировать полученные значения и выбрать 10 наибольших, которые и получит соискатель в качестве рекомендации.

Практическое применение

В качестве источника данных для рекомендательной системы был взят готовый датасет с платформы Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/vyacheslavpantelev1/hhru-it-vacancies-from-20211025-to-20211202>).

Набор данных состоит из IT-вакансий, взятых с сайта hh.ru для Москвы и Санкт-Петербурга (с 2021-10-25 по 2021-12-02) и содержит 15 столбцов:

- Ids – код вакансии

- Employer – название компании, предлагающей работу
- Name – название позиции
- Salary – факт наличия зарплаты в вакансии (Есть/Нет)
- From – минимальная ставка заработной платы
- To – максимальная ставка заработной платы
- Experience – опыт
- Schedule – график
- Keys – ключевые навыки
- Description – подробное описание вакансии
- Area – город
- Professional role – профессиональное звание
- Specialization – специализация

- Profarea name – профессиональная зона
 - Published at – дата публикации вакансии
- Исходный набор данных был преобразован к типу DataFrame библиотеки Pandas.

Изначально датасет содержал дублирующие вакансии, для их удаления был использован метод датафрейма DataFrame.drop_duplicates(subset=['Ids'], inplace=True).

Для лучшего понимания качества данных были построены графики, изображенные на рис. 1–3.

Для создания рекомендаций по описанию вакансий достаточно лишь трех столбцов: код вакансии (Ids), название вакансии (Name) и описание вакансии (Description).

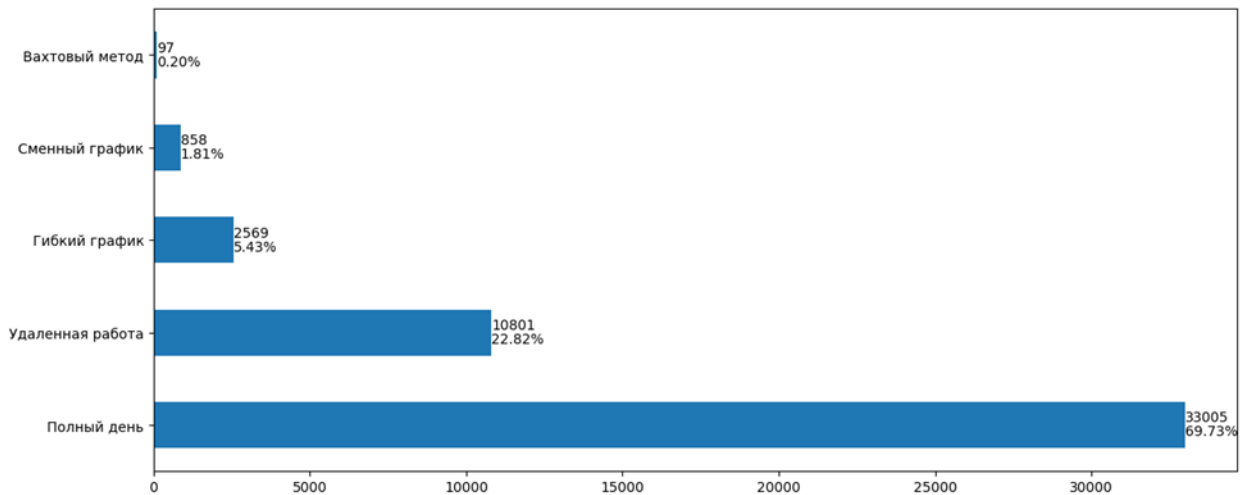


Рис. 1. Распределение графиков работы по вакансиям

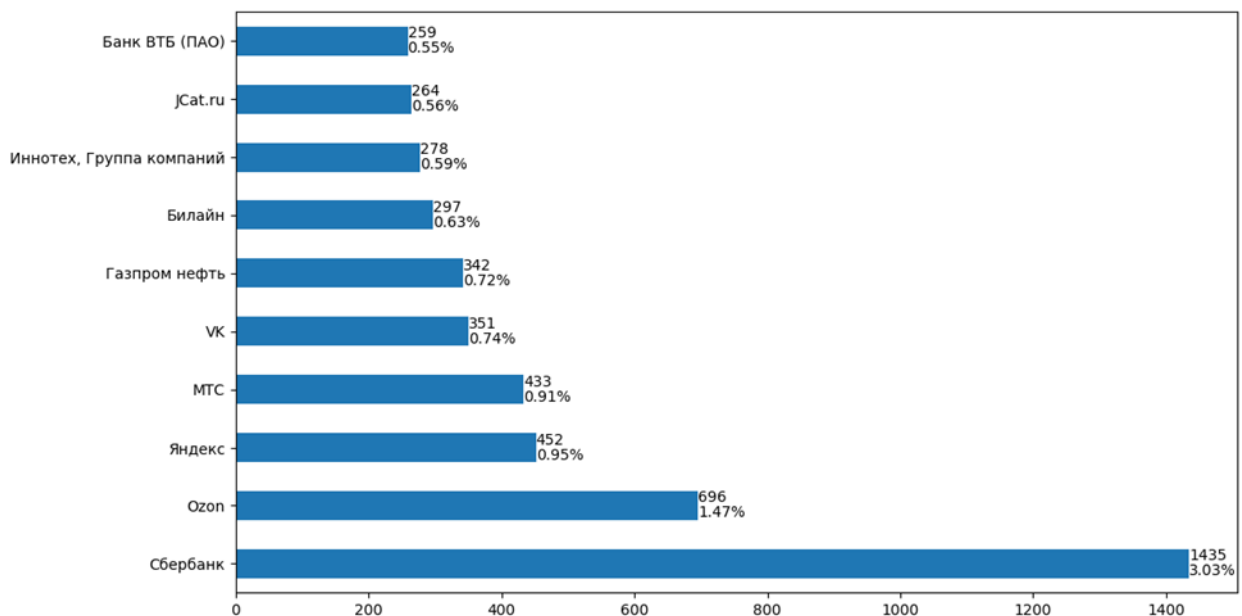


Рис. 2. Топ 10 компаний по количеству вакансий

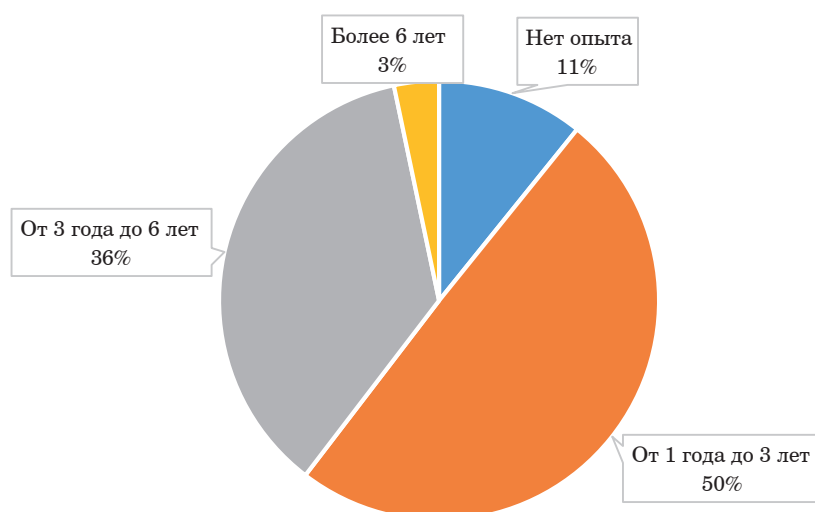


Рис. 3. Распределение вакансий по опыту работы

Поэтому был создан новый датафрейм, содержащий только эти колонки. На основе столбца с описаниями вакансий, был создан новый столбец с преобработанными описаниями (Prep_Description). Для этого каждое описание было приведено к нижнему регистру, удалены переносы строк и табуляции, затем тексты были очищены от ненужных символов и знаков препинания, после чего были удалены стоп-слова и произведена лемматизация оставшихся слов.

Пример преобработки текста изображен на рис. 4.

В результате датафрейм принял следующий вид (табл. 1):

На следующем этапе преобработанные тексты описаний вакансий и навыков соискателя векторизуются с помощью TD-IDF, после чего находится косинусное сходство между этими векторами. Вакансии с наибольшим значением косинусного сходства, выводятся в каче-

```
data.Description[0]
```

```
'Мы в Space307 разрабатываем международную торговую платформу. Каждый день у нас в онлайн 255 тысяч уникальных пользователей из 100+ стран. У нас плоская структура и нет просто исполнителей. Каждый из нас – спец в своей области, и принцип работы простой: к нам приходят с проблемой, а мы отвечаем решением. Наш проект с большим количеством фич и вся разработка ведется в кросс-функциональных командах. Мы ищем коллегу, опытного Backend-разработчика в команду Masare CRM с релокацией на Кипр. Чем предстоит заниматься: Разрабатывать и поддерживать go-сервисы команды. Принимать участие в развитии общих инструментов компании. Тюнить latency и observability, поддерживать sla на сервисы. Участвовать в переносе legacy кода с PHP на Golang;Предлагать архитектурные решения и участвовать в их обсуждениях. Участвовать в планировании и приоритизации задач;Брать ответственность за работоспособность сервисов и принимать участие в их эксплуатации. Ключевые теги проекта: GO, PHP, Kafka, RabbitMQ, Docker, ...'
```

```
preprocess_text(data.Description[0])
```

```
'space разрабатывать международный торговый платформа каждый день онлайн тысяча уникальный пользователь страна плоский структура просто исполнитель каждый спец свой область принцип работа простой мы приходит проблема отвечать решение наш проект количество фича весь разработка вестись кросс функциональный команда искать коллега опытный backend разработчик команда masare crm релокация кипр предстоять заниматься разрабатывать поддерживать go сервис команда принимать участие развитие общий инструмент компания тюнить latency observability поддерживать sla сервис участвовать перенос legacy код php golang предлагать архитектурный решение участвовать обсуждение участвовать планирование приоритизация задача брать ответственность работоспособность сервис принимать участие эксплуатация ключевой тег проект go php kafka rabbitmq docker docker compose consul service discovery redis mysql prometheus grafana elk unit testing ждать знать go обладать опыт работа знать php готовый познакомиться p...'
```

Рис. 4. Пример преобработки описания вакансии

Таблица 1

Фрагмент таблицы данных

Ids	Name	Description	Prep_Description
49313809	Golang Developer (Кипр)	Мы в Space307 разрабатываем международную торг...	space разрабатывать международный торговый пла...
48813842	E-mail маркетолог	С 2015 года наш IT блок меняет рынок автотранс...	год наш it блок менять рынок автотранспортный...
49413720	Оператор call-центра (удаленно)	Что нужно будет делать: Принимать входящие зв...	нужно делать принимать входящий звонок существ...
46460892	Ведущий SMM специалист	В данный момент мы ищем в нашу команду самого...	данный момент искать наш команда сам креативны...
49555567	UX/UI Designer	Pride Games Studio – это команда единомышленни...	pride games studio это команда единомышленник

Таблица 2

Рекомендации оп заданному набору навыков

Ids	Name	Description	Prep_Description
48438134	Data Scientist (Predict)	Задачи: 80 % – разработка моделей машинного об...	задача разработка модель машинный обучение отк...
49919663	Ведущий аналитик Data Scientist	Что вам предстоит: Разрабатывать механизмы оп...	предстоять разрабатывать механизм оптимизация...
49843936	Аналитик данных	Привет! Мы международная IT-компания Marfatech...	привет международный it компания marfatech рын...
49309067	Менеджер по продукту в Data Science, Ozon Express	Что вам предстоит: Анализировать большие дан...	предстоять анализировать больший дать строить...
49471304	Аналитик данных	Обязанности: – Автоматизация отчетности по рис...	обязанность автоматизация отчетность риск сбор...

стве рекомендаций соискателю на основе введенных навыков.

В качестве примера был введен следующий набор навыков соискателя:

«Я знаю Python, SQL, теорию вероятностей, статистику. Умею работать с Pandas, Numpy. Вывожу графики с помощью Tableau, Seaborn, Matplotlib».

После предобработки описание навыков приобрело следующий вид:

«знать python sql теория вероятность статистика уметь работать pandas numpy выводить графика помощь tableau seaborn matplotlib».

На основе поступивших навыков было выведено 5 рекомендаций (табл. 2):

Заключение

Создание рекомендательной системы вакансий на основе описания работы представляло собой сложный и многоэтапный процесс. Процесс начался с поиска и подготовки данных, где из найденного датасета с вакансиями были удалены дубликаты, вакансии на других

языках и пустые значения, чтобы получить чистые данные.

Затем следовал этап предобработки данных, на котором тексты были приведены к нижнему регистру, очищены от лишних символов и переносов, а также была выполнена лемматизация слов, чтобы снизить разнообразие словоформ и сосредоточиться на смысле текста для упрощения последующего анализа.

Далее на этапе векторизации текста текстовые данные преобразовались в числовой формат, с помощью метода TF-IDF. Это позволило компьютеру работать с текстовой информацией, опираясь на числовые признаки.

И наконец, на последнем этапе система генерировала рекомендации на основе схожести между векторами описания вакансии и пользовательскими навыками. Благодаря этому процессу соискателям предлагались вакансии, наиболее соответствующие их умениям.

В целом, создание рекомендательной системы вакансий на основе описания работы позволило оптимизировать и упростить процесс поиска работы, обеспечивая пользователям реле-

вантные рекомендации. Этот процесс требовал тщательной подготовки и анализа данных, а также использования современных методов обработки текста и векторизации.

Список источников

1. *Ricci F., Rokach L., Shapira B.* Introduction to recommender systems handbook. Springer Science & Business Media, 2015. 842 p.

2. *Jannach D., Zanker M., Felfernig A.* Recommender systems: an introduction. Cambridge University Press, 2011. 353 p.

3. *Isinkaye F., Folaajimi Y., Ojokoh B.* Recommendation systems: Principles, methods and evaluation // Egyptian Informatics Journal. 2015. 261–273 p.

4. *Akdogan A.* Word Embedding Techniques: Word2Vec and TF-IDF Explained. URL: <https://towardsdatascience.com/word-embedding-techniques-word2vec-and-tf-idf-explained-c5d02e34d08> (дата обращения: 20.11.2023).

5. *Jurafsky D., Martin J.* Speech and Language Processing. Stanford, 2023. 636 p.

УДК 004.08

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-79-82

Е. Л. Турнецкая*

кандидат технических наук, доцент

Д. В. Сапунов*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В ФИНАНСОВОЙ СФЕРЕ

Рассмотрены возможности прогрессивных веб-приложений, востребованные для применения в финансовой сфере. Показаны базовые программные технологии, библиотеки и методы, используемые для внедрения ServiceWorker: Service Worker API, Workbox, PWA Builder, Service Worker Toolbox. Представлен функционал прогрессивных веб-приложений: кеширование активов, фоновая синхронизация транзакций, push-уведомления. Показан практический пример интеграции ServiceWorker в Next.js приложение.

Ключевые слова: ServiceWorker, прогрессивные веб-приложения, PWA.

E. L. Turnetskaya*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

D. V. Sapunov*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF PROGRESSIVE WEB APPLICATIONS IN THE FINANCIAL SECTOR

The main aspects of the use of progressive web applications to ensure import independence in the financial sector are considered. The basic software technologies, libraries and methods used to implement ServiceWorker are shown: Service Worker API, Workbox, PWA Builder, Service Worker Toolbox. The functionality of progressive web applications is presented: asset caching, background transaction synchronization, push notifications. A practical example of integrating ServiceWorker into a Next.js application is shown.

Keywords: Service Worker, progressive web application, PWA.

Краткий обзор технологий

Прогрессивные веб-приложения – это динамичное и инновационное решение на стыке разработки веб- и мобильных приложений. Они построены на стеке веб-технологий и методов взаимодействия с клиентом, улучшающими пользовательский опыт и доступность веб-приложений, например, Service Workers и автономную функциональность [1].

1. *Service Workers*. Скрипты (программные модули), которые работают в фоновом режиме веб-приложения, обеспечивая такие функции, как автономная работа и push-уведомления. Они служат посредниками между веб-приложением и сетью, позволяя кешировать и перехватывать сетевые запросы для повышения контроля и производительности.

2. *Автономная функциональность*. К особенностям PWA относят их способность функ-

ционировать в автономном режиме или в условиях слабого подключения к сети. Они достигают этого эффекта с помощью эффективных стратегий кеширования, которые гарантируют, что пользователи смогут получить доступ к основным функциям даже при нестабильном или недоступном подключении к Интернету.

Применения PWA для обеспечения импортонезависимости

В постоянно меняющейся среде международных отношений экономические санкции и торговые ограничения могут иметь значительные последствия для бизнеса и финансовых институтов. Одной из проблем, с которой банки часто сталкиваются в это время, является невозможность публиковать или обновлять свои мобильные приложения в официальных магазинах приложений, таких как Apple App Store или

Google Play Market. Это ограничение может мешать усилиям банков по предоставлению своих услуг клиентам с использованием собственных мобильных приложений. Однако PWA представляют собой решение этой проблемы, предлагая независимую от платформы альтернативу, доступ к которой можно получить непосредственно через веб-браузеры.

Рассмотрим основные аспекты их применения для обеспечения импортонезависимости.

1. В регионах, затронутых санкциями, где доступ к официальным магазинам приложений может быть ограничен, клиенты банков могут получить доступ к услугам банка через веб-браузер, обходя ограничения, наложенные на загрузку приложений из App Store.

2. Разработка и сопровождение нативных мобильных приложений для банковских услуг часто влечет за собой длительный процесс утверждения в магазинах приложений. Это может привести к задержкам с выпуском критических обновлений и новых функций. С помощью PWA банки могут обойти этот процесс утверждения, гарантируя клиентам доступ к самым современным и безопасным сервисам.

3. PWA могут быть сконструированы для бесперебойной работы в автономном режиме или в условиях слабого подключения к сети, что особенно важно в регионах, где подключение к Интернету может быть ненадежным. Клиенты могут выполнять основные банковские функции даже при отсутствии или ограниченном доступе в Интернет.

4. В отличие от нативных приложений, зависящих от платформы (iOS или Android), PWA являются кроссплатформенными. Это означает, что единый PWA может обслуживать пользователей как Apple, так и Android, сокращая затраты банков на разработку и обеспечивая согласованность работы клиентов на разных устройствах.

Включение автономной функциональности и за ее пределами

ServiceWorker является фундаментальным компонентом PWA (рис. 1). Они играют ключевую роль в предоставлении автономных возможностей, повышении производительности и улучшении пользовательского опыта. Эти файлы JavaScript действуют как посредники между веб-приложением и сетью, позволяя PWA выполнять такие функции, как кэширование ресурсов, перехват сетевых запросов и обеспечение автономного доступа. ServiceWorker является ключевым фактором надежности и жизнестойкости PWA, что делает их особенно важными в банковской сфере, где бесперебойный доступ к финансовым услугам имеет решающее значение [2].

Функционал ServiceWorker включает следующие компоненты:

- кэширование: ServiceWorker может кэшировать ресурсы, такие как HTML, CSS, JavaScript и изображения, локально на устройстве пользователя. Это позволяет PWA быстрее загружаться и работать даже при отсутствии подключения к Интернету;

- фоновая синхронизация: ServiceWorker обеспечивает фоновую синхронизацию данных, гарантируя бесперебойную обработку транзакций и обновлений, даже когда пользователь находится в автономном режиме;

- push-уведомления: ServiceWorker может включить отправку push-уведомлений, которые жизненно важны для оповещений в режиме реального времени в банковской сфере, таких как подтверждения транзакций и уведомления о безопасности.

Рассмотрим технологии и библиотеки, используемые для внедрения ServiceWorker.

- Service Worker API. Часть веб-платформы, поддерживая современными веб-браузерами.

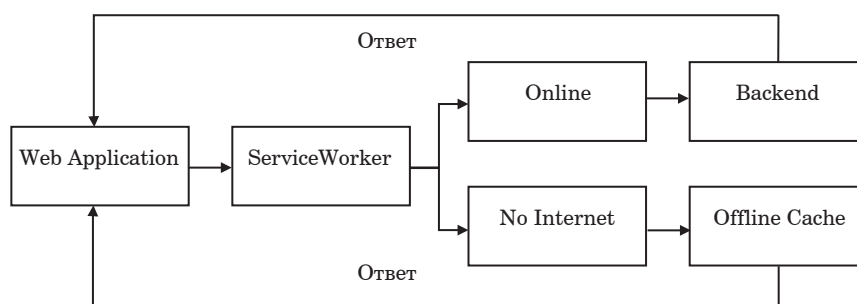


Рис. 1. Принцип работы PWA с ServiceWorker

– **Workbox**. Набор библиотек и **Node.js** модули, которые упрощают создание **ServiceWorker** и эффективно управляют стратегиями кэширования и автономного доступа.

– **PWA Builder**. Инструмент, который помогает создавать **ServiceWorker** и другие файлы, связанные с PWA, на основе метаданных вашего веб-приложения.

– **Service Worker Toolbox**. Библиотека Google, предоставляющая инструменты для создания **ServiceWorker**, стратегии кэширования и автономные функции.

Потенциальные проблемы, решаемые с помощью **ServiceWorker**:

– **Кэширование активов**. PWA финансовой организации может использовать **ServiceWorker** для кэширования основного интерфейса, включая остатки на счетах, историю транзакций и пользовательские настройки. Это гарантирует, что клиенты смогут получить доступ к этой информации, даже если они находятся в автономном режиме или имеют слабое подключение к Интернету.

– **Фоновая синхронизация транзакций**. Когда пользователь инициирует транзакцию в PWA, фоновая служба приложения может отслеживать прохождения запроса, при сбое связи с сервером сохранить его, а затем при восстановлении работоспособности сетевого подключения синхронизировать с сервером. Таким образом, важные финансовые транзакции не будут потеряны из-за проблем с подключением.

– **Push-уведомления**. Финансовые организации, в том числе и банковские организации, могут использовать **ServiceWorker** для включения push-уведомлений о предупреждениях об изменениях учетной записи, обновлениях системы безопасности и подтверждениях платежей, тем самым улучшая взаимодействие между банком и его клиентами в режиме реального времени.

Включение обслуживающего персонала в архитектуру PWA является важным шагом для финансовых и банковских организаций, стремящихся предоставлять надежные, быстрые и доступные услуги своим клиентам даже в автономном режиме или в условиях ненадежной сети. Используя правильные технологии и стратегии, **ServiceWorker** расширяют возможности PWA для обеспечения бесперебойного банковского обслуживания.

Интеграция ServiceWorker в Next.js приложение

1. Запускаем проект и создаем файл **sw.js**, в котором будет содержаться код для прослуши-

вания push-событий и отображения уведомлений через **ServiceWorker** (листинг 1).

Листинг 1. Файл **sw.js**

```
self.addEventListener('push', event => {
  const options = {
    body: event.data.text(),
    icon: '/path-to-icon.png',
  };

```

```
  event.waitUntil(
    self.registration.showNotification('Banking App Notification', options)
  );
});
```

Далее в файл **_app.js** необходимо добавить следующий код (листинг 2). В данном участке программного кода проверяется поддержка браузером технологии **ServiceWorker** [3]. Если поддерживать, то при первой загрузке происходит инициализация нашего созданного файла **sw.js**.

Листинг 2. Интеграция **ServiceWorker** в **Next.js** приложение

```
if ('serviceWorker' in navigator) {
  window.addEventListener('load', () => {
    navigator.serviceWorker
      .register('/sw.js')
      .then(registration => {
        console.log('Service Worker registered with scope:', registration.scope);
      })
      .catch(error => {
        console.error('Service Worker registration failed:', error);
      });
  });
}
```

В результате выполнения этих действий **Next.js** приложение расширяет функциональность и начнет обрабатывать push-уведомления. Когда сервер отправляет push-уведомление в **ServiceWorker**, уведомление отобразится пользователю, даже если приложение в данный момент не открыто.

Заключение

Прогрессивные веб-приложения представляют собой ключевой поворотный момент в развитии финансовой и банковской сферах. Их уникальные функции включают кроссплатформенную совместимость, автономные возможности. Они делают их универсальным и бесценным инструментом для финансовых учреждений. Позитивная динамика интереса к PWA со стороны организаций финансовой сферы обоснована двумя факторами: экономи-

ческой выгодой и технологической зрелостью программного решения. Разработка кроссплатформенного приложения экономически выгоднее по сравнению с поддержкой и разработкой приложения для множества приложений для каждой программно-аппаратной платформы. Технологическая зрелость решения позволяет расширить базовый функционал офлайн-доступом, биометрической аутентификацией и push-уведомлениями, которые были доступны только в нативной разработке. Примером внедрения PWA в экосистему приложений стали приложения универсальных финансовых систем – банков «Открытие» (<https://u.to/7ZU1IA>), Сбербанк (<https://u.to/55U1IA>), ПСБ (<https://u.to/CZY1IA>).

Список источников

1. Документация React. URL: <https://create-react-app.dev/docs/making-a-progressive-web-app/> (дата обращения: 12.10.2023).
2. PWA – это просто. URL: <https://habr.com/ru/articles/418923/> (дата обращения: 12.10.2023).
3. Web dev. URL: <https://web.dev/learn/pwa> (дата обращения: 12.10.2023).

УДК 621.38

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-83-85

А. А. Чекменева**руководитель отдела перспективных разработок***Общество с ограниченной ответственностью «АМА-Мир»*

СТЕНД ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ С ЗАДАНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Описана структура и принцип работы разработанного стенда для генерации газовой смеси. В стенде использованы источники газов, датчики температуры и влажности, регуляторы расхода газов и устройство управления, которые работают в синхронизации для достижения желаемых физических параметров генерируемой смеси.

Разрабатываемый стенд применяется для калибровки газоанализаторов, проверки датчиков газового состава и построения градировочных характеристик, а также для исследовательских целей для выявления зависимости влияния изменения физических параметров на сигнал датчика.

Наличие стенда для генерации газовой смеси обеспечивает возможность создавать газовые смеси с высокой точностью и повторяемостью, что способствует достижению целей и оптимизации процессов в различных областях применения.

Ключевые слова: *стенд, газ, смесь, концентрация, параметры, температура, относительная влажность, калибровка, устройство.*

A. A. Chekmeneva**Head of the Advanced Development Department***Limited Liability Company «AMA-Mir»*

INSTRUMENT FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL PARAMETERS

The paper describes the structure and principle of operation of the developed bench for generation of gas mixture. The bench uses gas sources, temperature and humidity sensors, gas flow regulators and a control device, which work in synchronization to achieve the desired physical parameters of the generated mixture.

The bench under development is used for calibrating gas analyzers, verifying gas composition sensors and plotting gradient characteristics, and for research purposes to identify the dependence of the effect of changing physical parameters on the sensor signal.

The availability of the bench for gas mixture generation provides an opportunity to create gas mixtures with high accuracy and repeatability, which contributes to the achievement of goals and optimization of processes in various applications.

Keywords: *bench, gas, mixture, concentration, parameters, temperature, relative humidity, calibration, device.*

Создание газовых смесей с определенными физическими параметрами является важной задачей в различных областях, включая химическую промышленность, энергетику, научные исследования и разработку новых приборов. Для обеспечения точности и повторяемости результатов требуется специализированное оборудование, такое как стенд для генерации газовой смеси [1].

Стенд для генерации газовой смеси – это устройство, которое позволяет создать газовую смесь с определенными концентрациями компонентов и заданными физическими параметрами, такими как, температура, относительная влажность, расход газов и другие.

Основные компоненты стенда для генерации газовой смеси включают источники газов, датчики температуры, влажности, регуляторы рас-

хода газов и устройство управления. Источники газов предоставляют основные компоненты смеси в чистом виде, а регуляторы расхода газов управляют дозированием каждого компонента в смесь. Датчики температуры и относительной влажности обеспечивают обратную связь, позволяющую системе управления поддерживать заданные физические параметры [2], [3].

Процесс работы стенда для генерации газовой смеси начинается с установки желаемых физических параметров и концентраций компонентов. Затем система управления активирует источники газов и регуляторы расхода, которые начинают подачу и смешение компонентов согласно заданным параметрам. Датчики давления и температуры непрерывно измеряют значения и передают данные системе управления для поддержания стабильности параметров.

Стенды для генерации газовых смесей могут быть настроены для работы с различными газами и концентрациями, что делает их универсальными в использовании. Они могут быть применены для проведения экспериментов, калибровки датчиков, тестирования оборудования и других задач, где точность и надежность создания газовых смесей играют важную роль.

Разрабатываемый стенд необходим для проверки и калибровки разрабатываемых анализаторов. Газовые анализаторы и детекторы используются для измерения и мониторинга содержания определенных газов в окружающей среде или в выдыхаемом воздухе.

На рис. 1 представлена структурная схема стенда для генерации газовой смеси.

Принцип работы разработанного стенда для генерации газовой смеси с заданными физическими параметрами основан на использовании нескольких ключевых компонентов и синхронизации их работы.

1. Источники газов [4]: в качестве источника газов используется стандартные образцы состава газовых смесей различной концентрации.

2. Регуляторы расхода газов: стенд включает регуляторы расхода газов, которые управляют потоком газов и позволяют точно регулировать их объем. Регуляторы расхода могут быть настроены на определенные значения, чтобы обеспечить требуемое соотношение компонентов в генерируемой газовой смеси.

3. Датчики температуры и относительной влажности [5]: стенд оснащен датчиками температуры и относительной влажности, которые постоянно оценивают параметры генерируемой газовой смеси.

4. Нагревательный элемент. Для поддержания необходимой температуры генерируемой газовой смеси используются нагревательные элементы.

5. Элемент увлажнения. В исследованиях необходимо выявлять зависимости влияния изменения относительной влажности на используемые датчики, для увлажнения генерируемой смеси используется генератор влажного газа [3]. Структурная схема генератора влажного газа с требуемой влажностью представлена на рис. 2.

Элемент увлажнения генерируемой пробы представляет собой моноблок, в котором расположены: канал сухого газа, состоящий из системы отбора атмосферного воздуха, его осушения и транспортирования, включая воздушный компрессор и ротаметр расхода осушаемого газа; канал влажного газа, состоящий из системы отбора атмосферного воздуха, его увлажнения и транспортирования, включая компрессор.

6. Устройство управления: стенд также включает устройство управления, которая координирует работу всех компонентов в стенде.

На рис. 3 представлено устройство управления стендом для генерации газового состава с требуемыми физическими параметрами (рис. 3).

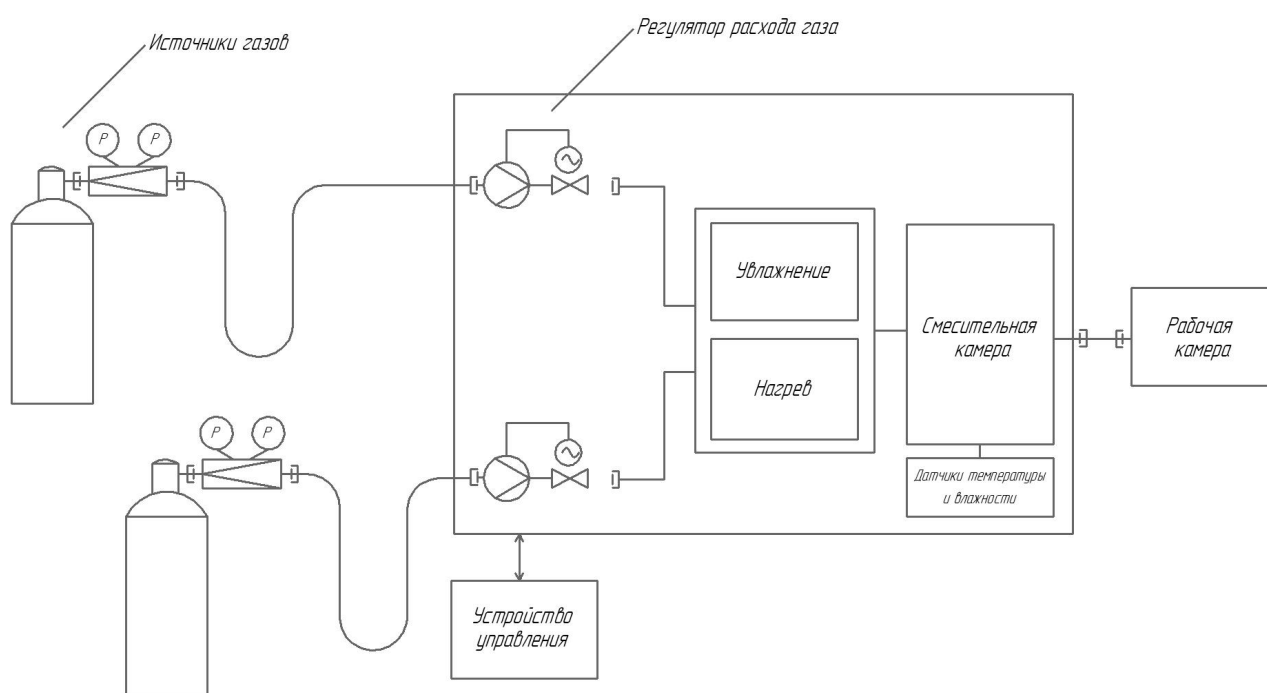


Рис. 1. Структурная схема стенда для генерации газовой смеси с заданными физическими параметрами

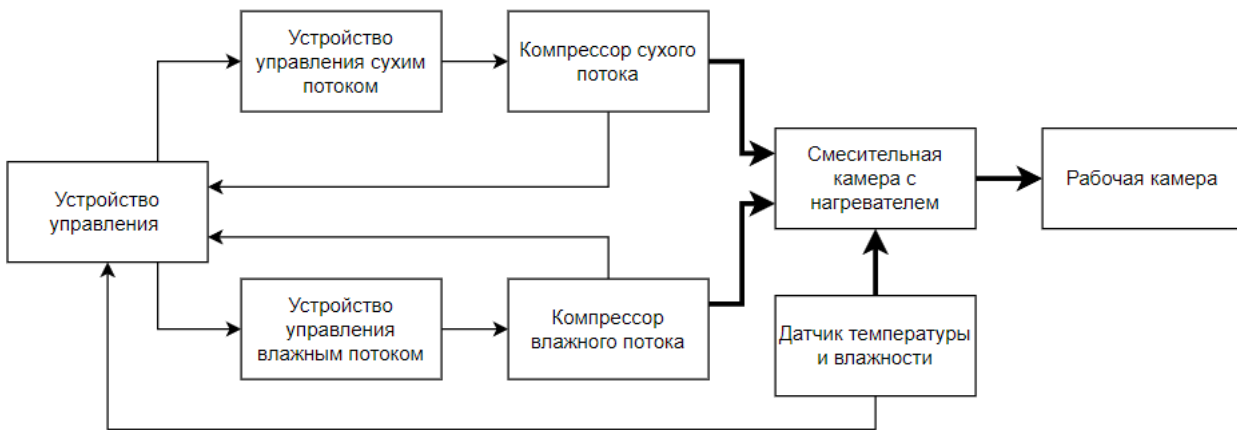


Рис. 2. Структурная схема генератора влажного газа с требуемой влажностью

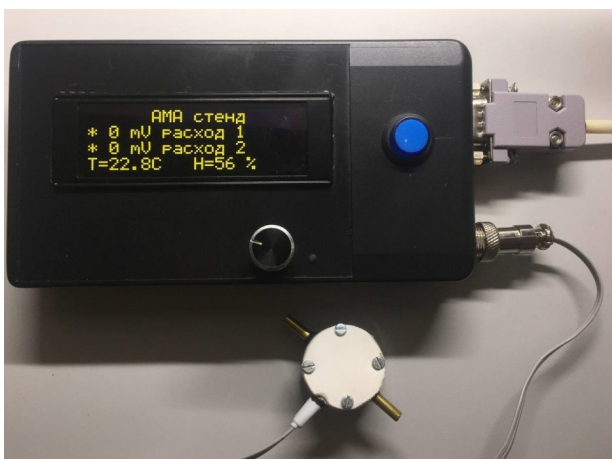


Рис. 3. Устройство для управления стендом

Для реализации алгоритма работы данного устройства были выбран микроконтроллер типа ATmega328P, размещенный на печатной плате модуля ArduinoNano, информация выводится на индикатор OLED 20×04, управление происходит с помощью кнопки и энкодера. Определение температуры и относительной влажности генерируемой смеси осуществляется с помощью датчика BME280 [5].

В целом, стенды для генерации газовых смесей с заданными физическими параметрами являются неотъемлемой частью многих индустрий и научно-исследовательских лабораторий. Они обеспечивают возможность создавать газовые смеси с высокой точностью и повторяемостью, что способствует достижению целей и оптимизации процессов в различных областях применения.

Список источников

1. Рутенберг О. Л., Фаткудинова Ш. Р., Вихрова С. В. Генераторы динамические поверочных газовых смесей // Законодательная и прикладная метрология. 2005. № 5. С. 38–42.
2. Шебанов Н. П. Газодинамический испытательный стенд. Пат. 2 284 498 РФ. 2005.
3. Барбар Ю. А., Голиков М. Н., Миронов А. А. Генератор влажного газа и способ генерации газа с требуемой влажностью. Пат. 2 540 885 РФ. 2014.
4. Источники газов. URL: <https://www.ooo-monitoring.ru/informatorium/tube/> (дата обращения: 25.11.2023).
5. Датчик температуры и влажности. URL: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/BME280.pdf> (дата обращения: 25.11.2023).

УДК 621.38

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-86-88

А. А. Чеkmенева*

руководитель отдела перспективных разработок

В. А. Килимник**

кандидат технических наук

*Общество с ограниченной ответственностью «АМА-Мир»

**Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИБОР ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассмотрена необходимость контролировать параметры окружающей среды во многих отраслях и областях деятельности, включая метеорологию, экологию, сельское хозяйство, промышленность. Представлен разработанный прибор, позволяющий одновременно оценивать параметры окружающей среды, такие как температура, относительная влажность, атмосферное давление, уровень кислорода, углекислого газа и индекс качества воздуха. **Ключевые слова:** температура, относительная влажность, атмосферное давление, кислород, углекислый газ, индекс, качество, воздух, помещение, прибор, структура.

A. A. Chekmeneva*

Head of the Advanced Development Department

V. A. Kilimnik**

PhD Sc. Tech.

*Limited Liability Company «AMA-Mir»

**St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

INSTRUMENT FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL PARAMETERS

The article considers the need to monitor environmental parameters in many industries and fields of activity, including meteorology, ecology, agriculture, industry. The developed device that allows simultaneous assessment of environmental parameters such as: temperature, relative humidity, atmospheric pressure, oxygen level, carbon dioxide level and air quality index is considered.

Keywords: temperature, relative humidity, atmospheric pressure, oxygen, carbon dioxide, index, quality, air, room, instrument, structure.

Прибор для оценки параметров окружающего воздуха можно применить в различных областях, например, для мониторинга качества воздуха в помещениях, рабочей среды в промышленных предприятиях и на рабочих местах, а также в научных исследованиях [1], [2].

Оценка параметров окружающего воздуха в помещении имеет огромное значение для обеспечения комфортных и безопасных условий пребывания людей внутри помещений. Качество воздуха, который мы дышим, непосредственно влияет на наше здоровье и продуктивность.

Температура, относительная влажность, уровень кислорода или углекислого газа – все эти факторы могут влиять на наше самочувствие и работоспособность. Идеальный микроклимат в помещении способствует повышению производительности и снижению утомляемости, а также улучшает качество принимаемых решений [3].

Прибор для оценки параметров температуры, влажности, атмосферного давления, кислорода,

углекислого газа и летучих органических соединений позволяет одновременно оценивать несколько ключевых характеристик окружающей среды, что делает его незаменимым помощником для многих отраслей и областей деятельности, включая метеорологию, экологию, сельское хозяйство, промышленность и многое другое.

В основу прибора входит (рис. 1): источник питания в виде аккумулятора с возможностью подзарядки, микроконтроллер, управляющие элементы (кнопки, выключатели и др. при необходимости), дисплей и комплекс датчиков: температуры, относительной влажности, атмосферного давления, кислорода, углекислого газа и летучих органических соединений.

Датчик углекислого газа SCD30 [4]. является высокоточным и надежным устройством, предназначенным для измерения концентрации углекислого газа в окружающей среде. Диапазон измерения газа составляет от 0 до 40 000 ppm, с точностью ± 30 ppm. Он оснащен инфракрас-

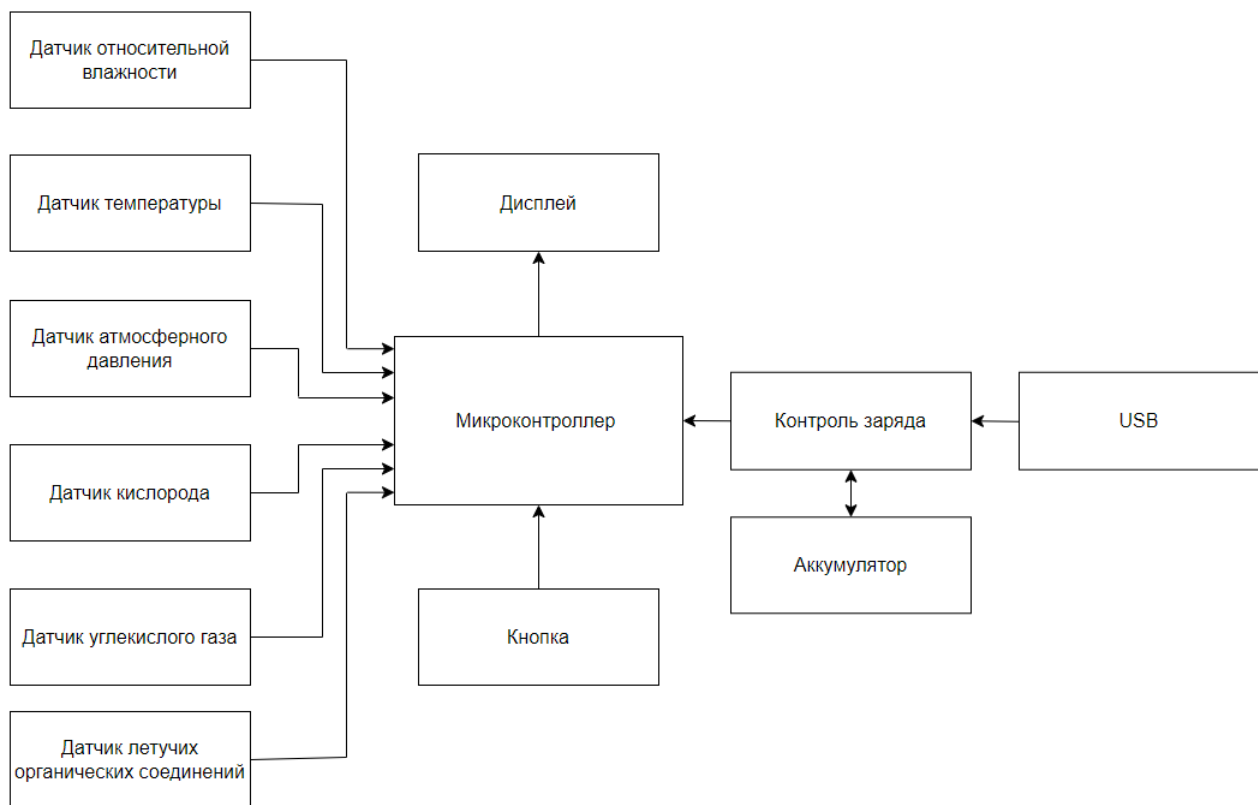


Рис. 1. Структурная схема прибора для оценки параметров окружающей среды

ным (NDIR) датчиком, способным обнаруживать и измерять уровень углекислого газа в широком диапазоне концентраций. Датчик SCD30 может использоваться для непрерывного мониторинга уровня углекислого газа внутри помещения.

Многофункциональный датчик BME680 [5], который позволяет измерять несколько параметров окружающей среды одновременно. Датчик BME680 позволяет не только измерять содержание летучих органических соединений, но также определять индекс качества воздуха, основываясь на этих показателях и других параметрах среды, таких как температура и влажность.

Датчик температуры позволяет измерять температуру во всем рабочем диапазоне от -40 до 85 °C. Абсолютная точность в диапазоне от 0 до 65 °C составляет ± 1 °C. Потребление датчика составляет 1 мкА при частоте измерений 1 Гц.

Датчик давления имеет рабочий диапазон от 30 до 1100 кПа с разрешением $0,18$ Па. В диапазоне температур от 0 до 65 °C сенсор характеризуется абсолютной погрешностью $\pm 0,6$ кПа. Максимальная частота опроса датчика достигает 182 Гц. При частоте опроса 1 Гц типовое потребление составляет $3,1$ мкА.

Датчик влажности работает в диапазоне от 0 до 100 % с абсолютной точностью ± 3 % и разре-

шением $0,008$ %. При частоте опроса 1 Гц максимальное потребление для данного сенсора не превышает $2,8$ мкА.

Датчик качества воздуха определяет сумму загрязняющих веществ, таких как этанол, ацетон, изопрен, продукты дыхания. Но он не селективен к определенному газу. Датчик состоит из пленки оксида металла и обнаруживает летучие органические соединения путем адсорбции молекул кислорода на его чувствительном слое. Когда датчик вступает в контакт с газами, молекулы кислорода вступают в реакцию и увеличивают проводимость по поверхности. Благодаря своим многофункциональным возможностям датчик BME680 может быть использован во многих других приложениях, где требуется мониторинг и контроль параметров окружающей среды.

Датчик кислорода Oksik [6]. является электрохимическим датчиком кислорода, сигнал которого пропорционален парциальному давлению кислорода в анализируемой газовой смеси. Диапазон измерения данного датчика от $0,1$ до 30 % кислорода, а выходной сигнал от 150 до 500 мВ. Зависимость выходного напряжения датчика от содержания кислорода линейна при сопротивлении нагрузки более 2 МОм. Датчик может использоваться при температуре $-35...$



Рис. 2. Прибор для оценки параметров окружающей среды

50 °С, атмосферном давлении: 730...800 мм рт. ст. и влажности 0...98 % отн. при 25 °С (без конденсата). Главным преимуществом данного датчика является его срок службы, более 10 лет.

На рис. 2 представлен прибор для оценки параметров окружающей среды.

Таким образом, оценка параметров окружающего воздуха в помещении играет ключевую роль в обеспечении здоровья и безопасности людей, а также создании комфортных условий для работы и отдыха. Регулярное измерение этих параметров и устранение выявляемых негативных

факторов помогает снизить риск различных заболеваний, повысить производительность.

Список источников

1. ГОСТ 30494-96. О параметрах микроклимата в помещениях жилых и общественных зданий. URL: <https://stroychik.ru/wp-content/uploads/2020/07/gost-30494-96.pdf> (дата обращения: 25.11.2023).

2. СанПиН 2.2. 4. 548-96. О гигиенических нормах микроклимата производственных помещений. URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F_979595184/SanPiN.2.2.4.548_96.o.mikroclimate.pdf (дата обращения: 25.11.2023).

3. Качество воздуха и нормы содержания углекислого газа. URL: https://iclim.ru/articles/kachestvo_vozdukha_normy_soderzhaniya_co2/ (дата обращения: 25.11.2023).

4. Датчик SensirionSCD30. URL: <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/carbon-dioxide-sensors/carbon-dioxide-sensors-scd30/> (дата обращения: 25.11.2023).

5. Датчик BME680. URL: https://www.micros.com.pl/mediaserver/CZ_BME680_BOSCH_0001.pdf (дата обращения: 25.11.2023).

6. Датчик кислорода oksik 3. URL: <http://oxonsens.ru/oksik-3> (дата обращения: 25.11.2023).

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-89-94

А. В. Яковлев*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

Рассмотрены возможности использования речевого сигнала для дистанционной оценки различных патологических, психических и функциональных состояний человека. Представлены практические аспекты применения метода опорных векторов для классификации состояний человека на основе вектора речевых характеристик.

Ключевые слова: речевой сигнал, состояние человека, метод опорных векторов, характеристики речевого сигнала.

A. V. Yakovlev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CLASSIFICATION OF HUMAN STATES BY HIS SPEECH BASED ON THE SUPPORT VECTOR MACHINE

The possibilities of using speech signal for remote assessment of various pathological, mental and functional states of a person are considered. Practical aspects of application of the method of reference vectors for classification of human states on the basis of the vector of speech characteristics are considered.

Keywords: speech signal, human state, support vector method, speech signal characteristics.

Введение

Надежная классификация некоторых состояний человека, к которым относятся в том числе состояния утомления, монотонии, стресса, является актуальной задачей для многих отраслей человеческой деятельности, где человек выступает в качестве элемента системы «человек-машина». К таким отраслям могут быть отнесены транспорт, управление производственными процессами, контроль за состоянием объектов критической информационной инфраструктуры государства и другие.

В настоящее время активно развиваются методы распознавания состояния человека по его речи, изображению и поведению. Использование этих каналов позволяет оценить состояние человека дистанционно, не отрывая его от привычной деятельности, например, от управления автомобилем [1].

Одним из наиболее интересных с точки зрения универсальности применения и информативности является речевой канал. Точнее, не сам канал, а те признаки – низкоуровневые дескрипторы и их производные [2], которые могут быть получены из речевого сигнала. Эти признаки также называются паралингвистическими

характеристики речи. Их изучением занимается такая область исследований, как вычислительная паралингвистика [3], отвечающая за извлечение и анализ явлений, заложенных в речевом сигнале (рис. 1). Термин «паралингвистика» означает «наряду с лингвистикой» (от греческого предлога *para*). Рассматриваемые в паралингвистике явления не являются типичными лингвистическими явлениями, такими как структура языка, его фонетика, его грамматика (синтаксис, морфология) или его семантика. Она в большей степени «интересуется» тем, как человек что-то говорит, а не тем, что он говорит [3].

По мнению многих авторов, анализ паралингвистической информации позволяет оценить, как краткосрочные состояния говорящего, например, текущий уровень возбуждения, так и его долгосрочные состояния, например, расстройство настроения. В рамках вычислительной паралингвистики часто изучаются такие патологические, психические и функциональные состояния, как однополярная и биполярная депрессия [4], [5], состояния аутистического спектра [6], [7] и болезнь Паркинсона [8], [9], эмоциональное состояние говорящего, состояние алкогольной интоксикации, состояния сонливости [10] и утомления говорящего [1], [11].

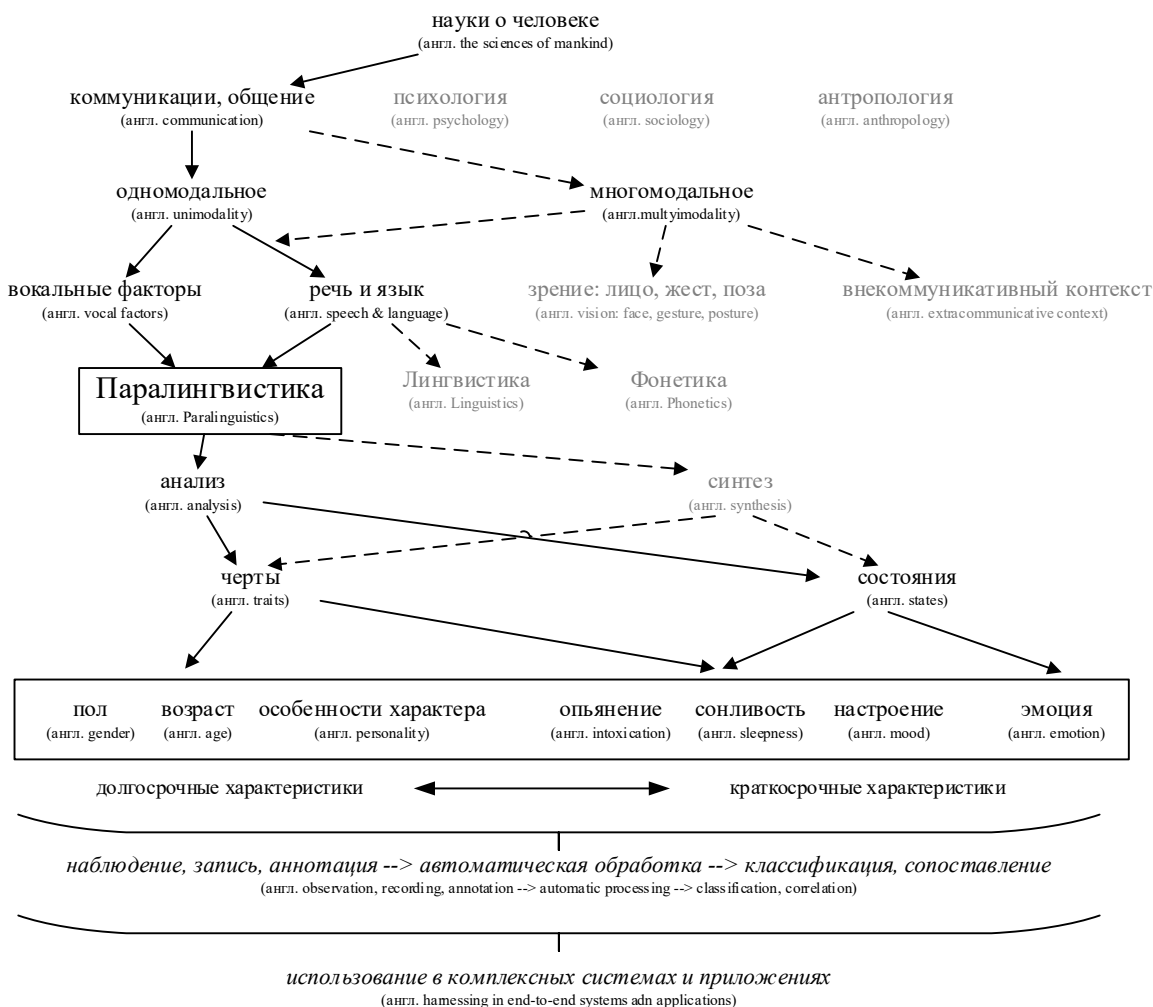


Рис. 1. Область внимания вычислительной паралингвистики [3]

Важно отметить, что богатство информации, доступной в речевом сигнале, дополняется легкостью и ненавязчивостью, с которой она может быть собрана удаленно. С развитием Интернета вещей (IoT) носимые смарт-устройства со встроенным микрофоном стали повсеместными в современном обществе [12]. Этот рост расширил возможности исследователей и клиницистов по сбору данных, касающихся не только речи [13]–[16], но и широкого спектра био- и поведенческих маркеров. Такие данные в свою очередь могут быть использованы для помощи в раннем обнаружении и дистанционном мониторинге большого числа заболеваний [17], начиная от респираторных вирусных инфекций и заканчивая диабетом 2-го типа [18].

Таким образом, использование речевого сигнала для оценки состояний человека перспективно из-за простоты и дешевизны процедуры регистрации, невысокими искажениями по

сравнению с регистрацией видео или физиологических показателей. При этом запись речи может выполняться дистанционно, без отвращения человека от привычной для него деятельности. Основная сложность сегодня состоит в выборе метода анализа характеристик речи, адекватному тому состоянию человека, которое требуется классифицировать.

Методы, используемые для анализа параметров речи

Традиционно анализ речевого сигнала используется для оценки эмоционального состояния говорящего или, в соответствии с англоязычной терминологией, для распознавания аффекта. В прошлом большинство методов, используемых для распознавания аффектов и вычислительной паралингвистики, производили классификации каждого отдельного фрагмента

речи без учета результатов классификаций предыдущих фрагментов, то есть выполняли классификации на уровне высказывания [19]–[22]. Подобный подход предполагает, что каждое высказывание или его часть ассоциируется с одним набором аффективных меток и классификатор присваивает одному высказыванию ровно один набор предсказаний.

Для решения этой задачи в паралингвистике широко используются либо статический классификатор [20], такой как рассмотренный ниже метод опорных векторов (англ. «Support Vector Machine») (далее – метод SVM) [23], либо динамический классификатор, такой как скрытые Марковские модели (англ. «Hidden Markov Models», HMMs) [24]. Скрытые Марковские модели вычисляют оценку правдоподобия для каждого вектора низкоуровневых дескрипторов, рассчитываемому в каждом кадре и на основе наиболее вероятного пути по высказыванию оценивает наиболее вероятный класс состояния говорящего. В отличие от них, при статическом моделировании сегмент аудио данных представляется одним фиксированным размерным вектором параметров (супра- или надсегментные признаки) и моделируется статическим классификатором (обычно основанным на расстоянии, например, ближайшего соседа) [25] или статистическим классификатором, например, классификатором Байеса [26].

Помимо оценки состояния говорящего, статическое моделирование также применяется в области поиска музыкальной информации (англ. «Music Information Retrieval», MIR) для решения таких задач, как распознавание танцевального стиля (англ. «dance-style recognition») [27], идентификация жанра (англ. «genre identification») [28], [29], а также транскрипция аккордов и тональностей (англ. «chord and key transcription») [30], [31]. Отдельной интересной задачей является так называемое дактилоскопия музыки (англ. «Music fingerprinting») и идентификация исполнителя и названия произведения на основе такой дактилоскопии (англ. «identification of artist and title based on a fingerprint») [25]. Решение этой задачи также является задачей статической классификации [32], [33].

Преимущества применения метода SVM для классификации состояния человека по его речи

Этот метод, как было показано выше, относится к статическому моделированию. Метод SVN является полиномиальным классификатором, основанным на расстоянии [25].

Метод SVM, первоначально представленный в [34], является часто используемым классификатором для задач паралингвистического анализа речи и музыки [35], [36]. Это объясняется несколькими удобными свойствами этого метода – главным образом, способностью работать с пространствами признаков большой размерности, шумными и редкими признаками (например, признаками, которые почти всегда равны нулю, как это часто встречается с некоторыми характеристиками речевого сигнала [35]), а также устойчивостью используемых алгоритмов обучения к переобучению [37]. Еще одним преимуществом является то, что метод SVM можно легко расширить до непрерывных меток классов (задач регрессии) с помощью метода регрессии опорных векторов (англ. «Support Vector Regression», SVR) [34].

Концепция метода SVM

Основная идея метода SVM построена на концепции бинарных линейных классификаторов и оптимизирована для обеспечения наилучшего возможного разделения между классами в заданном пространстве признаков, что является основным отличием от других классификаторов с линейными границами решения, например, основанных на методе ближайшего соседа. При обучении методом SVM строится гиперплоскость, разделяющая два класса в пространстве признаков. Чтобы улучшить обобщение и ограничить переобучение, зазор (от англ. «margin») между двумя классами, который должен быть свободен от векторов признаков, усиливается и максимизируется во время построения гиперплоскости [34]. Таким образом, ищется компромисс между максимизацией зазора между классами и точками данных, которые затем попадают в эту область зазора [25].

Этот критерий оптимизации приводит к описанию гиперплоскости на основе так называемых «опорных векторов» (англ. «support vectors»), которые лежат между центрами тяжести классов и определяют границу принятия решения (гиперплоскость с учетом зазора между классами). Концепция гиперплоскости и максимального зазора показана на рис. 2 [25].

Выбор опорных векторов осуществляется путем решения квадратичной оптимизационной задачи, для которой существуют эффективные алгоритмы [34], [38]. В результате классификация основывается на небольшом подмножестве обучающего множества точек данных, что позволяет эффективно снизить риск переобучения и повысить эффективность обобщения.

ния. Для решения нелинейных задач принятия решений, то есть задач, в которых два класса не могут быть разделены линейной границей принятия решений (гиперплоскостью) в пространстве признаков, применяется «трюк ядра» (англ. «kernel trick») [39]. для отображения нелинейной задачи в пространство более высокой размерности, где она может быть решена линейно, чтобы сохранить низкую сложность (линейного) принципа опорного вектора [35].

В классическом варианте SVM-классификатор способен различать только два класса. Для решения многоклассовых задач строятся расширения поверх бинарного метода SVM. Это может быть, например, построение SVM-классификатора для каждой пары классов, суммирование «голосов» для каждого класса в процессе распознавания и выбор класса с наибольшим количеством голосов в качестве победителя, или формирование бинарного дерева решений [35], в котором каждое бинарное решение выполняется SVM-классификатором.

Заключение

Метод опорных векторов является одним из часто применяемых в вычислительной паралингвистике методов для классификации состояния говорящего. Это связано с его понятностью, приемлемой вычислительной сложностью, адаптированностью для работы с характеристиками речевого сигнала.

Вместе с тем, в последнее время появились базы данных с размерными оценками эмоций: набор Sensitive Artificial Listener (SAL) в базе данных HUMANE [40], база данных SEMAINE [41], база данных RECOLA [42], набор непрерывных аннотаций настроения музыки [43]. Такие базы данных вызвали изменения в методах, в первую очередь переход от классификации к регрессии для моделирования непрерывных аффективных измерений [44], [45], а затем переход от меток на уровне произнесения или сегмента к квазинепрерывным меткам [41], [46]–[50], что вызвало необходимость исследования динамических, учитывающих контекст методов моделирования. Одним из таких методов являются рекуррентные нейронные сети с длинной краткосрочной памятью (англ. «Long Short-Term Memory Recurrent Neural Networks», LSTM-RNN) [25].

Список источников

1. Яковлев А. В. Распознавание утомления человека на основе анализа его речи с помощью нейросе-

тевых технологий // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Вычислительная математика и информатика. 2023. Т. 12. № 1.

2. Яковлев А. В. Характеристика некоторых признаков речевого сигнала, формируемых библиотекой openSMILE: сб. докладов Третьей междунар. науч. конф. «Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '23». СПб.: ГУАП, 2023. P. 88–93.

3. Schuller B., Batliner A. Computational Paralinguistics: Emotion, Affect and Personality in Speech and Language Processing. Wiley, 2013. 344 p.

4. Cummins N. An Image-based Deep Spectrum Feature Representation for the Recognition of Emotional Speech // Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia. New York, 2017. P. 478–484.

5. Ringeval F. AVEC 2017: Real-life Depression, and Affect Recognition Workshop and Challenge // Proceedings of the 7th Annual Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge. New York, 2017. P. 3–9.

6. Ringeval F. Automatic Analysis of Typical and Atypical Encoding of Spontaneous Emotion in the Voice of Children // Proc. Interspeech 2016. San Francisco, 2016. P. 1210–1214.

7. Schuller B. The INTERSPEECH 2013 computational paralinguistics challenge: Social signals, conflict, emotion, autism // Proceedings INTERSPEECH 2013, 14th Annual Conference of the International Speech Communication Association. Lyon, 2013.

8. Orozco-Arroyave J. Automatic detection of Parkinson's disease in running speech spoken in three different languages // The Journal of the Acoustical Society of America. Acoustical Society of America. 2016. Vol. 139. N 1. P. 481–500.

9. Schuller B. The Interspeech 2015 computational paralinguistics challenge: Nativeness, Parkinson's & eating condition // Proc. Interspeech 2015. Dresden, 2015. P. 478–482.

10. Яковлев А. В. Автоматизированная система сбора и обработки данных для машинного обучения при оценке функционального состояния специалистов // Машинное обучение в исследованиях медико-биологических и социально-экономических данных: сб. научных трудов. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. С. 204–235.

11. Яковлев А. В., Матыцин В. О., Матыцина С. В. Использование нейронной сети для диагностики утомления военнослужащего – оператора по его речи // Военно-медицинский журнал. 2023. Т. 344. № 9. С. 56–63.

12. Jankowski S. The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend. Goldman Sachs, 2014.

13. Cunningham S. Cloud-based speech technology for assistive technology applications (CloudCAST) // Harnessing the Power of Technology to Improve Lives. IOS Press, 2017. P. 322–329.

14. *Hagerer G.* Did you laugh enough today?» Deep Neural Networks for Mobile and Wearable Laughter Trackers // *Interspeech*. 2017. P. 2044–2045.
15. *Marchi E.* Real-Time Tracking of Speakers' Emotions, States, and Traits on Mobile Platforms // *Interspeech*. 2016. P. 1182–1183.
16. *Tsiartas A.* Sensay analyticstm: A real-time speaker-state platform // 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2017. P. 6582–6483.
17. *Istepanian R.* M-Health 2.0: New perspectives on mobile health, machine learning and big data analytics // *Methods*. 2018. Vol. 151. P. 34–40.
18. *Kaufman J., Thommandram A., Fossat Y.* Acoustic Analysis and Prediction of Type 2 Diabetes Mellitus Using Smartphone-Recorded Voice Segments // *Mayo Clinic Proceedings: Digital Health*. Elsevier. 2023. Vol. 1. N 4. P. 534–544.
19. *Ververidis D., Kotropoulos C.* Emotional speech recognition: Resources, features, and methods // *Speech Communication*. 2006. Vol. 48. N 9. P. 1162–1181.
20. *Vlasenko B.* Frame vs. Turn-Level: Emotion Recognition from Speech Considering Static and Dynamic Processing // *Affective Computing and Intelligent Interaction: Second International Conference*. Lisbon, 2007. P. 139–147.
21. *Schuller B.* Acoustic Emotion Recognition: A Benchmark Comparison of Performances // *Proceedings of the IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU) 2009*. Merano: IEEE, 2009. P. 552–557.
22. *Schuller B.* The Interspeech 2013 Computational Paralinguistics Challenge: Social Signals, Conflict, Emotion, Autism // *Proceedings of Interspeech*. Lyon, 2013. P.148–152.
23. *Schuller B.* Emotion Recognition in the Noise Applying Large Acoustic Feature Sets // *Proceedings of the 3rd International Conference on Speech Prosody (SP)*. Dresden, 2006. P. 276–289.
24. *Schuller B., Rigoll G., Lang M.* Hidden Markov Model-based Speech Emotion Recognition // *Proceedings of ICASSP 2003*. Vol. 2. P. 401–404.
25. *Eyben F.* Real-time Speech and Music Classification by Large Audio Feature Space Extraction. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 298 p.
26. *Kroschel K., Rigoll G., Schuller B.* *Statistische Informationstechnik*. Berlin, 2011. 372 p.
27. *Schuller B., Eyben F., Rigoll G.* Fast and Robust Meter and Tempo Recognition for the Automatic Discrimination of Ballroom Dance Styles // *Proceedings of ICASSP*. 2007. P. 217–220.
28. *Tzanetakis G., Cook P.* Musical genre classification of audio signals // *IEEE Trans. Speech Audio Process*. 2002. Vol. 10. N 5. P. 293–302.
29. *Eyben F., Schuller B.* Music classification with the Munich openSMILE toolkit // *Proceedings of the Annual Meeting of the MIREX 2010 community as part of the 11th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*. Utrecht, 2010. P. 21–23.
30. *Lee K., Slaney M.* Acoustic Chord Transcription and Key Extraction from Audio Using Key-Dependent HMMs Trained on Synthesized Audio // *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*. 2008. Vol. 16. N 2. P. 291–301.
31. *Schuller B., Eyben F., Rigoll G.* Beat-Synchronous Data-driven Automatic Chord Labeling // *Proceedings 34. Jahrestagung für Akustik (DAGA) 2008*. Dresden, 2008. P. 555–556.
32. *Wang A.* An Industrial Strength Audio Search Algorithm // *Proceedings of ISMIR*. Baltimore, 2003.
33. *Jiang T.* A Large Scale Audio Fingerprinting System // *Advances in Multimedia Information Processing*. 2013. P. 866–875.
34. *Cortes C., Vapnik V.* Support-vector networks // *Mach Learn*. 1995. Vol. 20. N 3. P. 273–297.
35. *Schuller B., Batliner A.* *Computational Paralinguistics: Emotion, Affect and Personality in Speech and Language Processing*. 1st edition. Chichester: Wiley, 2013. 344 p.
36. *Schuller B.* *Intelligent Audio Analysis*. Springer, 2013. 358 p.
37. *Joachims T.* Text categorization with Support Vector Machines: Learning with many relevant features // *Machine Learning: ECML-98*. Berlin, 1998. P. 137–142.
38. *Platt J.* *Sequential Minimal Optimization: A Fast Algorithm for Training Support Vector Machines*: MSR-TR-98-14. Microsoft, 1998.
39. *Scholkopf B., Smola A.* *Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond*. Cambridge, 2001. 632 p.
40. *Douglas-Cowie E.* The HUMAINE Database: Addressing the Collection and Annotation of Naturalistic and Induced Emotional Data // *Affective Computing and Intelligent Interaction*. Berlin, 2007. P. 488–500.
41. *Schröder M.* Building Autonomous Sensitive Artificial Listeners // *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2012. Vol. 3. N 2. P.165–183.
42. *Ringeval F.* Introducing the RECOLA multimodal corpus of remote collaborative and affective interactions // *Proceedings of the 2nd International Workshop on Emotion Representation, Analysis and Synthesis in Continuous Time and Space (EmoSPACE)*, held in conjunction with FG 2013. Shanghai, 2013. P. 1–8.
43. *Soleymani M.* The MediaEval 2013 brave new task: Emotion in music // *Proceedings of the MediaEval 2013 Workshop*. Barcelona, 2013. P. 1–6.
44. *Grimm M., Kroschel K., Narayanan S.* Support vector regression for automatic recognition of spontaneous emotions in speech // *Proceedings of ICASSP 2007*. Vol. 4. P. 1085–1088.
45. *Wöllmer M.* Abandoning emotion classes – towards continuous emotion recognition with modelling

of long-range dependencies // Proceedings of Interspeech 2008. Brisbane: ISCA, 2008. P. 597–600.

46. *Eyben F.* On-line Emotion Recognition in a 3-D Activation-Valence-Time Continuum using Acoustic and Linguistic Cues // Journal on Multimodal User Interfaces, Special Issue on Real-Time Affect Analysis and Interpretation: Closing the Affective Loop in Virtual Agents and Robots. 2010. Vol. 3. P. 7–12.

47. *Eyben F., Wöllmer M., Schuller B.* A multitask approach to continuous five-dimensional affect sensing in natural speech // ACM Trans. Interact. Intell. Syst. 2012. Vol. 2. N 1. P. 6:1–6:29.

48. *Schuller B.* AVEC 2012: the continuous audio/visual emotion challenge // Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction (ICMI). Santa Monica, 2012. P. 361–362.

49. *Weninger F., Eyben F., Schuller B.* The TUM Approach to the MediaEval Music Emotion Task Using Generic Affective Audio Features // Proceedings of the MediaEval 2013 Workshop. Barcelona, 2013. P. 13–28.

50. *Weninger F., Eyben F., Schuller B.* On-Line Continuous-Time Music Mood Regression with Deep Recurrent Neural Networks // Proceedings of ICASSP 2014. Florence, 2014. P. 5449–5453.

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-95-100

А. В. Яковлев*

кандидат технических наук, доцент

А. С. Волкова*

магистр

Л. Н. Бalezin*

инженер 2-й категории

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предложен вариант построения мобильного устройства, вычисляющего заданные характеристики речевого сигнала в реальном времени с целью последующего анализа этих характеристик в связи с состоянием данного человека или акустическими характеристиками окружающего пространства.

Ключевые слова: речевой сигнал, характеристики, мониторинг, мобильное устройство.

A. V. Yakovlev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

A. S. Volkova*

Postgraduate Student

L. N. Balezin*

Engineer of 2nd category

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT MOBILE DEVICE FOR MONITORING THE CHARACTERISTICS OF HUMAN SPEECH IN THE PROCESS OF ACTIVITY

A variant of constructing a mobile device that calculates given characteristics of a speech signal in real time for the purpose of further analysis of these characteristics in connection with the state of a given person or acoustic characteristics of the surrounding space is proposed.

Keywords: speech signal, characteristics, monitoring, mobile device.

Введение

Современный уровень развития микроэлектроники и программного обеспечения предоставляет исследователю широкие возможности по проведению широкого спектра исследований, связанных с речью человека и акустическими характеристиками окружающего его пространства. К числу таких исследований можно отнести изучение:

– изменения характеристик речи человека в процессе его деятельности. Известно, что речь человека – это продукт высшей нервной деятельности и, как следствие, она несет в закодированном виде значительный объем информации о состоянии человека. Такое исследование целесообразно проводить на протяжении рабо-

чего цикла человека. Например, в течение 8-часового рабочего дня;

– характеристик речи человека с целью раннего обнаружения изменений его функционального состояния. К числу наиболее актуальных и востребованных для оценки функциональных состояний относятся утомление, монотония, стресс, эмоциональные проявления;

– акустических характеристики окружающего человека пространства. Например, это может быть исследование уровня акустического шума в интересующей полосе частот. Это может быть акустический шум как проезжающих автомобилей, так и акустический шум от соседей в период времени с 23:00 до 8:00 часов. С другой стороны, несомненный интерес представляет акустические характеристики классической

музыки и их возможное влияние на состояние человека, выражающееся как в речи, так и простейших физиологических показателях. Например, в изменении частоты пульса или в проявлениях кожно-гальванического рефлекса.

Выполнение вышеперечисленных и многих других исследований возможно с использованием стандартного оборудования: профессионального регистратора речи (диктофона), шумомера, регистрирующего пульсоксиметра и прибора для регистрации кожно-гальванического рефлекса. Однако помимо высокой стоимости комплекта вышеперечисленного оборудования, возникают сложности с обобщением собираемой каждым прибором информацией и ее приведением к единому масштабу времени.

Также необходимо помнить об этической стороне вопроса: в процессе своей ежедневной деятельности любой человек может производить речевую продукцию личного характера, которой он не хочет делиться с окружающими даже с научной целью.

Более того, даже с юридической точки зрения, обращаясь к зарубежному опыту, в состав биометрических персональных данных традиционно включаются, помимо отпечатков пальцев и изображения человека, еще и запись его голоса [1]. А в соответствии с п. 1 ст. 11 Федерального закона «О персональных данных» «сведения, которые характеризуют физиологические и биологические особенности человека, на основании которых можно установить его личность (биометрические персональные данные) и которые используются оператором для установления личности субъекта персональных данных, могут обрабатываться только при наличии согласия в письменной форме субъекта персональных данных [2]». Выходом из сложившейся ситуации является регистрация не самих аудиоданных, а регистрация набора показателей, рассчитываемых на основе речевых данных, таких, из которых впоследствии невозможно установить как личность говорящего, так и содержание произносимого (лингвистическую составляющую).

Таким образом, актуальной является разработка бюджетного мобильного устройства для мониторинга характеристик речи человека в процессе деятельности.

Возможные аналоги

В настоящее время популярной и востребованной становится тема, связанная с контролем состояния человека на рабочем месте. Существуют различные приложения для смартфонов, с помощью которых пользователь может

оценить как свое состояние, так и состояние окружающей его среды. Примеры некоторых приложений приведены ниже [3]:

– AlertMeter – помогает определить, насколько усталость, болезнь или отвлекающие факторы мешают сотруднику сфокусироваться. Приложение разработано специально для работников с критически важными ролями, при выполнении которых усталость может негативно сказаться на безопасности самого сотрудника или организации [1].

– SunSmart Global UV – приложение для оценки уровня воздействия солнца и ультрафиолетового излучения, которое подойдет людям, много работающим на улице.

– Happify – приложение для оценки текущего настроения и снижения тревожности. По информации разработчиков, они соединили в своем приложении геймификацию и методы когнитивно-поведенческой терапии [1].

Решение задачи параметризации речевого сигнала

Параметрически речевой или акустический сигнал представляет собой набор небольших частей, именуемых сегментами, каждый из которых имеет определенный набор характеристик. Данные характеристики извлекаются с помощью современного программного обеспечения, одним из примеров которого выступает программное обеспечение с открытым исходным кодом openSMILE [4]. Это программное обеспечение активно используется исследователями во всем мире для расчета практически всего спектра паралингвистических характеристик речи. Паралингвистика – это раздел языкознания, который изучает звуковые явления, сопровождающие речь, но не относящиеся к языку: интонацию, изменения мелодики, темп, громкость, тембр, длительность пауз, слогов, высота тона. Именно на основе анализа паралингвистических явлений построено большинство алгоритмов для оценки эмоционального состояния человека по его речи. Важно отметить, что программный продукт OpenSMILE предназначен для обработки аудиоданных в режиме реального времени, но также может использоваться в автономном режиме в пакетном режиме для обработки больших наборов данных. Преимущество, обеспечиваемое его высококомодульной архитектурой, заключается в том, что почти все промежуточные данные, которые генерируются в процессе извлечения объектов, могут быть доступны и сохранены в файлах для визуализации или дальнейшей обработки [5].

Особенностями архитектуры программного продукта openSMILE, которые существенно влияют на выбор его в качестве программной платформы для решения задачи параметризации речевого сигнала, являются [6]:

- инкрементная обработка, при которой передаются данные из произвольного входного потока (файл, звуковая карта и т. д.). Используется библиотека LIBSVM;

- кольцевая буферная память для объектов, требующих временного хранения, что позволяет повторно использовать промежуточные данные и тем самым предотвращать дублирование вычислений данных. Например, частотные спектры, получаемые в результате выполнения быстрого преобразования Фурье, используются при вычислении значительного числа характеристик;

- быстрые и легкие алгоритмы, реализованные на языке программирования C/C++ без сторонних зависимостей для основной функциональности;

- возможность обрабатывать аудиоданные в реальном времени, которая поддерживается с помощью библиотеки PortAudio [7].

В связи с тем, что программный продукт OpenSMILE – это открытое программное обеспечение, существует возможность в дальнейшем расширять пользовательский интерфейс разрабатываемого устройства, насыщая его дополнительными возможностями, используемыми для мониторинга состояния человека на рабочем месте через анализ акустических признаков речи и звука. Это может быть полезно в различных сценариях, включая мониторинг эмоционального состояния, уровня стресса, концентрации и других аспектов психофизиологического состояния.

Ниже приводится несколько вариантов расширения пользовательского интерфейса для контроля состояния человека на рабочем месте:

- *эмоциональный анализ*: программное обеспечение может анализировать интонацию и ритм речи, чтобы определить эмоциональное состояние человека. Например, оно может выявить признаки гнева, радости, страха и других эмоций. Это может быть полезно в сферах клиентского обслуживания, обучения и многом другом;

- *мониторинг стресса*: программное обеспечение может анализировать акустические признаки, связанные со стрессом, такие как изменения в частоте голоса и скорости речи. Это может помочь в определении уровня стресса сотрудников на рабочем месте и принятии мер для снижения его воздействия;

- *оценка концентрации*: анализ акустических признаков может помочь в оценке уровня

концентрации сотрудника. Например, высокая активность в акустических признаках может указывать на отсутствие концентрации.

Техническая реализация

Разрабатываемое устройство должно быть мобильным, то есть иметь приемлемый вес и большую автономность работы. Также компоненты, входящие в его состав, должны быть доступны к приобретению.

В качестве управляющего устройства целесообразно использовать одноплатный компьютер с внешним аккумулятором [8], что дает существенные преимущества разрабатываемому устройству:

- высокую производительность, требуемую для расчета характеристик речи в реальном времени;

- хорошую внутреннюю память для оперативного хранения собираемых данных;

- поддержку различных языков программирования;

- возможность работы с видео и звуком через собственные интерфейсы;

- возможность работы с Интернетом, в том числе и по беспроводным протоколам;

- многозадачность;

- относительно невысокую стоимость.

В этой связи эффективным решением является Raspberry Pi – миниатюрный одноплатный компьютер на базе операционной системы Linux, разрабатываемый британской компанией Raspberry Pi Foundation. Плата имеет производительность, сопоставимую с производительностью обычных стационарных ПК. По своей сути Raspberry Pi является полноценной ЭВМ и позволяет использовать практически весь арсенал средств программирования. В большинстве плат Raspberry Pi есть встроенные модули беспроводной связи Bluetooth и Wi-Fi (табл. 1) [9].

На рис. 1 представлен внешний вид и состав одного из интересных представителей семейства Raspberry Pi – версия Raspberry Pi Zero W. Хотя основные характеристики Raspberry Pi Zero W несколько уступают остальным версиям Raspberry Pi, за счет небольшого размера этот вариант более предпочтителен.

Основной элемент Raspberry Pi Zero W – это чип Broadcom BCM2835, который включает в себя процессор ARM1176JZ-F, работающий на частоте до 1 ГГц и графический двухъядерный сопроцессор GPU VideoCore IV с частотой 250 МГц. Сверху на чипе Broadcom BCM2835 расположена оперативная память Elpida B4432BBPA-10-F объемом 512 МБ. На плате также размещен

Таблица 1

Примеры версий одноплатного компьютера Raspberry Pi

Версия	Микроархитектура	Тактовая частота	Ядер	ОЗУ
3B	Cortex-A53 (ARM v8)	1,2 ГГц	4	1 ГБ
Zero W	ARM1176JZF-S	1 ГГц	1	512 МБ
3B+	Cortex-A53 (ARM v8)	1,4 ГГц	4	1 ГБ
3A+	Cortex-A53 (ARM v8)	1,4 ГГц	4	512 МБ
4B	Cortex-A72 (ARM v8)	1,5 ГГц	4	2, 4, 8 ГБ
Compute Module 4	Cortex-A72 (ARM v8)	1,5 ГГц	4	1, 2, 4, 8 ГБ

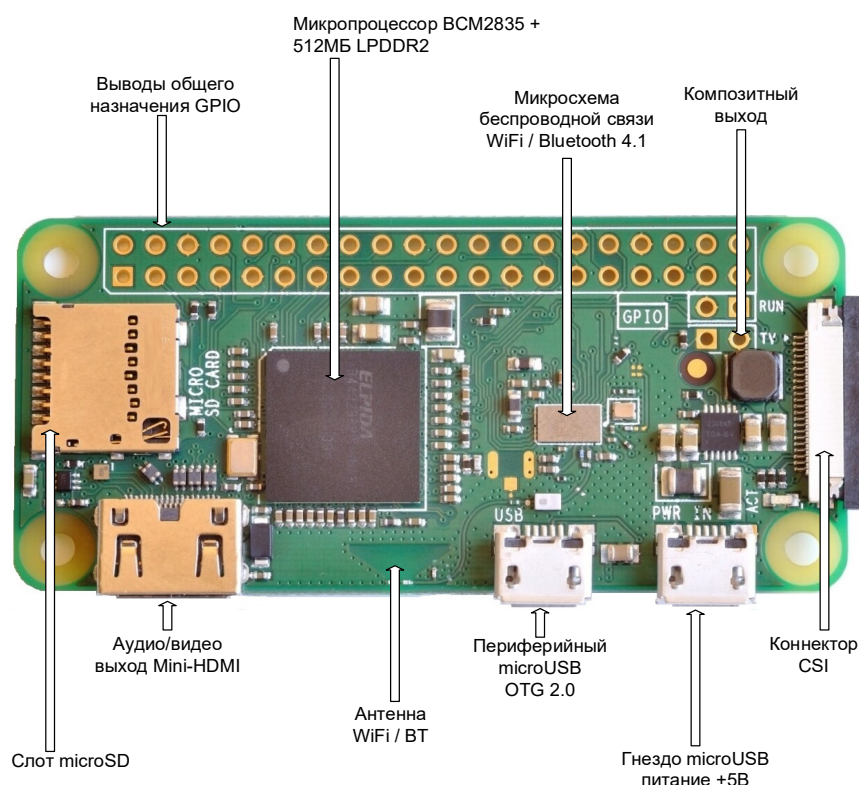


Рис. 1. Внешний вид и состав одноплатного компьютера Raspberry Pi Zero W

беспроводной модуль с Wi-Fi и Bluetooth, позволяющий использовать Raspberry Pi Zero W в проектах, где требуется передача данных без подключения дополнительной периферии. На плате расположено 40 контактов ввода-вывода GPIO. Логический уровень единицы – 3,3В, нуля – 0В. Максимальный ток выхода – 16 мА. Существует возможность подключать периферийные устройства с помощью интерфейсов I²C, UART, SPI. Для хранения данных может использоваться слот карты памяти формата microSD [10]. В нижней части платы установлено два разъема Micro USB. Один предназначен для подключения питания, второй – для подключения периферийных устройств.

Для нивелирования отсутствие контактов для считывания аналогового сигнала можно ис-

пользовать плату расширения с дополнительными аналоговыми контактами и АЦП. Примером такой платы расширения является Grove Base Hat for Raspberry Pi Zero W, представленная на рис. 2 с обозначенными на ней элементами.

В основе этой платы расширения используется микроконтроллер STM32F030F4P6 с 12-битным АЦП. Она позволяет увеличить функционал разрабатываемого устройства за счет добавления дополнительных аналоговых датчиков.

В предложенной схеме есть особенность – высокое потребление энергии. Поэтому требуется аккумулятор с напряжением на выходе 5 Вольт, током не менее 2,5 Ампер и зарядом, обеспечивающим от 8 часов работы устройства.

Основными требованиями к микрофону являются:

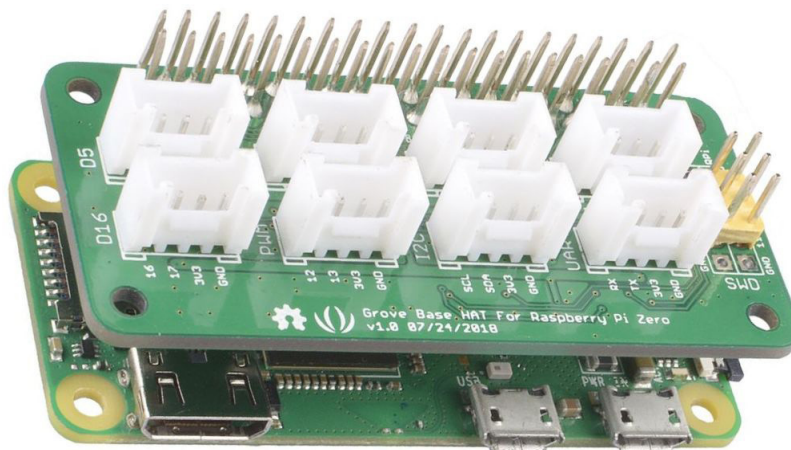


Рис. 2. Плата расширения Grove Base Hat for Raspberry Pi Zero W

– соотношение сигнала к шуму, чем выше это значение, тем чище запись звука. Для того чтобы убрать посторонние шумы и хорошей записи, данный параметр должен быть не ниже 60дБ.

– направленность, от этой характеристики зависит чувствительность устройства в зависимости от положения относительно к нему источника сигнала. Лучше всего использовать всенаправленный микрофон, чтобы устройство можно было, куда-нибудь положить и речь записывалась с разных углов, а не только сидя перед ним.

– чувствительность, выбираем низкую (от –60 до –40 дБ) или среднюю (от –40 до –25дБ), чтобы не было посторонних шумов.

Перечисленным требованиям удовлетворяет микрофонный модуль – SPH0645LM4H-B. Он имеет цифровой выход, что улучшает быстродействие за счет прямого подключения к Raspberry Pi. Достоинством является то, что данный модуль поддерживает подключение дополнительного модуля микрофона, важное при необходимости использования нескольких микрофонов.

Также можно использовать портативный петличный микрофон с USB-разъемом, который присутствует также и у Raspberry Pi. Это упрощает разработку системы. Необходимо использовать конденсаторный микрофон. Он

улавливает все нюансы голоса, что важно для мониторинга характеристики речи. Примером может быть микрофон GAM-U01. Плюсом в использовании петличного микрофона является: простота в подключении, легкость замены и лучше качество записи речи. Петличный микрофон можно положить на стол или, при необходимости, например, при повышенном шуме в помещении или при передвижении, прикрепить на одежду, а само устройство держать в руке или положить в карман или сумку.

В связи с тем, что, помимо собираемой информации, карта памяти одновременно является памятью устройства для хранения операционной системы и прикладного программного обеспечения, необходимо использовать карту памяти емкостью до 128 ГБ исходя из расчета, что 4 ГБ, при стандартном качестве звука, хватает около 70 часов.

Предварительный состав разрабатываемого устройства приведен в табл. 2.

Исходя из данных табл. 2 можно сделать вывод, что для размещения устройства достаточно будет кейса с габаритами 86 × 54 × 26 мм, учитывая размер самого Raspberry Pi и соединенного блока питания. Карта памяти вставляется в слот microSD, а микрофон подключается к USB-

Таблица 2

Список компонентов, требуемых для разработки устройства

Компоненты	Название	Габариты	Вес
Одноплатный компьютер	Raspberry Pi Zero W	85,6 × 53,98 × 17 мм	45 г
Блок питания	Плата расширения Li-polymer Battery HAT с аккумуляторной батареей 3,7В 3000mAh Li-polymer	65,2 × 53,98 × 8,7 мм	76 г
Микрофон	GAM-U01 микрофон	Длина кабеля: 150 см	50 г
Карта памяти	Kingston microSDHC 128 ГБ	11 × 15 × 1 мм	1,41 г

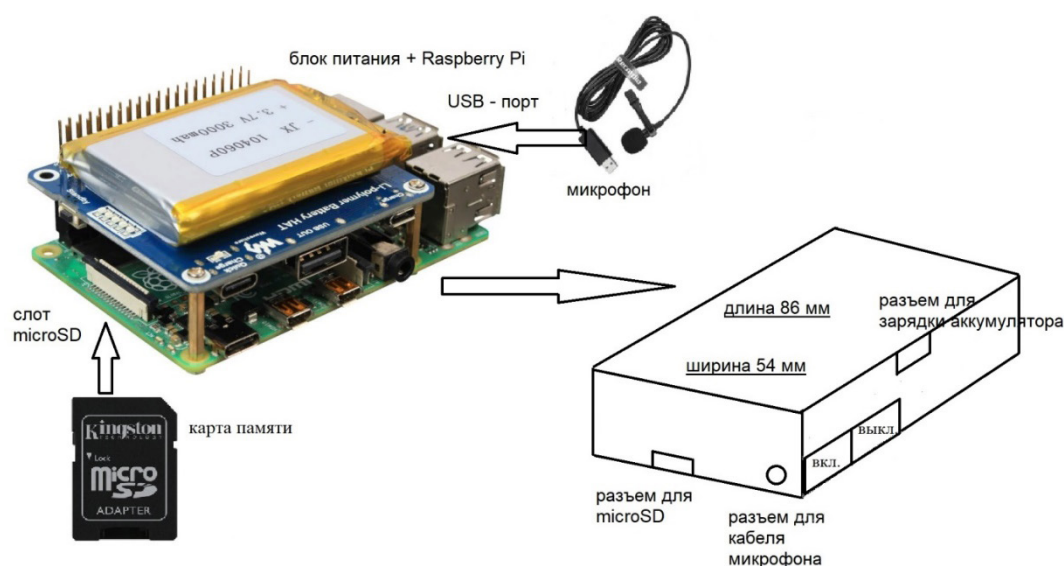


Рис. 3. Схема разрабатываемого мобильного устройства для мониторинга характеристик речи человека

порту. В самом кейсе необходимы разъемы: для карты памяти, чтобы ее можно было менять, для кабеля микрофона и для подзарядки аккумулятора. Схема прибора представлена на рис. 3.

Заключение

Авторами разработан прототип устройства для мониторинга характеристик речи человека в процессе деятельности. Подобраны главные компоненты и учтены важные технические требования для разработки. Таким образом, простое в использовании устройство сможет отслеживать изменение состояния человека в течение дня, по акустическим характеристикам речи.

Список источников

1. Афанасьев С. Д., Терещенко И. А., Яцкевич Д. А. Биометрическая идентификация и права человека: демаркационная линия // Закон. 2022. № 3. С. 33–46.
2. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ (последняя редакция): 152-ФЗ.2006.
3. Как новые технологии помогают заботиться о здоровье сотрудников // Трудовая оборона. 2022.

URL: <https://oborona.media/app-for-work/> (дата обращения: 16.03.2023).

4. Яковенко Н. И. Структура показателей речи, используемых в медико-биологических исследованиях // Известия Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 39. № S3-1.

5. Eyben F. Real-time Speech and Music Classification by Large Audio Feature Space Extraction. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 298 p.

6. Eyben F., Wöllmer M., Schuller B. OpenSMILE – The Munich Versatile and Fast Open-Source Audio Feature Extractor. 2010. P. 1459–1462.

7. Об openSMILE – Документация openSMILE. URL: <https://audeering.github.io/opensmile/about.html#capabilities> (дата обращения: 16.03.2023).

8. Яковлев А. В. Дизайн и реализация носимой системы сенсоров, регистрирующих параметры организма человека и окружающей среды // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах // Первая Всерос. науч. конф. (СПб., 14–22 апреля 2020 г.): сб. докл. СПб.: ГУАП, 2020. С. 55–59.

9. Яковлев А. В. Современные направления развития прикладной информатики: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2021. 87 с.

10. Raspberry Pi Zero W: подключение, настройка и начало работы. URL: <http://wiki.amperka.ru/products/raspberry-pi-zero-w> (дата обращения: 06.04.2021).

УДК 338.242

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-101-104

Е. А. Яковлева*

кандидат физико-математических наук, доцент

П. В. Кирчевская*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ИТ-СФЕРЕ

При появлении спроса на новые информационные продукты и услуги одним из основных аспектов существования и выживаемости на богатейшем рынке ИТ является выбор ценовой категории, в который закладываются различные экономические, внеэкономические и человеческие факторы.

Ключевые слова: ценообразование, экономические факторы, информационный продукт, информационная услуга, затраты, ценовая политика.

E. A. Yakovleva*

PhD Sc. Phys.-Math., Associate Professor

P. V. Kirchevskaya*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

RESEARCH OF PRICING PROCESSES IN THE IT SPHERE

When there is a demand for new information products and services, one of the main aspects of existence and survival in the richest IT market is the choice of price category, which includes various economic, non-economic and human factors.

Keywords: pricing, economic factors, information product, information service, costs, pricing policy.

Актуальность исследования

Неоспоримым плюсом ценообразования на объекты рынка информационных технологий является гибкость ценовой модели, которая позволяет разработчику, производителю, представителю услуги оптимизировать производственные затраты и предоставить конкурентное преимущество. Такой гибкости способствует взаимозаменяемость программного обеспечения, необходимого для изготовления информационных услуг и ПО, простота подготовки и найма специалистов широкого профиля, а также отсутствие необходимости установки дорогостоящих, сложных в обслуживании и эксплуатации производственных машин и станков. Неотъемлемым достоинством развития рынка информационных технологий является, в том числе поддержка Государства, наличие льгот и упрощение проверок.

Обзор факторов

Рассмотрим виды продукции (услуг), которые будут подвергнуты влиянию внутренних и

внешних факторов, и изменяющие параметры цены. Ниже представлены информационные продукты и услуги, а также их формы представления и пользования потребителем:

1) *средства вычислительной техники* – комплекты или составляющие вычислительной машины, комплексы ЭВМ. Способами предоставления услуги являются продажа в собственность или аренда. Прибыль приходит сразу, однако дальнейшее взаимодействие с потребителем отсутствует;

2) *программное обеспечение по подписке* – подразумевает под собой облачную технологию, когда клиент (потребитель) «арендует» программное обеспечение во временное пользование. Данная модель гарантирует регулярную прибыль;

3) *программное обеспечение* – приложения, пакеты приложений и комплексы инструментов, требующие одноразовой оплаты. Пользователю предоставляется функциональный пакет, пользование которым регламентируется пользовательским соглашением;

4) *информационный продукт* – чаще всего тиражируемый продукт, продажи которого

включены в временные рамки. К таким продуктам относятся гайд-буки, справочники, пособия, типовые БД, пакеты данных, датасеты;

5) *сервисные услуги* – включают вспомогательные действия при обслуживании ПО, такие как техническое обслуживание, услуги разработчиков, службы поддержки, онбординг (плата за настройку, установку и обеспечение работы софта). Как правило, данная модель подразумевает гибридные варианты дохода, как единоразовую клиентскую оплату, так и регулярный доход.

На этапе определения цены на IT-продукт или услугу в ценовую политику компании-производителя закладываются такие особенности услуги или продукта как:

- 1) конкурентоспособность продукта или услуги на рынке;
- 2) окупаемость производимого продукта или услуги;
- 3) минимизация возможности плагиата и копирования услуги или продукта;
- 4) возможности для выхода продукта или услуги на иностранного потребителя.

Одной из целей модели ценообразования является побуждение клиента совершить покупку с минимальными возражениями. И если производителю требуется прийти к надежной долгосрочной модели получения прибыли – необходимо учитывать факторы, которые подразумевают под собой оценочную стоимость предоставляемой услуги или программного обеспечения. Факторы, влияющие на ценовую политику рынка IT, можно разделить на внешнеэкономические и внутриэкономические:

Внутренние факторы, влияющие на процесс ценообразования в IT-сфере:

- 1) свойства предоставляемого товара или услуги;
- 2) мобильность производственного процесса товара или услуги;
- 3) рыночная стратегия;
- 4) ориентация на определенный рыночный сегмент;
- 5) особенности продвижения товаров или услуг на рынок;
- 6) эффективность менеджмента и организованность сервиса;
- 7) репутация производителя товаров и услуг;
- 8) уровень конкурентоспособности производимой продукции и услуг.

Внешние факторы, влияющие на процесс ценообразования в IT-сфере:

- 1) государственное регулирование цен;
- 2) политическая стабильность государства;
- 3) уровень инфляции, ценовая эластичность;

- 4) налоговое законодательство;
- 5) уровень доходов населения;
- 6) внешнеэкономическая политика государства;
- 7) наличие конкуренции на рынке предоставляемых продуктов и услуг.

Перечисленные факторы в наибольшей степени оказывают влияние на формирование цены на IT-решения. Рынок IT крайне гибок и разнообразен, что говорит о том, что для каждого продукта и услуги допустимо влияние определенных факторов в большей или меньшей степени. Данные отклонения могут быть вызваны отсутствием перенасыщенности рынка, внедрением новейших исследований в данной сфере, достаточно широким диапазоном занимаемых на рынке ниш [1], [2].

Достоинства и недостатки влияния экономических факторов на ценообразование в IT-сфере

В настоящее время в современной экономике государства происходит снижение покупательской способности населения, что нельзя отрицать. Особую значимость при установлении цены на IT-продукт или услугу играет вынужденная обособленность потребителя от иностранного рынка, что повлекло за собой отток иностранного программного и технического обеспечения из страны. Описанный процесс освободил огромную долю рынка, катализировал всплеск отечественного ПО и услуг, стремящихся закрыть потребности потребителя путем импортозамещения. При этом новизна и актуальность сферы IT-технологий обеспечивает инновационные методы управления, способов предоставления услуг, организации труда и квалификации лиц, участвующих в производстве. Таким образом, внешнеэкономические факторы в лице государства и проводимой им политики поддержки IT-производства и отдельных специалистов, предоставлении льгот и щадящего налогообложения, позволили с наибольшей эффективностью мотивировать восполнение пробелов в нише IT.

К недостаткам существующей ценовой политики в отечественной IT-сфере можно отнести ограниченный круг клиентов. Россия имеет ограниченное количество крупных компаний, которые могут испытывать необходимость в внедрении IT-решений в свой жизненный цикл. Это ведет к ограниченным возможностям роста производителей IT-услуг и компаний.

Получение лицензий и разрешений. Регистрация и получение разрешений для откры-

тия и ведения IT-бизнеса в России могут быть сложными и затратными процессами. Это создает препятствия для новых и малых IT-компаний, ограничивая их возможность выйти на рынок и конкурировать с крупными участниками рынка.

Недостаточное правовое регулирование. В России существуют некоторые проблемы с правовым регулированием IT-отрасли. Некоторые законы и правила не учитывают специфику IT-бизнеса, что может привести к правовым спорам и непониманию между компаниями и государственными органами. А также вызывать возникновение спорных ситуаций между производителем и потребителем IT-продуктов и услуг.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что вышеперечисленные факторы приводят к недостаточной эффективности российского рынка IT, ограничивают конкуренцию и инновационность, что не позволяет участникам рынка в лице производителей, разработчиков и инвесторов полностью реализовать свой потенциал.

Пути решения и стандартизации вопроса ценообразования в IT-сфере

На основании анализа влияния внутриэкономических и внешнеэкономических факторов можно предложить следующие решения, способствующие урегулированию и стандартизации формирования цены на IT-продукты и услуги:

1) *расчет стоимости услуг.* Разработка правильной системы расчета стоимости услуг на основе затрат, времени работы и использования ресурсов поможет установить более точные и справедливые цены. Применение централизованных, регулированных методов и моделей расчета и участие государственного аппарата поможет учесть все факторы и реальные затраты на предоставление услуг;

2) *конкуренция и свободный рынок.* Стимулирование конкуренции на рынке IT способствует снижению цен и повышению качества услуг. Это может достигаться путем развития малых и средних предприятий, оказания поддержки стартапам, упрощения процедур регистрации и лицензирования. Государство должно создать условия для свободной конкуренции и предотвращения формирования монополистических структур;

3) *сотрудничество между компаниями и государством.* Установление сотрудничества и диалога между IT-компаниями и государством

позволит разработать эффективные меры и инструменты регулирования рынка. Это может быть достигнуто через создание рабочих групп, проведение консультаций и прямое взаимодействие между сторонами для решения проблем и нахождения оптимальных решений;

4) *управление издержками.* Оптимизация и управление издержками поможет снизить стоимость услуг и улучшить их эффективность. Это может быть достигнуто через автоматизацию процессов, использование облачных решений, сокращение затрат на трудовые ресурсы и рациональное использование оборудования и программного обеспечения.

Таким образом, решение проблемы ценообразования на российском рынке IT является комплексным и требует сотрудничества всех заинтересованных сторон – компаний, государства, клиентов и специалистов. Только совместными усилиями можно достичь более эффективного ценообразования и развития рынка [3].

Выводы

Цены на IT-услуги на российском рынке могут быть очень разнообразными и зависят от множества факторов. Они могут быть выше или ниже по сравнению с международным уровнем в зависимости от конкретных условий и требований проекта. Одним из важных факторов, определяющих цены, является уровень квалификации и опыта команды разработчиков. Международные сертификаты и опыт работы с крупными проектами могут повысить стоимость услуг. На ценообразование влияют характер проекта и объем необходимых трудозатрат. Сложность и инновационность задач, а также требования по безопасности и надежности могут оказать влияние на цену. Компании могут включать в стоимость услуг дополнительные расходы, такие как аренда офиса, обновление оборудования, лицензирование программного обеспечения, маркетинг и прочие накладные расходы [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что процесс ценообразования в сфере IT является нестабильным, недостаточно регулируемым, что отражается на заниженной или завышенной оценке стоимости того или иного IT-продукта или услуги.

Список источников

1. Горелова Е. К. Анализ методов установления цен на информационные продукты и услуги // Труды

международного симпозиума «Надежность и качество». 2017. Т. 1. С. 298 – 299.

2. *Кочергин А. В., Белый А. Ф.* Особенности организации процессов ценообразования // *Инновации и инвестиции*. 2017. № 6. С. 188–190.

3. *Рыкова Н. П.* Особенности ценообразования на рынке информационных технологий // *Стратегиче-*

ские приоритеты развития экономики в условиях импортозамещения глазами молодежи: материалы студенческой международной научно-практической конференции. 2017. С. 96–101.

4. *Сланченко Л. И., Валькович О. Н., Слепцова Е. В.* Основы экономики общественного сектора: учеб. пособие. Краснодар: КубГУ, 2020. С. 20–30.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 656:681.518.5

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-105-109

А. В. Аграновский*

кандидат технических наук, доцент

П. Е. Васильев*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IOT ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА И ТЕХНИКИ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассмотрены основные организационные задачи мониторинга процесса строительства и возможность применения технологий IoT для построения автоматизированной системы мониторинга персонала и техники на строительных объектах. Представлены характеристики основных технических устройств. Определен состав аппаратных решений и протоколов обмена для организации работы системы.

Ключевые слова: Интернет вещей, IoT, GPS-трекер, мониторинг, LoRa WAN, базовая станция.

A. V. Agranovskii*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

P. E. Vasilev*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF IOT TECHNOLOGIES FOR MONITORING PERSONNEL AND EQUIPMENT AT CONSTRUCTION OBJECTS

The article considers the main organizational tasks of monitoring the construction process and the possibility of using IoT technologies to build an automated system for monitoring personnel and equipment at construction objects. The characteristics of the main technical devices are presented. The composition of hardware solutions and exchange protocols for organizing the operation of the system has been determined.

Keywords: Internet of things, IoT, GPS tracker, monitoring, LoRa WAN, base station.

Строительные работы являются неотъемлемой частью истории человечества на всем ее протяжении. Современное строительство отличается масштабами, значительной территорией, объемом выполняемых технологических операций, а также количеством привлекаемых к работе сотрудников и техники.

При выполнении строительных работ необходимо обеспечить не только соблюдение соответствующих технологий, но и решение целого ряда организационных задач:

- распределение по территории и контроль деятельности значительного количества персонала и техники;
- соблюдение норм техники безопасности и охраны труда;
- обеспечение экономической и юридической безопасности строительных компаний.

Традиционными методами управления и контроля за ходом строительных работ являются [1]:

- прямой контроль;
- административный контроль;
- дистанционно-визуальный контроль.

Прямой контроль обеспечивается находящимися на строительной площадке специально выделенными сотрудниками. Его возможности ограничены издержками, связанными с количеством контролеров.

Административный контроль, заключающийся в проверке соблюдения норм и правил, производится с некоторой периодичностью, поэтому не обеспечивает непрерывность контроля.

Дистанционно-визуальный контроль осуществляется с помощью средств видеонаблюдения. Его использование в реальном времени требует привлечения значительного количества со-

трудников, поэтому часто его применяют не для предотвращения нежелательных событий, а для анализа тех событий, которые уже произошли.

Таким образом, существующие «традиционные» методы не могут обеспечить качественный контроль на строительных площадках.

В то же время описанные задачи могут быть эффективно решены при помощи внедрения концепций и решений непрерывного мониторинга с использованием технологий Интернета вещей (IoT).

Автоматизированные системы мониторинга персонала и техники предназначены для применения при строительстве масштабных объектов, для которого привлекается большое количество сотрудников различных профессий и уровней квалификации, а также разнообразная техника.

Такая система должна обеспечивать реализацию следующих требований [2]:

- контроль доступа на объект в целом и в зоны повышенной опасности;
- учет количества привлеченного персонала и техники;
- просмотр местоположения персонала и техники в режиме реального времени, а также запись истории перемещений за заданный временной промежуток;
- мониторинг состояния техники;
- учет рабочего времени как для техники, так и для персонала;
- фиксация нарушений и оповещение о них в режиме реального времени;
- анализ данных по работе персонала и техники;
- мобильность аппаратной части, связанная с динамичным изменением ситуации на строительстве.

Система, основанная на использовании Интернета вещей, состоит из следующих функциональных уровней: сеть датчиков, шлюз (базовая станция), управление и приложение.

Аппаратная часть системы, непосредственно размещаемая на строительном объекте, состоит из персональных трекеров сотрудников, трекеров на автомобилях и другой технике, а также базовой станции (или станций), обеспе-

чивающей связь с трекерами и серверным оборудованием. Выбор указанных устройств в первую очередь обусловлен используемой беспроводной технологией передачи данных.

Для беспроводного обмена информацией на физическом уровне используются следующие технологии, основные характеристики которых представлены в табл. 1:

- Wi-Fi;
- Bluetooth;
- LoRa WAN;
- NB-IoT.

Для решений, применяемых на территории Российской Федерации, базовые станции должны быть сертифицированы ГКРЧ. В данный момент такой сертификат имеют станции серии ВЕГА БС, работающие по технологии LoRaWAN. Данная технология позволяет обслуживать до 5 тысяч датчиков на каждый квадратный километр, а используемая в ней топология «звезда» обеспечивает легкое масштабирование сети. Все это, наряду с высокой дальностью действия, свойственной указанной технологии, делает целесообразным ее выбор для использования в системе мониторинга.

Персональные GPS-трекеры обеспечивают передачу данных о местоположении сотрудника, а также некоторой дополнительной информации, например, о двигательной активности. Рассмотрим представленные в табл. 2 основные модели GPS-трекеров, подходящих для задач мониторинга персонала с использованием технологии LoRa WAN [3]–[5].

Исходя из анализа характеристик любой из представленных трекеров может быть использован для мониторинга персонала. Выбор должен исходить из частных требований, предъявляемых к объекту строительства и к системе в целом.

GPS-трекеры для автомобилей и строительной техники должны обеспечивать не только передачу данных о местоположении, но и информации о техническом состоянии и функционировании оборудования. Характеристики наиболее распространенных GPS-трекеров для автомобилей и строительной техники представлены в табл. 3 [5]–[8].

Таблица 1

Основные характеристики беспроводных технологий

Характеристика	WiFi	Bluetooth	LoRaWAN	NB-IoT
Дальность действия сети на открытой местности	До 150 м	До 100 м	До 15 км	До 15 км
Дальность действия сети в плотной городской застройке	До 100 м	До 70 м	До 5 км	До 1 км
Возможность работы на сертифицированных в РФ базовых станциях	Нет	Нет	Да	Нет
Возможность применения с учетом сертифицированных БС	Нет	Нет	Да	Нет

Таблица 2

Характеристики персональных GPS-трекеров

Характеристика	Galileosky 7x Plus	Vega SmartBadge	TAIGA
Степень защиты корпуса	IP65	IP43	IP65
Рабочая температура	-40 ... 85 °С	0 ... 50 °С	-40 ... 85 °С
Влажность	От 0 до 100 %	От 0 до 80 %	От 0 до 100 %
Емкость аккумулятора	600 мАч	500 мАч	300 мАч
GLONASS	Есть	Есть	Есть
GPS	Есть	Есть	Есть
Стандарт передачи данных	LoRaWAN	LoRaWAN	LoRaWAN
Рабочий частотный диапазон	RU868, EU868	RU868, EU868, KZ865, произвольный (на основе EU868)	RU864, EU868
Контроль двигательной активности	Да	Да	Да
Детектирование ударов	Да	Нет	Да
Переход в спящий режим при отсутствии движения	Нет	Да	Да
Защита цепей питания (скачки и превышения)	Да	Да	Да
NFC	Нет	Да	Нет
Дальность связи на открытой местности	До 15 км	До 6 км	До 15 км
Дальность связи в плотной городской застройке	До 5 км	До 2 км	До 5 км

Таблица 3

Характеристики GPS-трекеров для автомобилей

Характеристика	GPS-трекер GALILEOSKY 7.0	Vega MT-5	Vega MT X LTE	GPS-трекер SMART TR06
Степень защиты корпуса	IP54	IP40	IP53	IP54
Сеть	GSM	GSM	GSM	GSM
Наличие GLONASS	Да	Да	Да	Да
Диапазон частот GSM	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900
Поддержка LTE	Нет	Нет	Да	Да
Точность позиционирования GPS	2-6 м	2-6 м	2-8 м	5-15 м
Рабочая влажность	От 5 до 95 %	От 5 до 95 %	От 5 до 95 %	От 5 до 95 %
Элемент питания	Li-Ion	Подключение к системе питания ТС	Li-Ion	Li-Ion
Емкость аккумулятора	600 мАч	-	10000 мАч	400 мАч
Рабочая температура	-40 до 85 °С	-40 до 85 °С	-40 до 85 °С	-20 до 40 °С
Датчики	Датчик движения	Акселерометр, датчик движения	Акселерометр, датчик движения	Датчик движения
Функции	Двухсторонняя связь	Двухсторонняя связь, контроль включения зажигания	Двухсторонняя связь	Контроль включения зажигания
Контроль угла наклона	Нет	Да	Да	Нет
Контроль уровня топлива	Да	Да	Да	Да
Контроль температуры охлаждающей жидкости	Да	Да	Да	Да
Контроль оборотов двигателя	Да	Да	Да	Да
Страна производства	Россия	Россия	Россия	Китай

Исходя из анализа характеристик представленного оборудования наиболее широким спектром функциональных возможностей обладает устройство «Вега МТ X LTE». Данный трекер поддерживает стандарт «LTE», что является необходимым, поскольку автомобильный транспорт при выполнении рабочих заданий может покидать строительный объект и выходить за пределы области покрытия базовой станции IoT.

Для реализации обмена данными между базовой станцией и серверами необходимо рассмотреть следующие протоколы обмена:

- протокол обмена данными на логическом уровне между базовой станцией и сервером обработки и хранения данных, полученных с внешних устройств;
- протокол обмена данными на логическом уровне между сервером обработки и хранения данных и сервером приложения.

Для обмена данными между шлюзами (базовыми станциями) и сервером, хранящим и обрабатывающим данные, необходимо использовать протокол транспортного уровня.

В качестве протоколов транспортного уровня рассмотрим протоколы TCP и UDP.

Для реализации системы мониторинга при помощи технологий IoT, основными требованиями к транспортному уровню являются:

- скорость передачи данных;
- пропускная способность;
- низкая задержка;
- минимальная нагрузка на сеть.

Эти требования обусловлены непрерывным потоком большого количества данных, поступающих на базовую станцию от конечных устройств.

Проведем сравнительный анализ основных характеристик указанных протоколов, представленных в табл. 4.

Очевидно, что указанным выше требованиям в наибольшей степени отвечает протокол UDP.

Для информационного обмена между сервером обработки и хранения данных и сервером приложения рассмотрим следующие технические решения:

- MQTT;
- Kafka.

Основными требованиями, предъявляемыми к процессу обмена сообщениями, в данном случае являются:

- возможность масштабирования;
- производительность;
- ограниченность потока данных;
- использование топиков;
- надежность.

Проведем сравнительный анализ основных характеристик указанных протоколов, представленных в табл. 5.

Исходя из требований к обмену между сервером обработки и хранения данных и сервером приложения целесообразно выбрать технологию «Kafka», так как она позволяет работать с неограниченным потоком данных, обрабатывает большее количество сообщений за единицу

Таблица 4

Характеристики протоколов транспортного уровня

Характеристика	TCP	UDP
Установка соединения	Устанавливает устойчивое соединение перед передачей данных	Начинает передачу сразу
Гарантированная доставка	Обеспечивает гарантированную доставку данных с подтверждением	Не гарантирует доставку и не подтверждает получение данных
Контроль ошибок	Использует механизмы для обнаружения и исправления ошибок	Не имеет механизмов
Порядок доставки	Строго правильный	Хаотичный
Механизм подтверждения	Имеет механизмы подтверждения доставки и повторной передачи	Не имеет данных механизмов
Подтверждение каждого пакета	Да	Нет
Многоадресная передача	Нет	Да
Размер заголовков	Больше	Меньше
Пропускная способность	Ниже	Выше
Применение	Часто используется для передачи данных, где ценится надежность	Применяется там, где небольшая задержка критична

Таблица 5

Характеристики протоколов MQTT и Kafka

Характеристика	MQTT	Kafka
Производительность	От 4000 до 10 000 сообщений в секунду	миллион сообщений в секунду
Хранение сообщений	На основе подтверждения	На основе политик
Тип данных	Транзакционные данные	Операционные данные
Легковесность	Больше	Меньше
Размер полезных данных	Без ограничений	Ограничение в 1 МБ
Логирование	Нет	Да
Кластеризация	Нет	Да
Масштабируемость	Нет	Да
Двусторонний обмен	Да	Да
Метод отправки сообщений	Отправка сообщений консьюмерам	Отправка сообщений через поток на соответствующие топики

цу времени и располагает возможностями кластеризации и масштабируемости.

Заключение

Таким образом, сформирована техническая часть автоматизированной системы мониторинга на базе IoT, включающая базовую станцию ВЕГА БС, работающую на основе технологии LoRaWAN, персональных GPS-трекеров TAIGA, Galileosky 7x Plus или Vega SmartBadge, автомобильного GPS-трекера Vega MT X LTE.

В качестве протокола обмена данными на логическом уровне между базовой станцией и сервером обработки и хранения данных целесообразно использовать UDP, в качестве брокера между сервером обработки и хранения данных и конечным приложением наиболее подходящим решением является программный продукт с открытым исходным кодом Apache Kafka.

Список источников

1. Цопа Н. В., Карпушкин А. С., Горин А. К. Исследование теоретических и методических особенностей процедуры проведения строительного контроля // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 4 (73). С. 91–101.

2. Запруднов В. И., Серегин Н. Г. Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 5. С. 108–115.

3. Taiga Personal Tracker-LW // Taiga IoT. URL: <https://www.taigaiot.com/> (дата обращения: 01.12.2023).

4. Vega Smart Badge. Руководство по эксплуатации. URL: <https://vega-absolute.ru/> (дата обращения: 01.12.2023).

5. Galileosky 7x Plus. URL: <https://galileosky.ru/products/7x/> (дата обращения: 01.12.2023).

6. Vega MT-5. Руководство по эксплуатации. URL: <https://vega-absolute.ru/> (дата обращения: 01.12.2023).

7. Vega MT X LTE. Руководство по эксплуатации. URL: <https://vega-absolute.ru/> (дата обращения: 01.12.2023).

8. GPS-трекер SMART TR06. URL: <https://digipulse.ru/gps-treker-smart-tr06> (дата обращения: 01.12.2023).

УДК 001.51

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-110-116

В. А. Миклуш*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВЫБОР МАРШРУТА ДОСТАВКИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Рассматриваются алгоритмы маршрутизации по требованию на основе: вектора расстояний и иерархии адресов, построения таблиц маршрутизации и расширение протокола AODV за счет применения контроллеров нечеткой логики для выбора маршрута доставки данных.

Ключевые слова: маршрутизация, алгоритм маршрутизации, иерархическая маршрутизация, контроллер нечеткой логики, протокол AODV.

V. A. Miklush*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CHOOSING A DATA DELIVERY ROUTE IN WIRELESS SENSOR NETWORK

Consider demand-driven routing algorithms based on: distance vector and address hierarchy, routing table construction and AODV protocol extension by using fuzzy logic controllers to select the data delivery route.

Keywords: routing, routing algorithm, hierarchical routing, fuzzy logic controller, AODV protocol.

БСС обладают особыми свойствами: отсутствует фиксированная инфраструктура и централизованное управление, то есть узлы сети являются подвижными, наличие ограничений беспроводной среды передачи и ресурсов узлов сети, ростом числа сенсорных узлов. В связи с этим для БСС остается актуальной задача гарантированной доставки данных с соблюдением требований на качество предоставляемого сервиса. Для решения ее необходимы эффективные алгоритмы маршрутизации, устанавливающие пути для передачи данных с учетом особенностей БСС.

При выборе оптимального маршрута доставки данных считаем, что маршрутов доставки данных от узла – источника к узлу – адресата несколько. Маршрут доставки разбивается на множество транзитных участков имеющих свою пропускную способность, длину (расстояние), производительность, состояние узлов (активность/сон). Как следствие, на выбор оптимального маршрута и времени доставки влияет каждый из транзитных участков.

В одноранговой беспроводной сенсорной сети (БСС) для передачи данных от источника к адресату в может быть задействовано различное количество узлов. Специальные протоколы БСС занимаются определением маршрутов передачи

данных. Отличие алгоритмов маршрутизации в БСС от алгоритмов маршрутизации в компьютерных сетях заключается в параметрах сети, учитываемых при построении маршрутов.

Алгоритм маршрутизации по требованию на основе вектора расстояний (AODV)

Пути доставки данных от узла – источника к узлу – адресату в БСС постоянно меняются, поскольку сети БСС мобильны. Одним из эффективных считается алгоритм AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) – маршрутизация по требованию на основе вектора расстояний [1]. Алгоритм AODV является развитием алгоритма Беллмана – Форда, адаптированным для БСС с учетом ограниченной пропускной способности и срока службы элементов питания БСС. Вычисление маршрута доставки в данном алгоритме происходит по требованию, то есть при появлении данных, требующих доставки от источника к адресату.

БСС можно представить в виде графа (рис. 1). В алгоритме AODV каждый узел имеет таблицу маршрутизации, содержащую информацию об адресах, в том числе о адресах ближайших соседей, через которые может быть организована

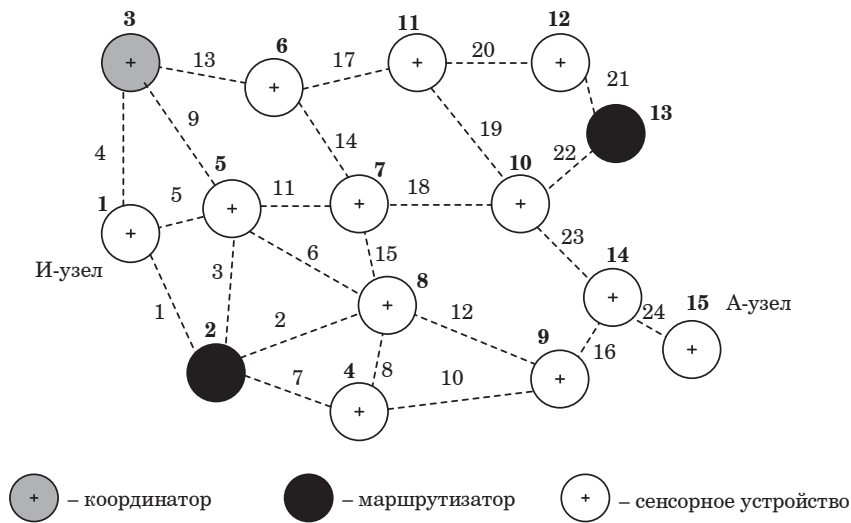


Рис. 1. Построение маршрутов от узла-источника к узлу-адресату

доставка пакета с данными. При возникновении ситуации, когда узел-источник просматривает таблицу маршрутизации и не находит записи для узла-адресата, необходимо построить маршрут, ведущий к узлу-адресату.

Работа алгоритма

Шаг 1. При отправке пакета от узла-источника к узлу-адресату, происходит процесс установления соединения узел-источник рассылает широковещательный пакет ROUTE REQUEST с запросом маршрута к узлу-адресату.

Шаг 2. Каждый транзитный узел, получивший запрос на поиск маршрута, вносит свою запись в таблицу маршрутизации и транслирует

этот запрос, предварительно включив в него таблицу со своей записью.

Шаг 3. Очередной транзитный узел, получивший ретранслированный запрос с маршрутной таблицей, отправляет его дальше, и с каждым скачком вектор расстояния увеличивается на величину, характеризующую транзитный участок. Так происходит пока пакет не дойдет до узла-адресата.

Шаг 4. Узел-адресата отправляет ответ по маршруту, имеющему минимальное векторное расстояние. Ответ возвращается в соответствии с таблицей маршрутизации по пути, пройденному первоначальным запросом, пока не прибедет на узел-источник (рис. 2).

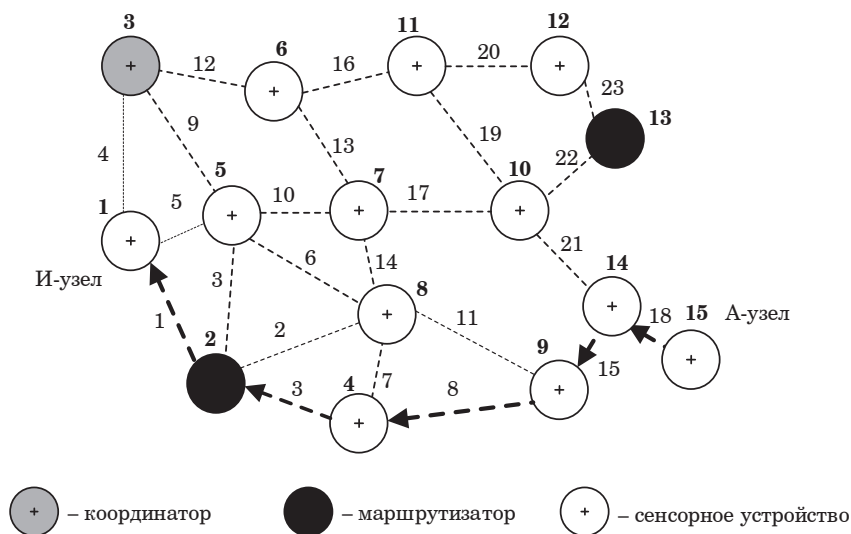


Рис. 2. Обратный маршрут

Шаг 5. Каждый узел, через который проходит пакет на обратном пути к И-узлу, проверяет его. При выполнении хотя бы одного из трех условий (1 – не известен ни один маршрут к узлу-адресату; 2 – последовательный номер для узла-адресата в пакете ROUTE REPLY больше, чем значение в таблице маршрутизации; 3 – последовательные номера равны, но новый путь короче) на его основе строится запись в локальной таблице маршрутов о пути к узлу-адресату.

В результате все узлы, стоящие на обратном пути к узлу – источнику, получают информацию о маршруте к узлу-адресату. Узлы, получившие исходный пакет запроса маршрута, но не стоящие на обратном пути, удаляют запись в табл. обратных маршрутов, когда ассоциированный с ней таймер достигает тайм-аута. Таким образом, ответ, отправляемый в обратном направлении, формирует прямой маршрут для передачи пакетов с данными от узла-источника к узлу-адресату (рис. 2).

Так как топология сети может изменяться, в следствии подвижности узлов или изменения их состояния (активный/сон), то периодически все узлы рассылают сообщение приветствия HELLO. При этом все активные узлы сети отвечают на запрос. Если ответ не приходит, значит, соседний узел вышел из зоны чувствительности или ушел в состояние – «сон» и больше не связан с данным узлом [2].

Алгоритм AODV считается универсальным с точки зрения построения маршрутов доставки данных, но, очевидно, требует значительно объема памяти для хранения маршрутов, что усложняет и удорожает устройства.

Алгоритм маршрутизации на основе иерархии адресов

В сетях ZigBee реализован и другой алгоритм, основанный на иерархическом принципе построения адресов, начиная с координатора.

При формировании сети на основе алгоритма ZigBee происходит распределение адресов сетевых узлов в иерархическом, начиная с координатора. Анализируя адрес узла-источника, каждый узел-источник определяет его принадлежность к нисходящей или восходящей ветке то пакет с данными отправляется вниз к дочернему транзитному узлу, если нет, то пакет отправляется к координатору. Пример иерархической маршрутизации представлен на рис. 3.

Положительные качества алгоритма иерархической маршрутизации – его идентичность с алгоритмом маршрутизации для компьютерных сетей и меньший расход ресурсов памяти. Недостаток алгоритма заключается в том, что он не позволяет взаимодействовать узлу-источнику и узлу-адресату по короткому пути.

Построение таблицы маршрутизации

Топология БСС подвижная – меняется во времени из-за своих динамических свойств. Вместе с этим будут меняться и пути доставки данных. Поэтому необходимо периодически обновлять таблицу маршрутизации и выполнять по ней поиск эффективных маршрутов. Рассмотрим два метода построения маршрутных таблиц: вероятностный (рис. 4) и детерминированный (рис. 5) [3]. Вероятностный метод подразумевает наличие

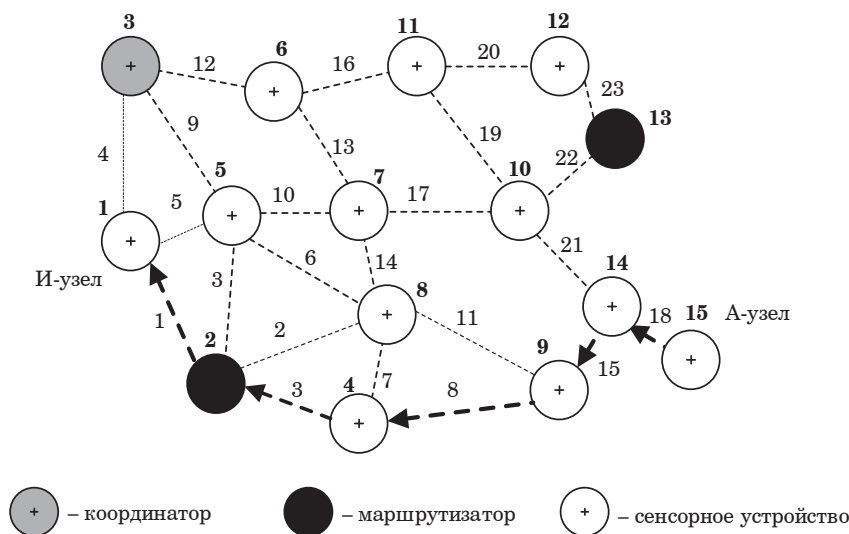


Рис. 2. Обратный маршрут

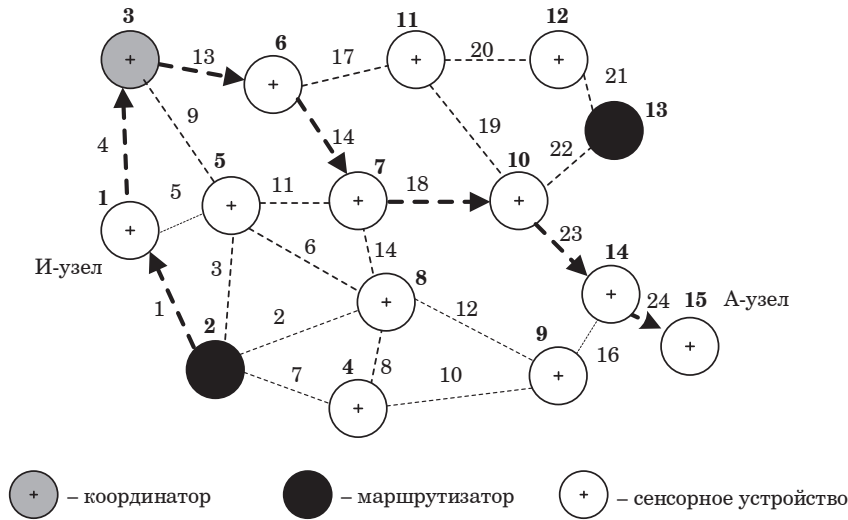


Рис. 3. Иерархическая маршрутизация

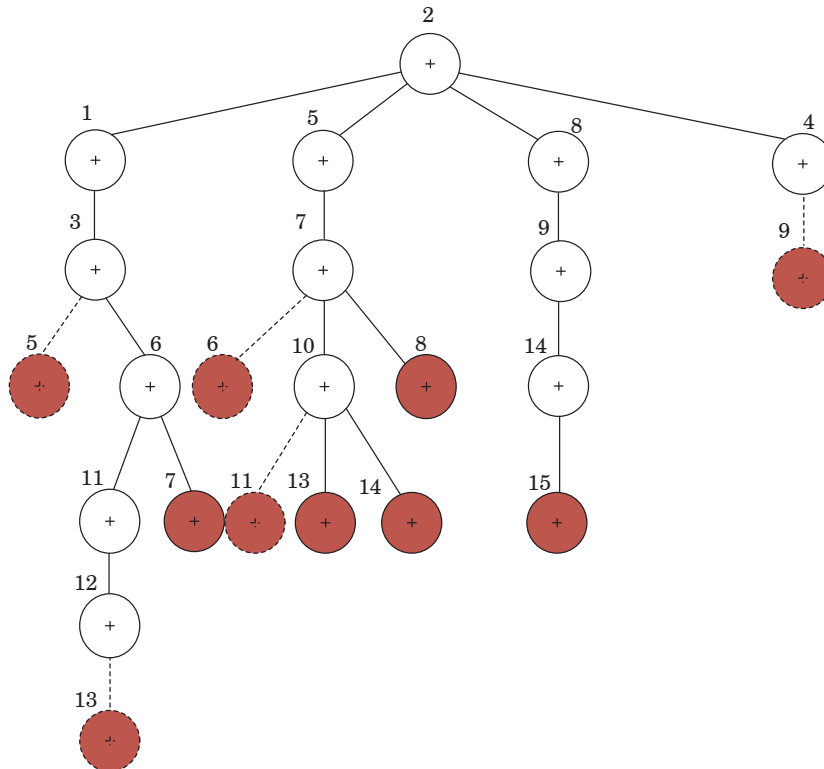


Рис. 4. Дерево маршрутов, построенных вероятностным методом от узла-маршрутизатора 2

коллизий при отправке узлами пакетов с информацией, необходимой для построения таблицы маршрутизации. Детерминированный метод подразумевает отсутствие возникновения коллизий, поскольку для опроса каждого узла выделяется свое временное окно. В итоге все узлы будут опрошены и построено дерево всех возможных маршрутов узлов до любого узла назначения.

Время построения таблицы маршрутизации вероятностным методом составит

$$t_{r.p} = \sum_{i=1}^n \frac{L}{V_i} + \sum_{i=1}^n \left(\tau + \frac{L}{V_i} + \theta \right) + \sum_{j=1}^k (\tau + \sigma),$$

где n – число хопов (ретрансляций) от центрального узла до самого удаленного узла БСС; k –

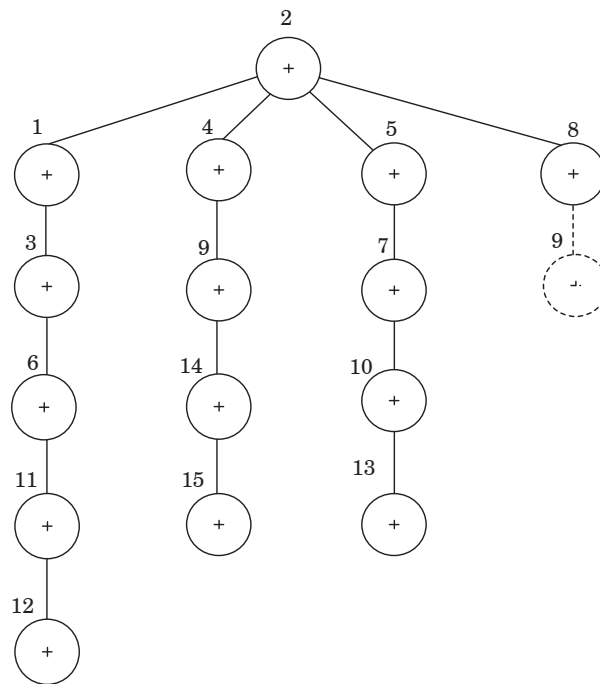


Рис. 5. Дерево маршрутов, построенных детерминированным методом от узла-маршрутизатора 2

число повторных передач пакета подтверждения при возникновении коллизии.

Время построения таблицы маршрутизации детерминированным методом составит

$$t_{r,d} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^m \frac{L}{V_j} + \sum_{j=1}^m \frac{L}{V_j},$$

где h – число каскадов (кругов) опроса центральным узлом; m – число узлов в j -м круге.

Кроме времени передачи данных важным параметром является уровень заряда аккумулятора транзитных узлов [4]. От этого параметра зависят общий энергетический ресурс сети и, соответственно, продолжительность жизненного цикла БСС.

Предлагается, чтобы при формировании таблицы маршрутизации на каждом узле, через который проходит пакет инициализации, узлы записывали не только свой адрес и число промежуточных узлов (число скачков до адресата), но и уровень заряда аккумулятора. Таким образом, все узлы будут знать о количестве скачков и расходе энергии своих соседей. При необходимости можно учитывать и другие характеристики, влияющие на определение оптимального (рационального) маршрута, также можно их записывать в таблицу маршрутизации, например, пропускную способность, наличие очереди, состояние «активный» или «сон», все зависит от того,

на сколько рационально расходовать энергии на запись этой информации и ее обработки.

Множество перечисленных параметров подается на вход контроллера нечеткой логики, который представляет собой программу нечеткого вывода, реализованную в центральном узле, если реализуется маршрутизация на основе иерархии адресов или на каждом узле при реализации маршрутизации по требованию на основе вектора расстояний.

Для учета влияния на выбор оптимального маршрута доставки характеристик узлов и каналов предложено расширение алгоритма AODV за счет использования аппарата нечеткой логики, позволяющего оценивать маршрут доставки данных сразу по нескольким параметрам. Для этого в каждом сенсорном узле предлагается разместить контроллер нечеткой логики в виде ПО.

Расширение протокола AODV

Использование аппарата нечеткой логики позволяет расширить возможности протокола AODV, то есть оценивать маршруты доставки данных сразу по нескольким важным характеристикам. Отличительной особенностью предлагаемого алгоритма является поиск лучшего и резервных маршрутов в условиях динамической картины БСС – подвижности узлов и их состояния.

Алгоритм поиска лучшего и резервных маршрутов включает две стадии применения контроллера нечеткой логики: 1-я – оценка рейтинга сенсорных узлов, на которых строится маршрут доставки данных, и 2-я – оценка рейтинга маршрутов, построенных от узла-источника к узлу-адресату.

В оценке рейтинга узла участвуют следующие характеристики [5]:

- производительность сенсорного узла, z_1 ;
- пропускная способность канала, z_2 ;
- уровень остаточной энергии, z_3 ;
- коэффициент загрузки сенсорного узла, z_4 ;
- состояние узла (активность/сон), z_5 ;
- длина очереди на обслуживание в узле, z_6 ;
- число хопов от узла – источника к узлу-адресату, z_7 .

Схема последовательного применения контроллера нечеткой логики для определения

маршрута доставки данных приведена на рис. 6, где m – число сенсорных узлов БСС; q – число характеристик узлов БСС, $q = 6$.

Рассмотрим работу контроллера нечеткой логики для определения маршрута доставки данных, на примере БСС представленной на рис. 1:

I – Сбор данных о характеристиках каждого узла БСС, функций принадлежности (табл. 1);

II – Применение логической модели Мамдани;

III – Нечеткий вывод – нахождения центроида для каждого маршрута (табл. 1);

IV – Получение рейтинга маршрутов (табл. 2).
Логическая модель Мамдани:

$$\mu_R(R) = \max_{k=1, n} \left\{ \min \left[\mu_1(z_1)_k, \mu_2(z_2)_k, \mu_3(z_3)_k, \mu_4(z_4)_k, \mu_5(z_5)_k, \mu_6(z_6)_k, \mu_7(z_7)_k \right] \right\}$$

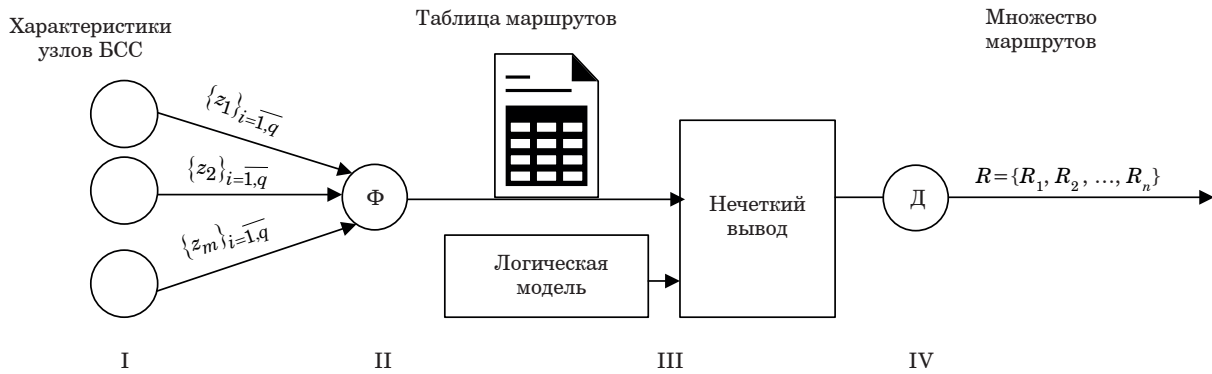


Рис. 6. Схема последовательного применения контроллера нечеткой логики для определения маршрута доставки данных

Таблица 1

Результаты сбора данных о характеристиках узлов БСС

Номер узла	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
1	0,9	0,87	1	0,92	1	0,56	0,97
2	0,67	0,75	0,8	0,82	1	0,89	0,88
3	0,78	0,64	0,7	0,81	1	0,76	0,69
4	0,91	0,87	0,9	0,92	1	0,86	0,97
5	0,88	0,77	0,6	0,79	1	0,81	0,64
6	0,93	0,85	0,4	0,91	0	0,52	0,95
7	0,77	0,55	0,2	0,74	1	0,52	0,78
8	0,88	0,86	1	0,96	0	0,62	0,70
9	0,99	0,95	0,8	0,82	1	0,69	0,81
10	0,63	0,47	0,4	0,76	1	0,73	0,87
11	0,87	0,65	0,5	0,42	1	0,76	0,65
12	0,91	0,71	1	0,92	0	0,89	0,91
13	0,77	0,72	0,7	0,59	1	0,45	0,2
14	0,89	0,87	1	0,92	1	0,61	0,87
15	0,74	0,75	0,8	0,78	0	0,69	0,83

Таблица 2

Результаты фаззификации по первому приоритету

Маршрут	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	Центроид	Рейтинг маршрута
1-2-8-9-14	0,67	0,75	0,8	0,82	0	0,56	0,70	0,636	Не используется
1-2-8-7-10-14	0,63	0,47	0,2	0,74	0	0,52	0,77	0,587	Не используется
1-2-8-4-9-14	0,67	0,75	0,8	0,82	0	0,56	0,70	0,636	Не используется
1-2-5-8-9-14	0,67	0,75	0,5	0,79	0	0,56	0,64	0,578	Не используется
1-2-5-7-10-14	0,63	0,47	0,2	0,74	1	0,52	0,64	0,621	Высокий
1-2-4-8-9-14	0,67	0,75	0,8	0,82	0	0,56	0,70	0,639	Не используется
1-2-4-9-14	0,67	0,75	0,8	0,82	1	0,56	0,81	0,801	Очень высокий

Нечеткий вывод каждого правила представляет собой лингвистическую переменную «рейтинг маршрута» R , множество значений которой состоит из пяти термов: R {«очень высокий», «высокий», «средний», «низкий», «очень низкий»}. Рейтинг маршрута вычисляется в результате дефаззификации выходного нечеткого множества методом центроида.

Исходя из перечисленных характеристик, участвующих в определении рейтинга узла, выделим термы для каждой входной характеристики, влияющей на выбор рационального маршрута доставки данных в БСС: $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7$ [5].

Все показатели узлов маршрута объединяются согласно алгоритму Мамдани. Таким образом, для маршрута «1-2-4-9-14» получаем значение центроида равное 0,801, для маршрута «1-3-5-7-10-14» – 0,621 и т. д. для всех маршрутов, имеющих рейтинг. Из множества маршрутов выберем оптимальный: $\text{MAX}(0,621; 0,801; 0,621; 0,741; 0,621) = 0,801$. Согласно полученным результатам оптимальным маршрутом следует считать «1-2-4-9-14», по нему будет выполнена доставка данных. Кроме маршрута с «очень высоким» рейтингом также определены маршруты с «высоким» рейтингом – их можно считать резервными.

Очевидно, что со временем статистика маршрутов будет меняться в силу подвижности узлов, состояния узлов, истощения энергии узлов. Поэтому работа контроллера должна выполняться периодически, например, один раз за раунд.

Заключение

Преимущество контроллера нечеткой логики заключается в его возможности учета множества влияющих на решение характеристик в отсутствие точной математической модели принятия решения и формализации решающих правил на языке, близком к естественному. Контроллер нечеткой логики работает по принципу «черного ящика»: на входе и на выходе имеем количественные значения, а в самом «черном ящи-

ке» используется аппарат нечеткой логики. Таким образом, сочетается возможность манипулирования числовыми данными и гибкого применения возможностей нечеткого вывода.

Контроллер нечеткой логики предлагается размещать на каждом узле в виде программного обеспечения или на центральном узле, который периодически после каждого обновления информации о характеристиках узлов БСС передает ее широковещательной рассылкой на все узлы БСС.

Список источников

1. Махров С. С. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: иерархические, основанные на мобильности, мультиориентированные и основанные на гетерогенности // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2013. № 5. С. 39–42.
2. Dziubenko I., Tatarnikova T. Algorithm for solving optimal sensor devices placement problem in areas with natural obstacles // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018. P. 1–4.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб.: Питер, 2012. 960 с.
4. Модель маршрутизации каналов информационного взаимодействия в сети FANET с использованием аппарата нечеткой логики / Х. Зуи, И. Комаров, В. Лам, Л. Ванн // Научно-технический вестник информационных технологий. Механики и оптики. 2021. Т. 21. № 6. С. 919–928.
5. Миклуш В. А., Татарникова Т. М. Выбор маршрута доставки данных, основанный на применении математической теории нечетких множеств // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах' 23: сб. докладов Третьей междунар. науч. конф. СПб., 2023. С. 116–125.
6. Миклуш В. А., Татарникова Т. М., Рудых С. В. Алгоритм маршрутизации самоорганизующихся беспроводных сенсорных сетей на базе контроллера нечеткой логики // Морская радиоэлектроника. 2023. Т. 83. № 1. С. 40–47.

УДК 681.5.013

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-117-119

Т. В. Семененко*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

МЕТОДЫ ЛИНЕАРИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. ПОЛИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ

Рассматривается метод полигармонической линеаризации нелинейных элементов систем управления, применимый к гармоническим, монотонным и аperiodическим процессам. Математическая модель нелинейного элемента представляется совокупностью комплексных коэффициентов передачи для отдельных гармоник входа-выхода нелинейного элемента.

Ключевые слова: нелинейные системы управления, полигармоническая линеаризация.

T. V. Semenenko*

*Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

METHODS OF LINEARIZATION OF NONLINEARITIES AND NONLINEAR SYSTEMS. POLYHARMONIC LINEARIZATION

The method of polyharmonic linearization of nonlinear elements of control systems applicable to harmonic, monotonic and aperiodic processes is considered. The mathematical model of a nonlinear element is represented by a set of complex transmission coefficients for individual harmonics of the input-output of a nonlinear element.

Keywords: nonlinear control systems, polyharmonic linearization.

Все реальные системы автоматического управления (САУ) являются в большей или меньшей степени нелинейными. Нелинейности в системах могут появиться вследствие учета естественных эффектов, обусловленных нелинейным характером законов природы, которым подчиняются такие явления, как, например, трение, люфт, зона нечувствительности, насыщение. Также нелинейности могут вводиться в систему специально с целью компенсации нежелательных эффектов от естественных нелинейностей или для придания системе управления желаемых свойств, которые принципиально недостижимы линейными средствами. А в ряде систем управления нелинейные, в частности, релейные регулирующие устройства оказываются наиболее простыми, дешевыми и надежными.

Так как для нелинейных систем автоматического управления не существует общей теории, то для исследования моделей нелинейных САУ используют математический аппарат линейных САУ. Для этого должен быть выполнен корректный переход от нелинейной САУ к линейной САУ, что достигается с помощью линеаризации. В настоящий момент существуют различные приближенные методы линеаризации нелиней-

ных элементов: гармоническая, полиномиальная, обобщенная [1]. В работе предлагается метод полигармонической линеаризации, применимый в равной мере, как к гармоническим, так и к монотонным и аperiodическим процессам.

При описании нелинейных САУ сначала составляются дифференциальные уравнения для каждого звена системы. При этом характеристики звеньев, не являющихся существенно нелинейными, линеаризуются. Устройства, допускающие линеаризацию, образуют линейную часть системы, а устройства, которые не могут быть линеаризованы, составляют нелинейную часть [2]. В простейшем случае структурная схема нелинейной автоматической системы представляет собой последовательное соединение безынерционного нелинейного элемента и линейной части, охваченное обратной связью (рис. 1).

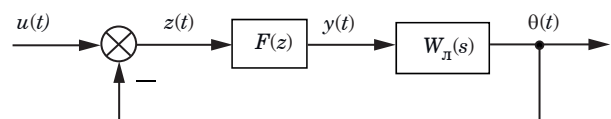


Рис. 1. Простейшая структурная схема нелинейной САУ

В данном случае удается выделить нелинейность так, чтобы она описывалась непосредственной зависимостью между выходной y и входной z величинами нелинейного элемента, которая может иметь любую нелинейную функцию (релейного, кусочно-линейного или криволинейного типа):

$$y = F(z). \tag{1}$$

Пусть функция F – непрерывная, гладкая, а функции $z(t)$ и $y(t)$ – непрерывны. Правую часть выражения (1) аппроксимируем отрезками степенных рядов, например, применением полиномов Чебышева

$$y = \sum_{\chi=0}^{m_1} A_{\chi} z^{\chi}. \tag{2}$$

По программному движению выхода (или по вектору выходов) системы $\theta_n(t)$ определяются координаты входов и выходов нелинейного элемента – векторы z и y . В результате пересчета от $\theta_n(t)$ к входу нелинейного элемента z получим:

$$z(t) = \sum_{v=-\gamma}^{\gamma} \dot{D}_v e^{jv\omega t}, \tag{3}$$

где $\omega = 2\pi / T_0$, T_0 – период разложения $\theta_n(t)$; \dot{D}_v – известные комплексные амплитуды.

При подстановке (3) в (2) получим:

$$y(t) = \sum_{\chi=0}^{m_1} A_{\chi} \left(\sum_{v=-\gamma}^{\gamma} \dot{D}_v e^{jv\omega t} \right)^{\chi}. \tag{4}$$

Формула (4) представляет собой отрезок ряда Фурье для выхода нелинейного элемента, содержащий постоянную составляющую и $m_1\gamma$ гармоник частот от ω до $m_1\gamma\omega$, так как $(e^{jv\omega t})^{\chi} = e^{j\chi v\omega t}$. При расчетах целесообразно в различных координатах удерживать равное (или примерно равное) число гармоник, при этом все координаты линейны относительно множества гармоник, что объясняет название линеаризации.

Выражения (3), (4) сокращенно можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} z(t) &= z(\dot{D}_v, \omega, \gamma, t) \\ y(t) &= y(A_{\chi}, \dot{D}_v, \omega, \gamma, m_1, t) \end{aligned} \right\}. \tag{5}$$

Выражение (4) также можно представить в виде комплексного ряда Фурье для $y(t)$

$$y(t) = \sum_{k=-\gamma}^{\gamma} \dot{G}_k e^{jk\omega t}. \tag{6}$$

Определить \dot{G}_k можно из выражений (3), (4). Однако для сравнительно больших m_1 и γ , которые требуются для получения достаточной точности воспроизведения кривой $F(z)$ и процесса $\theta_n(t)$, необходимы громоздкие вычисления. Их можно выполнить один раз и оформить в виде справочного материала.

Комплексные амплитуды \dot{G}_k из (6) должны также определяться с помощью интегрального преобразования Фурье [3]. Но вычислять их в замкнутом виде сложно, поэтому можно воспользоваться численным определением этих амплитуд с помощью ЭВМ. Из выражения (6) следует, что

$$\dot{G}_k = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} y(t) e^{-jk\omega t} dt, \tag{7}$$

с учетом формулы (4) получаем

$$\dot{G}_k = \frac{1}{T_0} \sum_{\chi=0}^{m_1} A_{\chi} \int_0^{T_0} \left[\sum_{v=-\gamma}^{\gamma} \dot{D}_v e^{jv\omega t} \right]^{\chi} e^{-jk\omega t} dt. \tag{8}$$

Обозначим интеграл в формуле (8) как $\dot{H}_{k\chi}$. При численном определении этого интеграла получим значения $\dot{H}_{k\chi}$, тогда окончательно выражение (6) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} y(t) &= \left\{ \sum_{k=-\gamma}^{\gamma} \sum_{\chi=0}^{m_1} A_{\chi} \dot{H}_{k\chi} \right\} e^{jk\omega t} \\ \dot{G}_k &= \sum_{\chi=0}^{m_1} \dot{H}_{k\chi} A_{\chi} \end{aligned} \right\}. \tag{9}$$

В результате будем иметь зависимость вида

$$\dot{G}_k = \phi_k(\dot{D}_v), \tag{10}$$

где v и $k = -j, -j+1, \dots, 0, \dots, j-1, j$; ϕ_k – некоторая известная функция.

Таким образом, по формулам (6)–(9) определяются амплитуды гармоник выхода нелинейного элемента \dot{G}_k . При таком подходе нелинейный элемент замещается моделью в виде совокупности комплексных коэффициентов передачи для отдельных гармоник входа-выхода НЭ ($z \rightarrow y$):

$$\dot{\mu}_{H3,k} = \frac{\dot{G}_{k=v}}{\dot{D}_v}, \dot{\mu}_{H3,k} = f(\dot{D}_v, T_0, A_{\chi}, k\omega) \tag{11}$$

при принятых m_1, j, v и $k = -j, -j+1, \dots, 0, \dots, j-1, j$; f – известная функция.

Комплексные коэффициенты $\dot{\mu}_{H3,k}$ определяют затухание (усиление) и сдвиг по фазе.

В выражениях (8), (9) для получения определенного решения число уравнений принято

равным числу неизвестных \dot{D}_v ; им определяется равное число гармоник.

В качестве примера рассмотрим вариант, когда задано $m_1 = 2; \gamma = 2$. Необходимо определить отрезок ряда $y(t)$.

В соответствии с формулами (2), (3) запишем выражения для входной и выходной координат нелинейного элемента:

$$z(t) = \sum_{v=-\gamma}^{\gamma} \dot{D}_v e^{jv\omega t} = \sum_{v=-2}^2 \dot{D}_v e^{jv\omega t} = \dot{D}_{-2} e^{-j2\omega t} + \dot{D}_{-1} e^{-j\omega t} + \dot{D}_0 + \dot{D}_1 e^{j\omega t} + \dot{D}_2 e^{j2\omega t}; \quad (12)$$

$$y(t) = \sum_{\chi=0}^{m_1} A_{\chi} z^{\chi} = A_0 + A_1 z + A_2 z^2. \quad (13)$$

Подставим выражение (12) в (13), получим

$$\begin{aligned} y(t) = & A_0 + A_1 \dot{D}_{-2} e^{-j2\omega t} + A_1 \dot{D}_{-1} e^{-j\omega t} + A_1 \dot{D}_0 + \\ & + A_1 \dot{D}_1 e^{j\omega t} + A_1 \dot{D}_2 e^{j2\omega t} + A_2 \dot{D}_{-2}^2 e^{-j4\omega t} + \\ & + A_2 \dot{D}_{-1}^2 e^{-j2\omega t} + A_2 \dot{D}_0^2 + A_2 \dot{D}_1^2 e^{j2\omega t} + \\ & + A_2 \dot{D}_2^2 e^{j4\omega t} + 2A_2 \dot{D}_{-2} \dot{D}_{-1} e^{-j3\omega t} + \\ & + 2A_2 \dot{D}_{-2} \dot{D}_0 e^{-j2\omega t} + 2A_2 \dot{D}_{-2} \dot{D}_1 e^{-j\omega t} + \\ & + 2A_2 \dot{D}_{-2} \dot{D}_2 + 2A_2 \dot{D}_{-1} \dot{D}_0 e^{-j\omega t} + 2A_2 \dot{D}_{-1} \dot{D}_1 + \\ & + 2A_2 \dot{D}_{-1} \dot{D}_2 e^{j\omega t} + 2A_2 \dot{D}_0 \dot{D}_1 e^{j\omega t} + \\ & + 2A_2 \dot{D}_0 \dot{D}_2 e^{j2\omega t} + 2A_2 \dot{D}_1 \dot{D}_2 e^{j3\omega t}. \end{aligned} \quad (14)$$

В соответствии с формулой (6) выходную координату НЭ запишем в виде

$$\begin{aligned} y(t) = & \dot{G}_{-4} e^{-j4\omega t} + \dot{G}_{-3} e^{-j3\omega t} + \dot{G}_{-2} e^{-j2\omega t} + \\ & + \dot{G}_{-1} e^{-j\omega t} + \dot{G}_0 + \dot{G}_1 e^{j\omega t} + \dot{G}_2 e^{j2\omega t} + \\ & + \dot{G}_3 e^{j3\omega t} + \dot{G}_4 e^{j4\omega t}, \end{aligned} \quad (15)$$

где комплексные амплитуды \dot{G}_k определяются выражениями

$$\begin{aligned} \dot{G}_{-4} = & A_2 \dot{D}_{-2}^2; \dot{G}_{-3} = A_2 \dot{D}_{-2} \dot{D}_{-1}; \\ \dot{G}_{-2} = & A_1 \dot{D}_{-2} + A_2 (\dot{D}_{-1}^2 + 2\dot{D}_{-2} \dot{D}_0); \\ \dot{G}_{-1} = & A_1 \dot{D}_{-1} + 2A_2 (\dot{D}_{-2} \dot{D}_1 + \dot{D}_{-1} \dot{D}_0); \\ \dot{G}_0 = & A_0 + A_2 \dot{D}_0 + A_2 (\dot{D}_0^2 + \dot{D}_{-2} \dot{D}_2 + 2\dot{D}_{-1} \dot{D}_1); \\ \dot{G}_1 = & A_1 \dot{D}_1 + 2A_2 (\dot{D}_{-1} \dot{D}_2 + \dot{D}_0 \dot{D}_1); \\ \dot{G}_2 = & A_1 \dot{D}_2 + A_2 (\dot{D}_1^2 + 2\dot{D}_0 \dot{D}_2); \\ \dot{G}_3 = & 2A_2 \dot{D}_2 \dot{D}_1; \dot{G}_4 = A_2 \dot{D}_2^2. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, достоинством метода полигармонической линейаризации нелинейных элементов по сравнению с методом гармонической

линейаризации [4] является возможность использования достаточно точной аппроксимации функций $z(t)$ и $y(t)$, и в целом – линейаризации нелинейных элементов, используемых при исследовании систем управления.

Использование данного метода позволяет существенно упростить расчеты, связанные с линейаризацией нелинейных звеньев, повысить точность линейаризации и точность синтеза блоков управления. Метод ориентирован на применение ЭВМ.

Список источников

1. Юревич Е. И. Теория автоматического управления: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 560 с.
2. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2006. 272 с.
3. Харди Г. Г., Rogozинский В. В. Ряды Фурье. М.: Либроком. 2009. 152 с.
4. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2007. 744 с.

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-120-122

В. А. Ушаков*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПЛАТФОРМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ENGEE

Рассматривается вопрос, связанный с переходом от пакета прикладных программ Matlab к платформе математических вычислений и модельно-ориентированного проектирования Engee, а также вопрос импортозамещения на отечественное программное обеспечение.

Ключевые слова: Matlab, GNU Octave, Engee, пакет прикладных программ, платформа математических вычислений, модельно-ориентированное проектирование, импортозамещение, отечественное программное обеспечение.

V. A. Ushakov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DOMESTIC MATHEMATICAL MODELING PLATFORM ENGEE

This article discusses the issue related to the transition from the Matlab application software package to the Engee platform for mathematical computing and model-based design. The issue of import substitution with domestic software is considered.

Keywords: Matlab, GNU Octave, Engee; application package, mathematical computing platform, model-based design, import substitution, domestic software.

Введение

Сегодня по указу президента РФ [1] выполняется переход на отечественное программное обеспечение (ПО). В сфере моделирования в 2020 была запущена облачная платформа имитационного моделирования сложных технических систем (СТС) iWebSim [2]. Но также стоит задача ухода от Matlab, который применяется для решения широкого круга прикладных задач, например [3]–[5].

GNU Octave

Сначала, в качестве альтернативы Matlab [6] стали использовать программную систему для математических вычислений GNU Octave [7] (рис. 1), которая является свободно-распространяемым ПО.

Большим плюсом является синтаксис, похожий на синтаксис Matlab language и аналогичный графический интерфейс. Однако она имеет значительный недостаток – отсутствие среды моделирования Simulink.

Engee

Engee [8] предоставляет платформу математических вычислений и интерактивную среду для программирования, численных расчетов. Кроме того, он позволяет выполнять визуализацию результатов. Анализ данных, разработка математических моделей, проведение инженерных исследований, моделирование систем управления и многие другие задачи теперь можно решать с применением Engee. Но самое главное он является отечественным аналогом Matlab/Simulink, чем не мог похвастаться GNU Octave.

Engee является средой динамического междисциплинарного моделирования СТС и инструментом для модельно-ориентированного проектирования (технология проектирования СТС). Engee может легко найти широкое применение в космической, авиационной предметных областях, системах с искусственным интеллектом, инженерном образовании, системах автоматического управления и т. д.

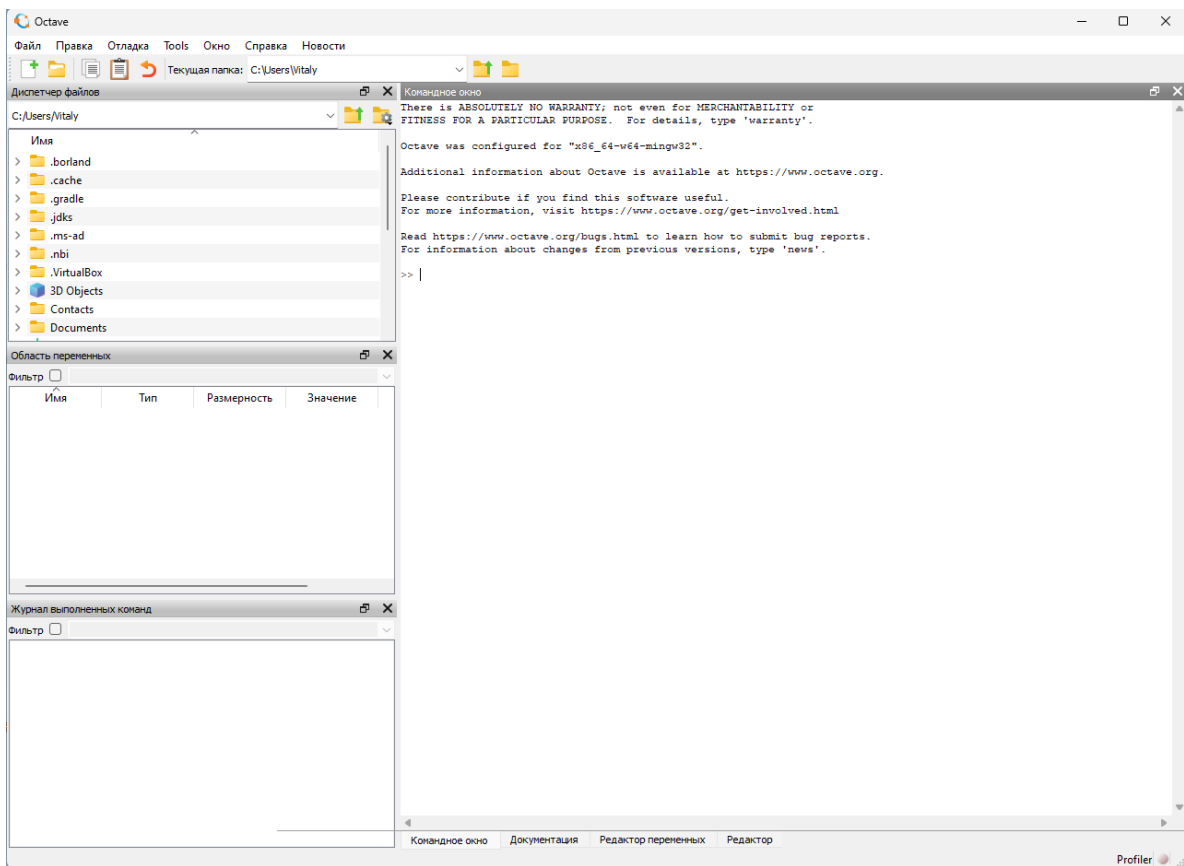


Рис. 1. GNU Octave

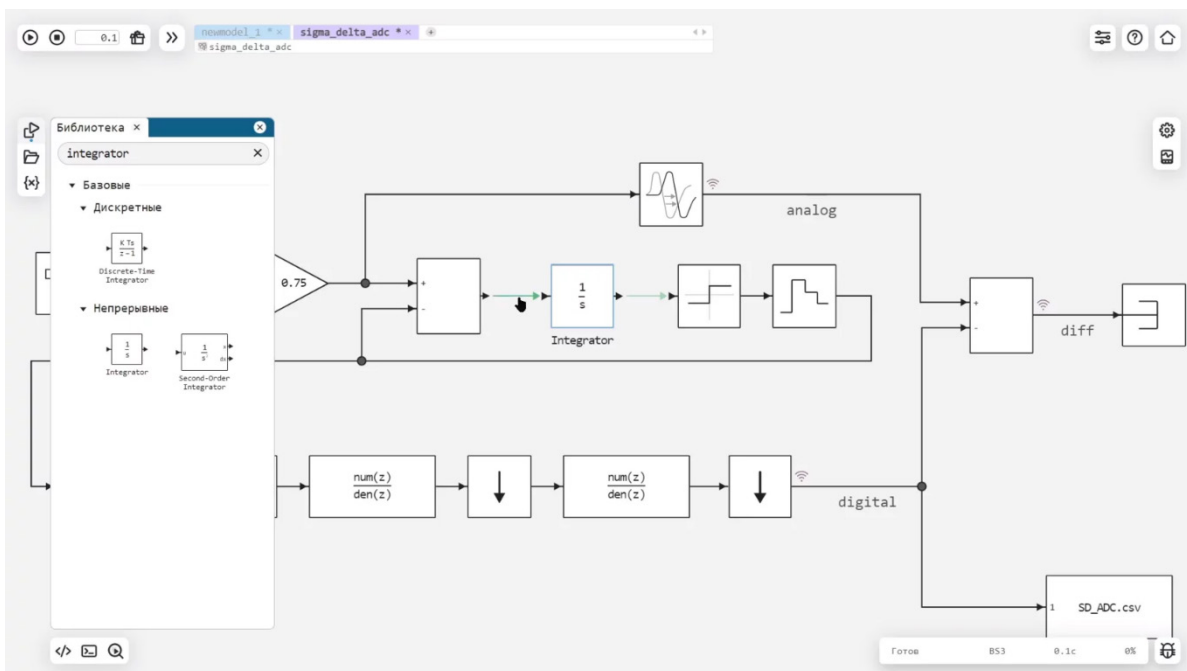


Рис. 2. Engauge

Заключение

Таким образом, в статье затронут вопрос перехода на отечественное ПО. Проведен краткий обзор возможностей платформы математических вычислений Engее. Сейчас происходит пилотное внедрение платформы в различных предметных областях, в частности авиастроение, машиностроение, космос. Engее призвана стать эффективной альтернативой Matlab.

Список источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 02.03.2022 № 83 // Собрание законодательства РФ. 2022. № 10. ст. 1468.
2. *Балухта А. Н., Соколов Б. В., Карсаев О. В.* Облачная платформа iwebsim как средство имитационного моделирования космических систем // Труды конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). СПб.: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2021. С. 95–104.
3. *Жуков А. Д., Ушаков В. А.* Формирование алгебраической целевой функции с помощью Matlab/Simulink при разработке систем автоматического управления // Научная сессия ГУАП, посвященная Дню космонавтики. СПб.: ГУАП, 2016. С. 251–255.
4. *Ушаков В. А.* Построение и аппроксимация областей достижимости: обзор существующих решений и выбор программного обеспечения // Региональная информатика и информационная безопасность. СПОИСУ. 2018. Вып. 6. С. 253–257.
5. *Sokolov B., Ushakov V.* Formation Reachability Area as a Data Vector Using a Dynamic Model for Controlling Information Processes in the Automated Control System for Moving Objects // CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2803. P. 67–75. URL: <http://ceurws.org/Vol-2803/paper10.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
6. Matlab. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата обращения: 01.12.2023).
7. GNU Octave. URL: <https://octave.org/> (дата обращения: 01.12.2023).
8. Engее. URL: <https://engее.com/> (дата обращения: 01.12.2023).

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-123-124

В. А. Ушаков*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ГАНТА С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ PLOTLY.JS

Рассматривается вопрос программной реализации построения диаграмм Ганта как графического представления результата решения задач структурно-функционального синтеза.

Ключевые слова: диаграмма Ганта, теория расписаний, теория оптимального управления, задачи структурно-функционального синтеза.

V. A. Ushakov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

BUILDING GANTT CHARTS USING THE PLOTLY.JS LIBRARY

This article discusses the issue of programmatic construction of Gantt charts as a graphical representation of the result of solving tasks of structural and functional synthesis.

Keywords: Plotly.js, Gantt chart, scheduling theory, optimal control theory, tasks of structural-functional synthesis.

Введение

Как показали предыдущие научные исследования [1]–[3] необходимо дальнейшее развитие основ многокритериального оперативного синтеза не только технологий, но и их программной реализации. Учитывая, постоянно растущую сложность решаемых научных задач остается актуальным применение средств вычислительной техники для проведения расчетных операций. При разработке данных программ должна быть обеспечена наглядная визуализация результатов моделирования, в частности, диаграмм Ганта.

Решение задач структурно-функционального синтеза

Решение широкого круга научных задач требует в качестве решения построения диаграмм Ганта. К таким задачам в том числе относятся задачи планирования и управления перемещением подвижных объектов; задачи управления информационными процессами, к которым относятся задачи синтеза (выбора, оптимизации) наилучшей технологии организации информационных процессов группировки подвижных объектов и

задачи программного управления (планирования) информационными процессами для синтезированной технологии управления указанными процессами. В целом, указанные задачи относятся к классу задач оперативного многокритериального выбора технологий и программ управления информационными процессами при взаимодействии подвижных объектов [3]–[5].

Построение диаграмм Ганта при решении задач структурно-функционального синтеза

На сегодняшний день применение математических пакетов прикладных программ (МППП) стало стандартом при разработке специального модельно-алгоритмического обеспечения, при проведении научных исследований и предпочтительным методом комплексного (системного) моделирования. Например, в [4], [6], [7] качестве МППП был выбран Mathworks Matlab [8], [9] для прототипа программного модуля специального модельно-алгоритмического обеспечения (СМАО) решения задач оперативного планирования информационных процессов при взаимодействии подвижных объектов. Пример диаграммы Ганта показан на рис. 1.

Диаграмма Ганта

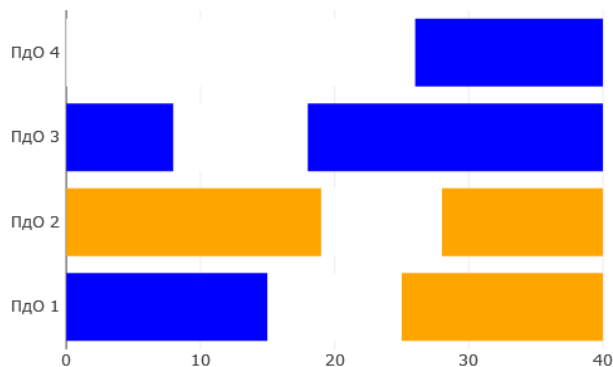


Рис. 1. Пример диаграммы Ганта

Однако, как показала разработка СМАО, несмотря на все достоинства Matlab, он плохо подходит для построения диаграмм Ганта, которые являются графическим представлением результата решения задач структурно-функционального синтеза. Поэтому в качестве программного обеспечения для построения диаграмм Ганта выбрана библиотека Plotly.js. Она является одной из лучших бесплатных библиотек для создания различных графиков. Учитывая, что многие задачи структурно-функционального синтеза являются многокритериальными, то отдельными плюсами является функции масштабирования, панорамирования, автомасштабирования и другие, поддерживаемые указанной библиотекой.

Заключение

Таким образом, в статье затронут вопрос программной реализации построения диаграмм Ганта как графического представления результата решения задач структурно-функционального синтеза.

Список источников

1. Захаров В. В. Модели и алгоритмы планирования функционирования и модернизации корпоративной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. СПб., 2021. 172 с.
2. Потрясаев С. А. Динамическая модель и алгоритмы комплексного планирования операций и распределения ресурсов в корпоративной информационной системе: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. СПб., 2009. 159 с.
3. Потрясаев С. А. Синтез технологий и комплексных планов управления информационными процессами в промышленном интернете: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01, 05.13.11. СПб., 2020. 312 с.
4. Мурашов Д. А., Ушаков В. А. Постановка и анализ путей решения задачи синтеза программ управления и параметров информационно-вычислительной сети на основе полимодельного описания // Авиакосмическое приборостроение. 2022. № 8. С. 23–32.
5. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
6. Ушаков В. А. Модели и алгоритмы управления информационными процессами при взаимодействии подвижных объектов. Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 3–1 (57). С. 235–247.
7. Ушаков В. А. Комбинированные модели и алгоритмы планирования информационных процессов при взаимодействии подвижных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 2.3.1. СПб.: СПб ФИЦ РАН, 2022. 181 с.
8. MATLAB Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 15.01.2022).
9. Чен К., Джиблин П., Ирвинг А. Matlab в математических исследованиях: пер. с англ. В. Е. Кондрашова, С. Б. Королева. М.: Мир, 2001. 346 с.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-125-131

Д. В. Богданов*

кандидат технических наук, доцент

А. А. Ивлева*

студентка

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ REACT.JS
В РАЗРАБОТКЕ ЛИЧНОГО БЛОГА

Рассмотрены возможные подходы к реализации личного блога с учетом потребностей пользователей и актуальности данной разработки, а также возможности библиотеки React.js, с помощью которых по заданным критериям может быть реализован блог в рамках фронтенд-разработки. Проведен анализ достоинств и недостатков выбранной технологии, на основе анализа приведен вывод об эффективности использования библиотеки React.js в рамках разработки личного блога.

Ключевые слова: React.js, компонент, библиотека, фреймворк, фронтенд-разработка, интерфейс, личный блог.

D. V. Bogdanov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

A. A. Ivleva*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

BUILDING A PERSONAL BLOG USING REACT.JS LIBRARY

The article describes possible approaches to building a personal blog, taking into account the needs of users and the relevance of the application. The features of the React.js library are considered according to the specified criteria of the application, as the personal blog is meant as a part of front-end development. An analysis of the advantages and disadvantages of the technology is carried out; based on the analysis, there was made a conclusion about the effectiveness of using the React.js library as a tool for building a personal blog.

Keywords: React.js, component, library, framework, front-end development, interface, personal blog.

Введение

В настоящее время различные блоги становятся наиболее популярным инструментом самовыражения и способом заявить о себе миру. В связи с этим практически каждый человек стремится завести в Интернете свой веб-сайт либо создать аккаунт в таких сервисах, как Instagram или Twitter, канал в Telegram, чтобы делиться тем, что было бы полезно и интересно другим.

Чтобы иметь блог, не обязательно быть программистом – достаточно зарегистрироваться на подходящей платформе, регулярно публиковать контент и взаимодействовать с читателями. Однако при таком подходе автор всегда рискует безопасностью собственных персональных данных, уникальностью опубликованного

контента, а иногда и вынужден платить за рекламный доход от блога. Еще одним фактором риска становится потенциальное закрытие платформы ее создателями: как известно, многие существующие платформы подвержены изменениям в своей политике, что может повлиять на доступность и видимость пользовательских материалов. Независимая блог-платформа обеспечивает стабильное и надежное пространство для хранения и представления контента без риска потери данных из-за изменений в политике владельцев платформы.

В данном случае наиболее удобным вариантом для ведения блога становится разработка собственного веб-сайта с авторским контентом, где каждая страница соответствует только той тематике, которую для себя выбрал автор. Ког-

да блог из небольшого Интернет-дневника вырастает до узнаваемой платформы, есть возможность превратить свое увлечение в личный бренд, что также способствует узнаваемости в сети. Крупные блоги, чьи авторы имеют высокий уровень доверия у собственной аудитории, нередко становятся ресурсом, который возможно монетизировать: продвигать собственные разработки, какие-либо сторонние проекты в качестве рекламы, продавать чужие услуги.

Основная цель разработки

Разработка личного блога представляет собой задачу фронтенд-разработки, поскольку акцент делается на создание интуитивно понятного и привлекательного пользовательского интерфейса. В контексте создания масштабных проектов независимая блог-платформа предоставляет большой уровень контроля над функциональностью и дизайном интерфейса, что особенно важно для тех, кто стремится к индивидуальной стилизации и адаптации платформы под свои потребности и предпочтения.

Основная цель заключается в обеспечении удобства взаимодействия пользователя с платформой при ведении личного блога, а также в создании адаптивного дизайна, который бы подстраивался под ширину экрана любого устройства. Следовательно, выбор технологии для реализации задачи играет важную роль, так как определяет набор возможностей, доступных разработчику. В рамках реализации личного блога было принято решение использовать библиотеку React.js [1], так как ее возможности полностью удовлетворяют требованиям поставленных задач.

Решение имеющихся задач с помощью возможностей React.js

При разработке приложения обозначенные задачи могут быть решены по-разному – выбор зачастую зависит от предпочтений разработчика и от целесообразности применения того или иного способа.

Основными задачами, подлежащими к решению при создании личного блога, были определены: разработка блока постов и механизма их получения с API, реализация возможности добавления, удаления и изменения отдельного поста, а также разработка форм и реализация функционала регистрации и авторизации.

Одним из основных преимуществ, повлиявших на выбор React.js как инструмента для разработки, является архитектура, основанная на

компонентах. Данный подход соответствует принципу «DRY» (англ. «Do not Repeat Yourself», что означает «Не повторяйся») [2], позволяет сократить количество одинакового кода и декомпозировать пользовательский интерфейс на более мелкие составляющие с возможностью их многократного применения в любой точке приложения. Это предоставляет возможность легко создавать и поддерживать сложные пользовательские интерфейсы путем постепенной разработки и компоновки их частей, значительно упрощает отладку приложения, так как подсказки в консоли сразу обозначают, в каком из компонентов допущена ошибка, и сокращает время отклика программы.

Ключевой идеей разбиения на компоненты является один из базовых принципов разработки «Single Responsibility Principle» (англ. «Принцип единственной ответственности») [3], который гласит, что у модуля должна быть только одна причина для изменения.

Соответственно, в процессе разработки каждой из форм были реализованы индивидуальные компоненты. Например, форма создания нового поста (рис. 1) в блоге содержит в себе такие необходимые поля, как заголовок и тело поста. На самой форме содержится информация о том, что после заполнения всех полей может быть создана новая публикация, кнопка подтверждения и иконка, по клику на которую данная форма будет скрыта. В случае нажатия на кнопку, подтверждающую публикацию, форма будет скрыта автоматически, а пост – опубликован в блоге.

Форма изменения поста (рис. 2) разработана по аналогии с формой создания (рис. 1) и содержит в себе те же самые поля: заголовок и тело – основной текст. Но при этом каждое из полей не является пустым и содержит в себе те данные, которые доступны для изменения. На самой форме содержится информация о том, что с ее помощью пост может быть отредактирован, кнопка подтверждения изменений и иконка, по клику на которую данная форма будет скрыта. В случае нажатия на кнопку принятия изменений форма скрывается автоматически, а данные обновляются и сохраняются в блоге.

Родительский компонент, содержащий список постов личного блога, также разбит на дочерние составляющие – собственно, посты. Поскольку компонентная архитектура React.js позволяет использовать однажды созданный блок множество раз, но при этом представлять различные данные за счет возможности их передачи с помощью пропсов («props», или «properties» – англ. «свойства») [4], в качестве шаблона был создан единственный компонент поста (рис. 3)

Рис. 1. Компонент формы добавления поста

Рис. 2. Компонент формы изменения поста

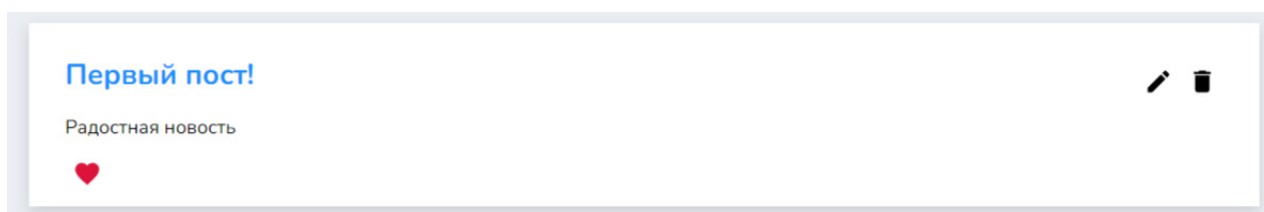


Рис. 3. Компонент поста с данными, полученными от сервера

со всеми необходимыми полями для подстановки получаемых с сервера данных (см. фрагмент структуры шаблона поста, компонент `ArticleItem.jsx`).

Фрагмент структуры шаблона поста, компонент `ArticleItem.jsx`:

```
return (
  <div className="post">
    <div className="post__container">
      <h2>{title}</h2>
      <p>{description}</p>
      <div>
        <button onClick={likePost}>
          <FavoriteIcon style={{ fill: isLiked
        </button>
        {liked}
      </div>
    </div>
    <div className="functional__btns">
      <button className="edit__btn"
onClick={showEditForm}>
        <EditIcon />
      </button>
      <button className="delete__btn"
onClick={handleDeleteArticle}>
        <DeleteIcon />
      </button>
    </div>
  </div>
);
```

В представленном фрагменте наименования, заключенные в фигурные скобки (`title` – за-

головки, `description` – тело поста, `isLiked` – флаг оценки), и являются пропсами, или свойствами, которые передаются в дочерний компонент от родительского.

Также стоит обратить внимание на формат файла `JSX`. `JSX` – это специальный синтаксис `React.js`, расширение `JavaScript`, удобно совмещающее в себе `HTML`-подобный синтаксис для описания структуры интерфейса.

Получение данных с сервера происходит с помощью специальной технологии `Axios` [5] – библиотеки `JavaScript`, предоставляющей простой и интуитивно понятный интерфейс для выполнения всех основных методов `HTTP`-запросов.

Преимущества использования `Axios` в проектах на `React.js` заключается в том, что ее возможности позволяют поддерживать не только браузеры, но и `Node.js`, что делает данную библиотеку идеальным выбором для применения на клиентской и на серверной стороне. В сравнении с методом `Fetch API`, `Axios` дает возможность отмены запросов, позволяет сократить количество строк кода, имеет встроенное и улучшенное определение и обработку ошибок. Также библиотека облегчает обработку асинхронных операций, что значительно сокращает время отклика программы, так как асинхронные операции не требуют полного завершения предыдущих функций для того, чтобы начать свое выполнение.

Изначально данные хранятся в формате `JSON` (рис. 4) на созданном Интернет-ресурсе `API` [6]. В результате обработки запроса по получению этих данных (см. пример запроса по получению данных с помощью `Axios`) они помещают-

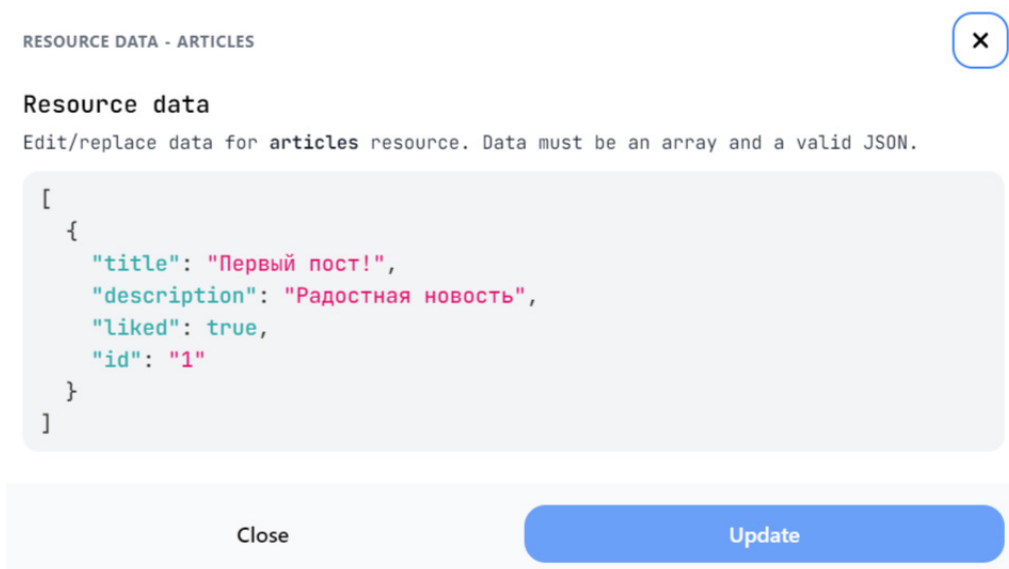


Рис. 4. Хранение данных в формате JSON

ся в массив с соответствующим содержанию именем `blogArray`, чтобы далее в качестве свойств отобразиться в компоненте каждого поста.

Пример запроса по получению данных с помощью `Axios`:

```
fetchArticles=() => {
  // устанавливаем индикатор загрузки как true
  // получаем данные с API
  axios
    .get(customAPI)
    .then((response) => {
      console.log(response.data);
      // вносим данные в массив
      // переключаем индикатор загрузки
      в false, так как загрузка завершена
      this.setState({
        blogArray: response.data,
        isLoading: false,
      });
    })
    .catch((err) => {
      console.log(err);
    });
};
```

Функционал добавления новых данных реализован с помощью специально созданного компонента формы добавления поста и соответствующего метода `Post`, который в `Axios` схож с методом получения данных, с тем лишь отличием, что новый ресурс, который должен быть создан, предоставляется в качестве второго аргумента после конечной точки API и имеет тип

объекта (см. пример `Post`-запроса по отправке данных в `Axios`). Выполнение запроса происходит по нажатию на кнопку публикации поста на форме (рис. 5). Как видно из представленного рисунка, при наведении фокуса на кнопку происходит ее визуальное выделение с помощью изменения цвета.

Пример `Post`-запроса по отправке данных в `Axios`:

```
handleAddArticle=(article) => {
  this.setState({
    isLoading: true,
  });
  axios
    .post(customAPI, article)
    .then((response) => {
      console.log("article added ", response.data);
      // вызываем отрисовку массива после
      обновления данных на сервере
      this.fetchArticles();
    })
    .catch((err) => {
      console.log(err);
    });
};
```

В результате выполнения запроса данные конвертируются в формат `JSON` и отправляются на указанный Интернет-ресурс API (рис. 6). Как видно из структуры, флаг `liked` для первого объекта имеет значение `«true»`, а для второго – `«false»`. В списке постов блога (рис. 7) это отображено в виде специальной иконки в фор-

Рис. 5. Создание нового поста для блога

ме сердца, закрашенной красным цветом в случае, когда значение флага равно «true». Состояние флага задается переменной типа «boolean» и может изменяться по нажатию на иконку.

Затем, с помощью запроса по получению данных, список постов обновляется и отображается на экране (рис. 7).

Resource data

Edit/replace data for `articles` resource. Data must be an array and a valid JSON.

```
[
  {
    "title": "Первый пост!",
    "description": "Радостная новость",
    "liked": true,
    "id": "1"
  },
  {
    "title": "Второй пост!",
    "description": "Содержание второго поста.",
    "liked": false,
    "id": "2"
  }
]
```

Рис. 6. Обновленный список постов на API в формате JSON

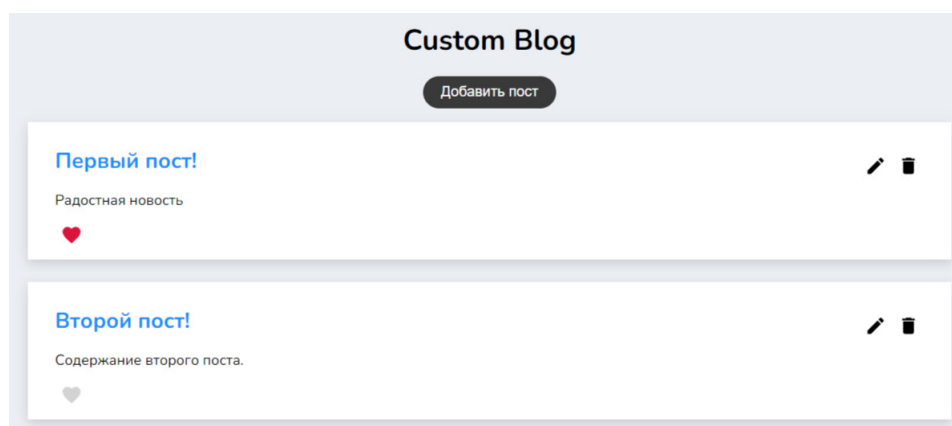


Рис. 7. Обновленный список постов в блоге

Изменение имеющихся данных происходит с помощью метода Put, по аналогии с методом Post принимающим объект в качестве второго аргумента. На форме, содержащей данные выбранного для изменения поста, также имеется кнопка подтверждения изменений, по нажатию на которую происходит выполнение запроса (рис. 8).

Далее с помощью запроса по получению данных, список постов обновляется и отображается на экране в соответствии с внесенными изменениями (рис. 9).

Краткая характеристика достоинств и недостатков выбранной технологии

Если внимательно рассмотреть структуру технологий во фронтенд-разработке, их область применения, распространенность среди разра-

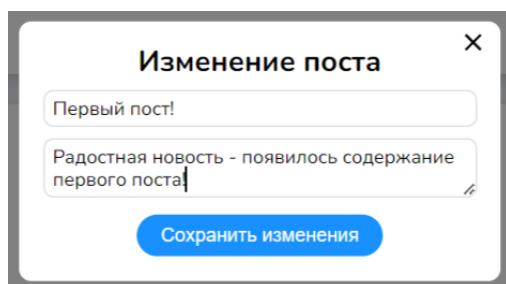


Рис. 8. Форма изменения поста

ботчиков и возможности, можно выделить как достоинства, так и недостатки.

В качестве инструмента разработки личного блога было принято решение выбрать библиотеку React.js. К основным преимуществам данной библиотеки можно отнести:

– Универсальность. React.js используется как для разработки одностраничных («SPA» – «Single Page Application»), так и мобильных приложений. Его цель – предоставить высокую скорость разработки, простоту и масштабируемость, а фокус направлен на компоненты и их состояния.

– Работа с виртуальным DOM («Virtual DOM», «Document Object Mode» – англ. «Объектная модель документа») [7] – одно из ключевых преимуществ React. Виртуальный DOM представляет собой облегченное представление в памяти реального DOM и позволяет библиотеке обновлять только те части интерфейса, которые затронули изменения. Лишь после изменений в виртуальной копии обновления применяются к реальным узлам интерфейса. Эта возможность повышает эффективность React по сравнению с другими технологиями, где изменения в компонентах приложения или сайта зачастую вызывают повторный рендеринг всей страницы.

– Использование модулей для стилизации каждого отдельного компонента исключает пересечение стилей за счет предотвращения конфликтов имен в классах: каждому классу при подключении стиля приписывается уникальное значение файла модуля стилизации компонента. В браузере с помощью инструментов разработчика можно увидеть, как в силу особенностей работы библиотеки каждый стиль впоследствии также получает свой уникальный идентификатор (рис. 10).

– React легко интегрируется с другими библиотеками и фреймворками, которые могут быть использованы для иных аспектов приложения, таких как маршрутизация или управление состоянием компонентов. Подобный подход упрощает понимание поведения приложения в тех или иных ситуациях и облегчает его отладку в случае возникновения ошибок.

– По статистике npm [8], React.js является наиболее часто загружаемой библиотекой – следовательно, при возникновении каких-либо проблем разработчику не составит труда найти подходящее решение, ведь сообщество разработчиков React также гораздо более обширно, по сравнению с сообществами других фреймворков. Благодаря этому, решение уникальных вопросов всегда может быть вынесено на популярные платформы, такие как StackOverflow.

Недостатков у React.js не так много, но они также имеются. В этом случае можно выделить:

– Хотя React и представляет собой библиотеку, а не фреймворк, в отличие от других технологий – например, Vue.js и Angular – он тоже довольно сложен в изучении. Так как его архитектура предполагает декомпозицию интерфейса на отдельные компоненты, изучающему данную библиотеку разработчику придется отойти от шаблонов мышления, которые ранее исполь-

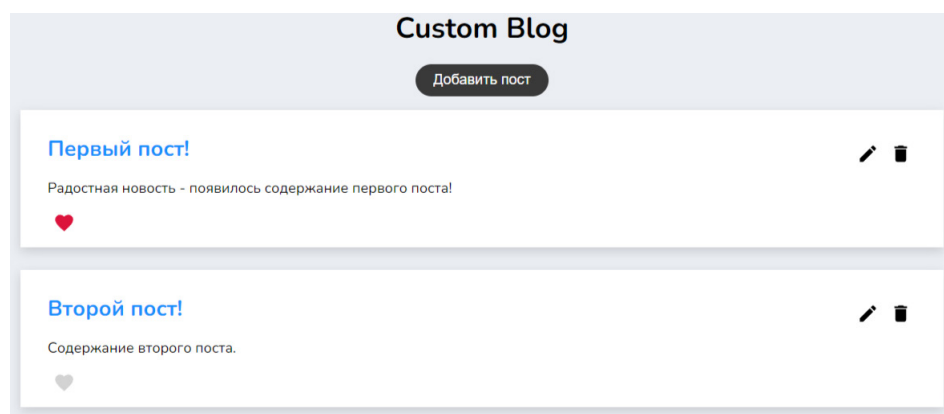


Рис. 9. Обновленный список постов в блоге

```
▼ <div id="root">  
  ▼ <div class="App_blog_container_oATf4"> == $0  
    ▼ <header> flex
```

Рис. 10. Уникальные наименования стиля блока `div` компонента `App`

зовались в работе с более традиционными мо-
нолитными инструментами.

– Большой объем пакета JavaScript-активов и других, обеспечивающих корректную работу приложения, может увеличивать время загрузки и отклика приложения.

– Постоянные обновления версий React влияют на работоспособность проектов, содержащих устаревшие версии технологий и дополнительных библиотек. Однако благодаря своей популярности и огромному сообществу разработчиков в React существует множество способов поддержки таких приложений даже при наличии более актуальных версий.

Выводы

В процессе разработки личного блога с помощью библиотеки React.js и на основе анализа способов решения возникших задач было выявлено, что применение данной технологии и совместимых с ней других средств разработки помогает сократить объемы кода, написать его более понятным и структурированным, упростить взаимодействие с HTTP-запросами, а также предоставляет возможность декомпозировать большие блоки на отдельные компоненты. В рамках более крупных проектов это может значительно снизить стоимость разработ-

ки, поддержки, обновления и отладки приложений, а также сделать их значительно быстрее. Освоение React дается намного легче, в отличие от других существующих технологий, ведь его синтаксис JSX практически не отличается от привычного JavaScript и HTML. Благодаря своим возможностям, React.js становится крайне эффективным в тех проектах, где предполагается большое число динамических страниц.

Список источников

1. Официальная документация React.js. URL: <https://react.dev/> (дата обращения: 20.11.2023).
2. Принцип разработки программного обеспечения DRY. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Don't_repeat_yourself (дата обращения: 21.11.2023).
3. Основные принципы ООП. Принцип единственной ответственности. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип_единственной_ответственности (дата обращения: 21.11.2023).
4. Официальный перевод документации React.js на русский язык. Компоненты и свойства. URL: <https://ru.react.js.org/docs/components-and-props.html> (дата обращения: 21.11.2023).
5. Официальная документация Axios. URL: <https://axios-http.com/> (дата обращения: 22.11.2023).
6. Инструмент макетирования API-интерфейсов. URL: <https://mockapi.io/> (дата обращения: 22.11.2023).
7. Объектная модель документа DOM. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Document_Object_Model (дата обращения: 22.11.2023).
8. Официальная документация сервиса npm. URL: <https://docs.npmjs.com/> (дата обращения: 23.11.2023).

УДК 004.83

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-132-134

В. Н. Коромысличенко*

кандидат технических наук, доцент

Д. Д. Непша*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОПИЛОТИРУЕМОГО АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Виртуальные гоночные симуляторы давно перестали быть просто развлечением. Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) дали им новое измерение, позволив создавать реалистичных виртуальных пилотов, способных управлять транспортным средством на равных условиях с человеком. Проекты по созданию автопилотов для виртуальной реальности стали не только интересной развлекательной инновацией, но и площадкой для исследования принципов работы ИИ, его обучения и применения в реальной жизни. В данной статье будут затронуты темы основ функционирования автомобильного ИИ, рассмотрены этапы его создания, а также освещена тема о вызовах и перспективах, связанных с этой областью.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ, автопилот, обучение с подкреплением, Proximal Policy Optimization.

V. N. Koromyslichenko*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

D. D. Nepsha*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CONTROLLING THE MOVEMENT OF AN AUTOPILOTED VEHICLE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Virtual racing simulators have long ceased to be just entertainment. Modern artificial intelligence (AI) technologies have given them a new dimension, allowing them to create realistic virtual pilots capable of driving a vehicle on equal terms with a human. Projects to create autopilots for virtual reality have become not only an interesting entertainment innovation, but also a platform for researching the principles of AI, its training and application in real life. This article will cover the basics of the functioning of automotive AI, the stages of its creation, as well as the topic of challenges and prospects related to this area.

Keywords: artificial intelligence, AI, autopilot, reinforcement learning, Proximal Policy Optimization.

Обзор существующих подходов

Перед тем как начать разработку автопилота на основе ИИ [1], важно ознакомиться с существующими подходами и технологиями в этой области. Среди них выделяются следующие:

– обучение с подкреплением (*Reinforcement Learning*). Этот подход позволяет автопилоту учиться на основе опыта и награды за правильные действия. Применение глубоких Q-сетей и других методов обучения с подкреплением позволяет создавать адаптивных автопилотов, способных анализировать ситуацию на трассе и принимать решения;

– эволюционные алгоритмы (*Evolutionary Algorithms*). В этом подходе автопилот улучша-

ется через процесс естественного отбора и мутации. Нейроэволюция – пример подхода, позволяющего создавать интеллектуальных автомобилей путем эволюции нейронных сетей;

– обучение на основе имитации (*Imitation Learning*). В этом подходе автопилот учится путем повторения действий человеческого пилота или опытного агента. Использование сверточных нейронных сетей позволяет создавать автопилотов, способных копировать сложные маневры и стратегии.

Постановка задачи

Цель данной работы заключается в разработке программы автопилота для автомобиля в

виртуальной среде. Автопилот должен обеспечивать автоматическое управление автомобилем в игре, адаптируясь к окружающей среде и обеспечивая оптимальное и безопасное движение автомобиля по трассе. Для достижения этой цели требуется выполнение следующих задач:

– *обработка входных данных*. Разработать механизм получения данных о текущем состоянии автомобиля, включая скорость, положение, угол поворота, а также информацию о дороге и окружающей среде из игрового движка или интерфейса;

– *распознавание окружающей среды*. Создать алгоритм, способный распознавать и анализировать препятствия, другие транспортные средства, дорожные знаки и другие элементы окружающей среды на трассе;

– *принятие решений*. Разработать стратегию, основанную на данных о текущей ситуации и окружающей среде, для принятия решений о скорости движения, угле поворота, торможении и ускорении;

– *управление автомобилем*. Создать механизм передачи команд управления автомобилем в игровой движок, включая изменение скорости, направления движения и применение тормозов и газа;

– *моделирование физики*. Реализовать модель физики движения автомобиля, учитывая основные принципы динамики и дорожного взаимодействия, для достижения реалистичного поведения автомобиля на трассе;

– *избегание столкновений*. Разработать алгоритм, позволяющий избегать столкновений с препятствиями и другими транспортными средствами, путем вычисления безопасных траекторий и принятия соответствующих действий;

– *обучение и адаптация*. Внедрить обучение с подкреплением, позволяющее автопилоту на основе полученного опыта корректировать свою стратегию в зависимости от результатов и условий игры.

Для реализации данных задач предполагается использование алгоритма обучения с подкреплением [2], который будет адаптировать стратегию автопилота на основе полученной награды или штрафа за его действия. Автопилот будет обучаться методом проб и ошибок, постепенно улучшая свои навыки и стратегии в процессе многократных гонок. Одновременно с этим, будут учитываться особенности дороги, взаимодействие с другими автомобилями и адаптация к различным условиям мира.

Решение задачи

Существует множество алгоритмов обучения с подкреплением, таких как Q-обучение,

Deep Q-Networks (DQN), Proximal Policy Optimization (PPO) и др. Выбор алгоритма зависит от сложности задачи и доступных ресурсов.

Для системы автопилота, хорошим выбором является алгоритм Proximal Policy Optimization (PPO) [3]. PPO является одним из алгоритмов обучения с подкреплением, который хорошо подходит для задач с непрерывными действиями и высокой степенью стохастичности, такими как контроль автомобиля.

Преимущества PPO

1. Стабильность обучения. PPO разработан с учетом стабильности и безопасности обучения, что позволяет избегать слишком больших изменений в стратегии агента на каждой итерации. Это важно, чтобы обучение не расходилось в сторону неоптимальных решений.

2. Непрерывные действия. PPO хорошо работает с непрерывными действиями (например, плавное ускорение и управление) и позволяет агенту находить оптимальные управляющие сигналы.

3. Адаптивность. PPO способен адаптироваться к разным условиям и стратегиям с разной степенью стохастичности.

4. Применимость к большим данным. Учитывая, что предполагается довольно большое пространство состояний, PPO позволит эффективно работать с большими объемами данных.

Основные положения алгоритма обучения автопилота

План реализации и интеграция автопилота:

1. Подготовка окружение:

- создать объекты, представляющие автомобили, трассы и дорожные знаки;
- реализовать логику для передвижения автомобилей, взаимодействия с трассой и другими транспортными средствами.

2. Настройка среды для обучения:

- ввести пространство состояний и действий для агента. Состояния могут включать информацию о положении автомобиля, его скорости, положении соперников и т. д.;
- определить пространство действий, такие как управление рулем и акселератором.

3. Выбор библиотеки и реализация PPO:

- создать агента и определите его нейронную сеть (обычно это будет нейросеть с полносвязными слоями), которая будет аппроксимировать стратегию агента.

4. Определение функции награды:

- определить функцию награды, которая будет оценивать успех агента на трассе. Например, награждать за успешный обгон, прохожде-

ние через контрольные точки, удержание оптимальной скорости и т. д.

5. Обучение агента:

- агент будет взаимодействовать с игровым окружением, выбирать действия и получать награды на основе своих действий;

- алгоритм PPO будет обновлять параметры нейронной сети агента, чтобы улучшить его стратегию в соответствии с набранными наградами.

6. Настройка гиперпараметров:

- параметры PPO и структуру нейронной сети следует настроить, чтобы достичь наилучших результатов;

- экспериментирование с параметрами, такими как коэффициенты штрафов и наград, параметры оптимизации нейронной сети и т. д.

7. Тестирование:

- проведение тестирования агента после обучения на различных трассах и соперниках;

- анализ результатов, чтобы понять, какие параметры или стратегии нужно доработать.

Заключение

Классические методы создания автопилота включают в себя запрограммированные правила

и эволюционные алгоритмы, которые определяют поведение автомобилей на трассе. Однако с развитием искусственного интеллекта стали популярны подходы, основанные на машинном обучении, такие как обучение с подкреплением и обучение на основе имитации. Эти методы позволяют автопилотам адаптироваться к разным условиям, учиться на своих ошибках и в конечном итоге достигать выдающейся производительности при управлении автомобилем.

Список источников

1. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd ed.). Prentice Hall. 2009. 1152 p.
2. *Sutton R., Barto* Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.). MIT Press. 2018. 548 p.
3. *Schulman J., Wolski F., Dhariwal P.* Proximal Policy Optimization Algorithms. URL: <https://arxiv.org/abs/1707.06347v2> (дата обращения: 25.08.2023).

УДК 004.891

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-135-140

М. Ю. Охтилев*

доктор технических наук, профессор

П. А. Охтилев*

кандидат технических наук

К. И. Тухватуллин*

студент

*Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ

Статья посвящена анализу текущей ситуации в области определения интероперабельности гетерогенных информационных систем. Произведен обзор нормативной документации и разработана программа расчета интероперабельности гетерогенных систем. Сделан вывод о необходимости дополнительных исследований в области обеспечения интероперабельности унаследованных информационных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, интероперабельность, проектирование, разработка.

М. Y. Okhtilev*

Dr. Sc. Tech., Professor

P. A. Okhtilev*

PhD Sc. Tech.

K. I. Tukhvatullin*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM OF EXPERIMENTAL INTEROPERABILITY LEVEL RESEARCH

The article is devoted to the analysis of current situation at field of defining interoperability of heterogeneous information systems. Described normative documentation and developed program that calculating interoperability among heterogeneous systems. Concluded, that additional research of interoperability among inherited information systems is needed.

Keywords: intelligent system, interoperability, design, development.

Глобальная информационная сеть Интернет, по всей видимости, является первой информационной системой (ИС), создание которой и сама суть функционирования, основаны на обеспечении интероперабельности ее гетерогенных компонентов. Создание и развитие сети Интернет потребовало осознания и решения множества частных задач обеспечения интероперабельности.

На этапе зарождения сети Интернет специалистами решались задачи обеспечения технической, программной и информационной совместимости различных компьютерных систем, функционирующих под управлением различных операционных систем (ОС) и имеющих различное программное обеспечение (ПО), формирования разветвленной сетевой инфраструкту-

ры, разработки и внедрения единого стека сетевых протоколов и интерфейсов. Фактически это были самые первые шаги в области обеспечения интероперабельности больших информационных ИС [1].

В наше время вопрос интероперабельности стоит наиболее остро в связи с непрекращающимся ростом и развитием сети Интернет. Все больше новых типов ПО и систем интегрируются как в сеть Интернет, так и локальные сети, меняются стандарты взаимодействия в сетях и условия их использования. Очевидным становится необходимость оценки эффективности взаимодействия таких систем.

Из всего множества документов наиболее важными с точки зрения решения проблемы ин-

тероперабельности в особенности применительно к сетевым гетерогенным ИС представляются два концептуальных документа:

- модель оценки интероперабельности систем, возможностей, действий, программ и организаций – SCOPE-модель (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises model for interoperability assessment) [2];

- руководство по обеспечению интероперабельности NIF (NCOIC Interoperability Framework) [3]. В России эталонная модель интероперабельности систем была разработана в Институте радиоэлектроники им. В. А. Котельникова РАН и представлена в отечественном стандарте по интероперабельности – ГОСТ Р 55062-2012 «Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» [4].

В соответствии с данной эталонной моделью взаимодействие информационных систем формализуется на трех иерархических уровнях интероперабельности (рис. 1, 2) [4]:

1. техническом уровне;
2. семантическом уровне;
3. организационном уровне.

Технический уровень интероперабельности соответствует обеспечению единых стандартов формирования, передачи, хранения, поиска, обработки и представления информации.

Семантический уровень интероперабельности соответствует внедрению единых стандартов правильной интерпретации смысла циркулирующей в ИС информации: данных, докладов, сводок и сведений.

Организационный уровень интероперабельности соответствует общим нормативно-правовым актам, регламентирующим общие задачи обеспечения информационной совместимости сил и средств организационно-технических систем (ОТС) при решении ее целевых задач.

Представленный выше анализ показывает, что в настоящее время РФ серьезно отстает в области научно-технического задела в области интероперабельности как коммерческих автоматизированных систем управления (АСУ) и ИС.

Особая актуальность решаемой задачи по исследованию обеспечения комплексной функциональной совместимости существующих, унаследованных и создаваемых АСУ, и информационных систем военного назначения (ИС ВН) на базе интеллектуальных технологий состоит в том, что в условиях беспрецедентного санкционного давления ведущих западных стран в отношении Российской Федерации и ведения современных гибридных войн на основе цифровизации процессов одной из первоочередных задач становится обеспечение опережения конкурентов и потенциального противника в области совместного применения комплексных цифровых средств вооружения, военной и специальной техники за счет преодоления фрагментарной автоматизации с использованием интеллектуальных технологий обеспечения интероперабельности АСУ и ИС ВН.

При этом особую роль играет процесс анализа и исследования тактико-технических характеристик сопрягаемых АСУ и ИС, а также возможных путей сопряжения систем в конкретных сценариях их совместного применения. В этой связи актуальной первоочередной целью становится организация процесса имитационного моделирования (исследования) функциональной совместимости АСУ и ИС, позволяющего предварительно оценить прогнозный уровень интероперабельности систем в их текущей технологической реализации, а также оценить возможности повышения уровня интероперабельности. При этом ключевым преимуществом такого подхода является возможность дать конструктивную оценку уровня интероперабельности АСУ и ИС до того, как в обеспечение интероперабельности систем и их необходимую адаптацию вложены какие-либо временные, кадровые, финансовые или иные материальные ресурсы.

Научная и техническая новизна представленных результатов состоит в создании уникальной программной реализации модели локализации барьеров интероперабельности АСУ и ИС ВН, не имеющей аналогов. Экспериментальная программа предоставляет инструментальные средства моделирования интеропера-

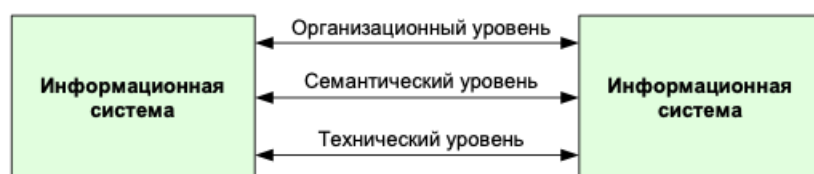


Рис. 1. Отечественная эталонная модель интероперабельности



Рис. 2. Проблемно-ориентированная модель

бельности сопрягаемых систем и функционирует на основе интеллектуальных технологий извлечения, представления и манипулирования экспертными знаниями.

В ходе создания экспериментальной программы разработаны требования к составу и структуре модели локализации барьеров интероперабельности АСУ и ИС, сформированы требования к применению программы, разработано подробное описание применения созданной программы. Описан порядок тестирования, валидации и верификации моделей интероперабельности АСУ и ИС ВН программным способом. Разработаны методические рекомендации по формированию информационного профиля интероперабельности, включающего рекомендации для разработчиков и изготовителей АСУ и ИС ВН по повышению и достижению целевого уровня интероперабельности.

Экспериментальная программа создана с учетом применения технологий искусственного ин-

теллекта, возможностей масштабирования на принципах открытых систем, функционирования в доверенной аппаратно-программной среде. В программной реализации модели локализации барьеров интероперабельности АСУ и ИС ВН созданы функциональные подсистемы аналитического расчета уровня интероперабельности, интерактивных редакторов баз знаний о характеристиках интероперабельности, а также решатель, обеспечивающий локализацию барьеров интероперабельности.

Экспериментальная программа по существу является программным комплексом, включающим 5 независимо функционирующих подсистем, но связанных работой с единой базой знаний:

- «редактор базы знаний о характеристиках интероперабельности»;
- «редактор технологической карты АСУ и ИС ВН»;
- «редактор циклограммы управления АСУ и ИС ВН»;

- «решатель модели локализации барьеров интероперабельности»;

- «модуль аналитического расчета уровня интероперабельности».

Модули редакторов предназначены для погружения в систему экспертных знаний для организации последующих вычислений и локализации барьеров интероперабельности. Каждый из модулей может функционировать автономно и использоваться вне зависимости от состояния остальных.

Каждый из редакторов ориентирован на конкретную категорию пользователей:

- «редактор базы знаний о характеристиках интероперабельности» ориентирован на применение экспертами в области ИО АСУ и ИС ВН и системными аналитиками, которые на основе своих знаний могут сформировать проблемно-ориентированную модель ИО, учитывающую ключевые характеристики ИО для конкретных сопрягаемых АСУ и ИС, а также порядок их расчета на основе заданных тактико-технических характеристик систем;

- «редактор технологической карты АСУ и ИС ВН» ориентирован на применение экспертами АСУ и ИС, которые могут задать конкретный перечень сопрягаемых АСУ и ИС и отразить конкретные значения технологических параметров (тактико-технических характеристик) систем;

- «Редактор циклограммы управления АСУ и ИС ВН» ориентирован на применение операторами программы, которые могут задать конкретную циклограмму (сценарий управления) совместного применения сопрягаемых АСУ и ИС, а также указать задействованные в ходе такого взаимодействия тактико-технические характеристики систем.

Для лучшего понимания работы системы следует рассмотреть пример ее работы.

Применение экспериментальной программы начинается с работы в редакторе базы знаний интероперабельности (БЗ ИО). Редактор базы знаний представляет собой приложение, содержащее в себе набор средств для извлечения и погружения в систему экспертных знаний по проблемно-ориентированной модели ИО сопрягаемых АСУ и ИС ВН с учетом трех категорий совместимости: организационной, семантической и технической. Проблемно-ориентированная модель предполагает указание характеристик ИО сопрягаемых систем, их расчетных параметров и экспертных оценок, необходимых для определения уровня ИО сопрягаемых систем. Также редактор БЗ ИО предоставляет средства манипулирования базами знаний и их

содержимым: создание, открытие, сохранение, редактирование.

В БЗ сначала экспертами задаются характеристики ИО и порядок их расчета. В ходе задания того, как рассчитывать характеристики ИО экспертами определяются те параметры АСУ, по которым можно оценить выполнимость характеристик ИО и, соответственно, оценить уровень ИО в целом.

Все заданные экспертами параметры на следующих этапах наполнения баз знаний появляются списком в технологической карте АСУ для задания конкретных их значений технологами.

Созданные характеристики появляются в списках на вкладке «Модель уровней ИО» (рис. 6). Уровни ИО – это, по существу, возможные степени интероперабельности сопрягаемых АСУ и ИС. В программе реализовано 3 допустимых уровня: «связно», «автономно», «изолированно». Для каждого из уровней экспертами должно быть указано, выполнение каких характеристик считается обязательным для соответствующего уровня (если необходимо), а также указано, какое минимальное количество характеристик должно быть выполнено для каждого из уровней.

Технолог АСУ в редакторе технологической карты добавляет исследуемую АСУ, и для нее появляются все параметры, которые были заданы экспертами (рис. 5). Далее он должен задать конкретные значения этих параметров исходя из документации на АСУ.

Редактор технологической карты АСУ – это приложение, предназначенное для внесения в базу знаний сведений о составе сопрягаемых систем и значениях их технологических параметров.

Редактор технологической карты АСУ предназначен для моделирования технологической карты сопрягаемых АСУ и ИС ВН на основе созданной ранее базы знаний. Технологическая карта составляется для каждой сопрягаемой системы и должна содержать полный перечень расчетных параметров характеристик ИО. В редакторе задаются конкретные экземпляры сопрягаемых систем, после чего вводятся значения технологических параметров.

В окне возникнет таблица параметров, которую необходимо заполнить для каждой системы. Для заполнения таблицы параметров необходимо нажать на требуемый параметр в столбце «Значение». Ввести можно только данные того типа, который указан в столбце «Тип». Если тип строковый, то ввести можно строковое значение, если «число» – то только число, если «бинарный» – то только значения «0» или «1».

Так необходимо заполнить значениями каждый из параметров для каждой из систем, а по окончании выполнения работы сохранить базу знаний. После этого следует перейти в редактор циклограммы. Он предназначен для внесения в базу знаний данных о порядке применения пар сопрягаемых систем, совместно реализующих задаваемый алгоритм действий. С его помощью конечный пользователь вносит в базу знаний сведения о том, какая последовательность действий выполняется, какие пары АСУ и ИС сопряжены с реализацией этих действий, какой набор технологических параметров систем нужен для выполнения каждого заданного действия.

Показатель взаимодействия систем можно ввести только в редакторе циклограммы, он принимает одно из трех значений: «-1», «0» и «1», показатель взаимодействия, необходимый для определения показателя ИО оригинальным матричным методом. По завершении ввода данных таблицу следует верифицировать, нажав соответствующую кнопку.

После верификации таблицы действий становятся доступны опции «Матрица ИО» и «Рассчитать» вызывающие соответствующие функции решателя. Решатель предназначен для выполнения нескольких функций:

- локализации (поиска и идентификации) барьеров ИО сопрягаемых АСУ и ИС по заданной циклограмме их совместного применения;
- определения прогнозного уровня ИО для заданной циклограммы совместного применения АСУ и ИС.

Несмотря на то, что алгоритм работы решателя детерминирован, принцип его функционирования определяется декларативно-процедуральным описанием экспертных знаний в базе знаний. Это означает, что расчеты, выполняемые решателем, целиком зависят от структурно-функциональных и структурно-параметрических связей, задаваемых в редакторе БЗ ИО. По существу, решатель опирается на специализированную модель представления знаний ИО, которая предполагает задание экспертами:

- проблемно-ориентированной модели ИО;
- модели уровней ИО;
- модели (технологической карты) сопрягаемых АСУ и ИС;
- модели совместного применения (циклограммы) сопрягаемых АСУ и ИС.

Таким образом, решатель является ключевым компонентом программы как интеллектуальной системы, а сама программа в терминах классической теории искусственного интеллекта является экспертной системой – инструментальной средой

описания экспертных знаний и организации вычислений (выводов) на их основе.

При нажатии кнопки «Матрица ИО» строится частотная матрица взаимодействия ИС между собой на каждом шаге циклограммы.

Чтобы разработать частотную матрицу, необходимо идентифицировать операционный поток. Поток должен показывать последовательность операций, выполняемых в процессе всеми системами. Пусть «Т» – упорядоченный набор всех систем в потоке, а «С_{ij}» – частота системной пары, которая повторяется, когда элементы «Т» используются дважды в прямом направлении.

Если «Т={1,2,2,3,4,2}», то имеется 15 системных пар, взятых в прямом направлении: «{(1,2), (1,2), (1,3), (1,4), (1,2), (2,2), (2,3), (2,4), (2,2), (2,3), (2,4), (2,2), (3,4), (3,2), (4,2)}».

Например, количество повторений пар ИС «1» и «2» равно «3». Таким образом, «С_{1,2} = 3». Аналогичным образом подсчитываются другие повторения ИС при взаимодействии между собой и строится матрица «С».

Затем для каждой пары взаимодействия представляется показатель взаимодействия между парой ИС, «S_{ij}» который может принимать значение «(-1;0;1)».

После этого строится матрица интероперабельности «М», которая является перемножением матриц «С» и «S». Пример расчета матриц «М», «С», «S» в соответствии с циклограммой представлен на рис. 3.

Пункт «Рассчитать» Производит расчет показателей ИО.

В составе созданной программы реализовано экспериментальное решение по формированию материалов в профиль ИО на базе использования результатов функционирования решателя. Функция составления профиля ИО систем для конкретной циклограммы их совместного применения обеспечивает использование результатов локализации и анализа барьеров интероперабельности и предлагает возможные способы их преодоления для отдельных случаев.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow M = \begin{bmatrix} 0 & -3 & -1 & -1 \\ 0 & 3 & 0 & -2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Примеры матриц «М», «С», «S»

Модуль принимает результирующие оценки для всех действий циклограммы и идентифицирует в них действия с самыми низкими оценками уровня ИО. После этого вычисляются невыполненные характеристики ИО, необходимые для достижения более высокого уровня ИО. Определяются технологические параметры невыполненных характеристик, затем определяется, как эти параметры можно улучшить. Например, рекомендация о том, что значения технологических параметров должны попасть в диапазон, или рекомендация о том, что значения конкретных технологических параметров должны совпадать.

Просмотр профиля систем доступен из окна результатов локализации барьеров интероперабельности систем решателем по нажатию кнопки «Профиль».

После ее нажатия появится окно с результатами формирования профиля ИО систем, а также возможными вариантами достижения более высокого уровня ИО для отдельных случаев.

Применительно к решению поставленной задачи обеспечения интероперабельности АСУ и ИС военного назначения на базе интеллектуальных технологий можно сформулировать следующие концептуальные предложения:

- практическую реализацию интероперабельности существующих и унаследованных АСУ и ИС необходимо обеспечить на базе методов, развиваемых в рамках интеллектуальных ИКТ;
- необходимо учитывать, что наибольшую ценность в функциональной совместимости АСУ и ИС военного назначения несут семантика передаваемой информации, знания о порядке ее обработки и применения, а также знания о целях и, по сути, боевых задачах в заданном контексте использования АСУ;
- для обеспечения реализации интероперабельности существующих и унаследованных АСУ и ИС без вмешательства в имеющийся порядок их отдельной эксплуатации, технологического процесса обработки данных в них, их

архитектурных и технических решений, необходимо создать онтолого-управляемую надстройку над ними, позволяющую обеспечить их функциональную совместимость.

В результате исследования на основе ГОСТ Р 55062-2012 была разработана интеллектуальная система для определения степени интероперабельности гетерогенных систем. Система продемонстрировала пригодность к эксплуатации по назначению выполняя поставленные перед ней задачи по оценке текущей интероперабельности систем и формированию их профиля, что делает ГОСТ Р 55062-2012 перспективной основой для дальнейших исследований способов оценки интероперабельности гетерогенных систем. Для дальнейших исследований стоит обратить внимание на возможность построения профиля циклограммы с применением отдельно взятых АСУ в карте АСУ как потенциальных посредников между малоинтероперабельными системами.

Список источников

1. Истории Интернета // Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/c/istorii-interneta-3c9448> (дата обращения: 20.11.2023).
2. *Creps R., Lockheed M., Polzer H.* Systems, Capabilities, Operations, Programs and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment, 2008.
3. *Kenyon H.* NCOIC's efforts toward product interoperability are showing promise. Washington Technology, 2010.
4. ГОСТ Р 55062-2012 «Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 ноября 2012 г. № 751-ст, переиздание. Октябрь, 2018 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102958> (дата обращения: 28.10.2023).

УДК 004.932.72'1

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-141-144

М. Д. Поляк*

старший преподаватель

Я. О. Сениченкова*

студент

М. И. Бояркин**

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Самарский государственный технический университет

ДЕТЕКЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕЛЕГАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Рассмотрен способ детекции объектов нелегальной торговли при помощи нейросетевых технологий, а именно с помощью нейронной сети YOLOv8. Для решения данной задачи был собран датасет, состоящий из 6630 изображений.

Ключевые слова: компьютерное зрение, YOLO.

M. D. Polyak*

Senior Lecturer

Y. O. Senichenkova*

Student

M. I. Boyarkin**

PhD Sc. Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**Samara State Technical University

DETECTION OF NON-STATIONARY AND POTENTIALLY ILLEGAL TRADE OBJECTS USING COMPUTER VISION

The paper discusses a method for detecting objects of illegal trade using neural network technologies, namely using the YOLOv8 neural network. To solve this problem, a dataset consisting of 6630 images was created.

Keywords: computer vision, YOLO.

Введение

Детекция объектов является одной из главных задач, в которой используются нейросетевые технологии. Одно из практических применений данной задачи – помощь государственным структурам обнаруживать проблемы в контролируемых территориях. Например, нейронные сети YOLO и SSD были использованы для обнаружения рекламных плакатов [1], что может помочь контролировать размещение нелегальной рекламы; YOLOv3 показала точность 75 % и IoU 0,7 в задаче детекции ям в асфальтовых дорогах [2]; также вышеупомянутая нейронная сеть YOLO была применена для следующих задач: обнаружение пожара (метрика precision для модели YOLOv8 приняла значение

97,5 %) [3], детекция мусора на улице (метрика precision для приняла значение 68 %) [4].

Из-за отсутствия возможности государства контролировать качество услуг, предоставляемых нелегальными торговцами, вытекают следующие проблемы:

1. Возможны случаи отравления потребителей из-за несоблюдения санитарных норм.

2. Государство недополучает деньги, которые могли бы поступить с налогов на бизнес.

В качестве модели была взята нейронная сеть YOLOv8 [5], которая состоит из детектора и классификатора. На вход решения поступает изображение размерностью 640 × 640, далее нейронная сеть выдает координаты bbox'ов и номер класса, к которому относится детектированный объект.

Авторы хотят обратить внимание на то, что торговля является нелегальной лишь в том случае, если у владельцев бизнеса отсутствует лицензия на торговую деятельность или договор об аренде земельного участка. Нелегальную уличную торговлю, например, в Санкт-Петербурге запрещает закон Санкт-Петербурга «Об административных правонарушениях», ст. 44 «Продажа товаров в неустановленных местах». Соответственно, по одному внешнему виду объекта невозможно до конца определить, является ли бизнес законным, однако на вход описанной ниже системы можно подавать кадры с камер, в объектив которых попадает территория, на которой точно не может быть торговых точек в связи с отсутствием договоров об аренде на данном участке.

Сбор данных

В качестве объектов нелегальной торговли были рассмотрены следующие случаи:

1. Продажа товаров, разложенных на земле (этому классу было присвоено название «ground»).
2. Продажа воздушных шаров (класс «balloon»).

3. Нелегальная продажа услуг по фотографированию с животными (класс «animal»). В Российской Федерации невозможно получить лицензию на этот вид деятельности, и она считается по умолчанию незаконной. Также авторы данной работы очень трепетно относятся к животным и их возмущает тот факт, что представители фауны обычно мучительно погибают в результате эксплуатации их фотографами для получения нелегальной прибыли.

4. Продажа товаров, которые разложены на какой-либо поверхности, не считая землю: столы, ящики, багажники автомобилей. Также к этому классу были отнесены киоски, фудтраки и иные нестационарные торговые объекты. Данный класс называется «cart».

Также объектами нелегальной торговли могут быть незаконно построенные торговые центры и павильоны, но авторы не рассматривают данный случай.

Для класса «animal» были взяты изображения фотографов с животными и также изображения, на которых есть обезьяны и попугаи. По-

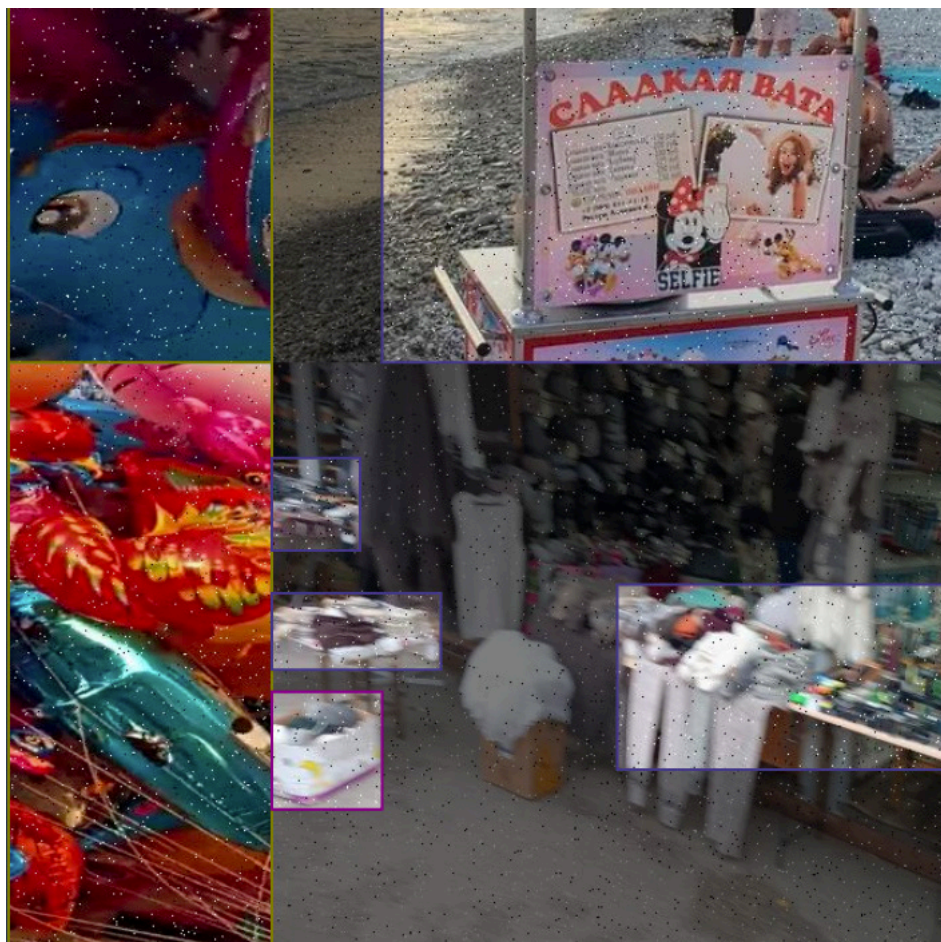


Рис. 1. Пример аугментации «Мозаика»

сколькo решение разрабатывается для российских реалий, на улицах города невозможно увидеть экзотических животных за исключением тех случаев, когда их выгуливают владельцы или с ними проводятся нелегальные фотосессии.

Часть изображений из датасета – кадры из видео. Найденный видеоматериал с подходящим объектом разбивался на кадры и размечался, далее для каждой пары изображений вычислялся индекс структурного сходства (SSIM) [6]. Данный индекс принимает значение +1, если изображения полностью идентичны. Если значение SSIM не превышало 0,7, то первое изображение из пары включалось в датасет. Эти манипуляции необходимы для избежания попадания очень похожих изображений в обучающую выборку, поскольку наличие подобных данных негативно скажется на качестве дообучаемой нейронной сети.

Всего было собрано 2829 изображений.

Аугментация данных

Чтобы увеличить количество изображений в обучающей выборке, добавить больше разнообразия в датасет и сделать решение более устойчивым к особенностям камер видеонаблюдения (цветопередача, наличие зернистости, разрешение изображения) были использованы следующие аугментации данных.

1. Зум изображения от 0 до 48 %.
2. Перевод изображения в черно-белую гамму.
3. Наложение шума.
4. Создание «мозаики» из 4 изображений датасета. Данная аугментация необходима для того, чтобы нейронная сеть могла распознавать более мелкие объекты на изображениях.

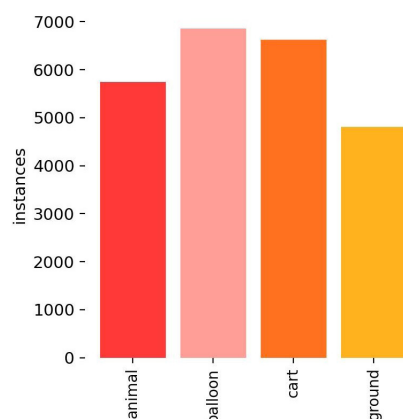


Рис. 2. Количество объектов, принадлежащих к определенному классу, в итоговой версии датасета

Пример такой мозаики приведен на рис. 1.

Аугментации применяются к изображениям в случайном порядке. Не исключены случаи, когда к фотографиям могут быть применены несколько преобразований (рис. 2 относится к такому случаю: помимо мозаики был наложен шум).

После применения аугментаций итоговый размер датасета составил 6630 изображений; в тестовой выборке содержится 498 изображений. Статистика по меткам классов приведена на рис. 2. По оси ординат приведено количество вхождений меток в датасет.

Обучение модели

В качестве модели была взята нейронная сеть YOLOv8. По прошествии 15 эпох, были получены следующие графики метрик, приведенные на рис. 3.

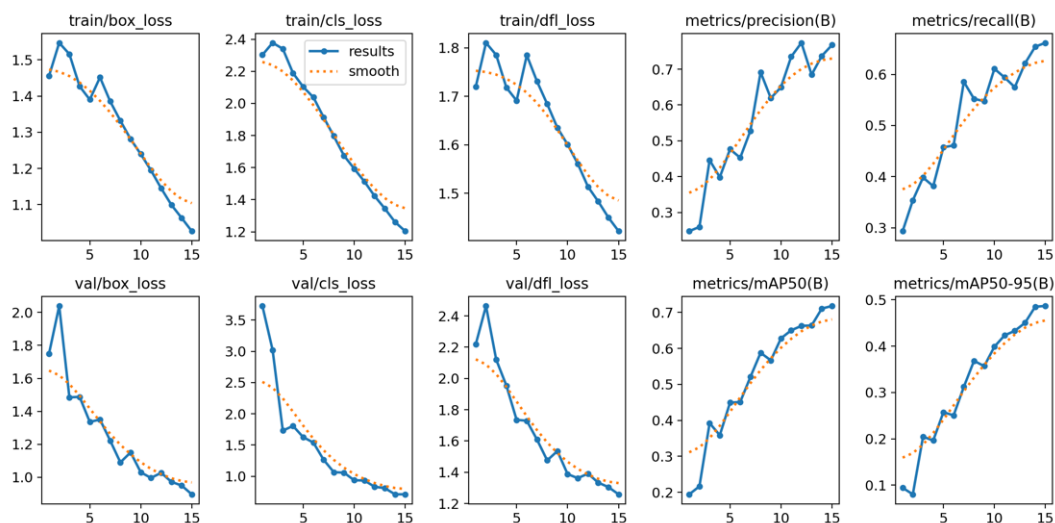


Рис. 3. Графики метрик во время обучения YOLOv8

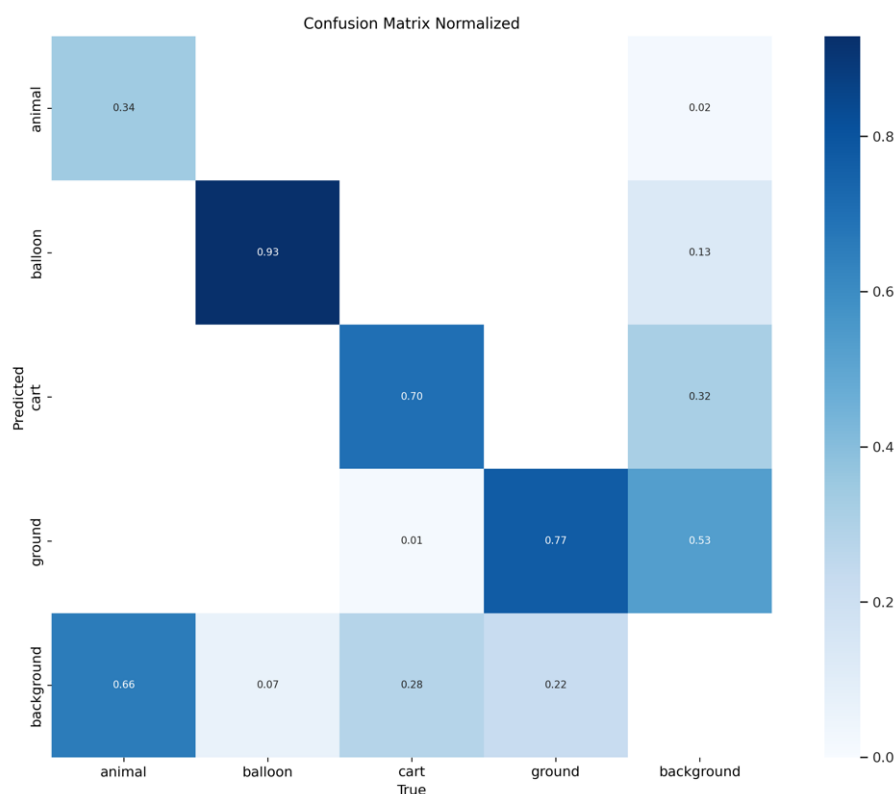


Рис. 4. Нормализованная матрица ошибок для тестовой выборки

На рис. 4 можно увидеть нормализованную матрицу ошибок для каждого класса из тестовой выборки. На диагонали можно увидеть процент верно классифицированных объектов.

У класса «background» отсутствует процент верно распознанных объектов, поскольку этот класс отсутствовал в обучающей выборке и приведен в данной матрице с целью того, чтобы продемонстрировать, когда нейронная сеть ошибочно находила в фоне изображения какой-нибудь объект.

Заключение

В данной работе была использована нейронная сеть YOLOv8 для детекции объектов нестационарной торговли. Согласно полученным метрикам модель смогла найти закономерности в данных.

Дополнительные материалы:

Датасет: <https://universe.roboflow.com/yana-senichenkova-uslyq/streetvendingdetection>

Исходный код: <https://github.com/KleinerKaktus455/StreetVendorDetector/tree/main>

Авторы выражают признательность компаниям Rayodata и Астера за предоставленные вычислительные мощности.

Список источников

1. Morera Á. SSD vs. YOLO for detection of outdoor urban advertising panels under multiple variabilities // Sensors. 2020. Vol. 20. N 16. P. 4587–4600.
2. Ukhwah E., Yuniarno E., Suprpto Y. Asphalt pavement pothole detection using deep learning method based on YOLO neural network // 2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). 2019. P. 35–40.
3. Talaat F., ZainEldin H. An improved fire detection approach based on YOLO-v8 for smart cities // Neural Computing and Applications. 2023. Vol. 35. N 28. C. 20939–20954.
4. De Carolis B., Ladogana F., Macchiarulo N. Yolo trashnet: Garbage detection in video streams // 2020 IEEE Conference on Evolving and Adaptive Intelligent Systems (EAIS). 2020. P. 1–7.
5. Redmon J. You only look once: Unified, real-time object detection // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. P. 779–788.
6. Wang Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE transactions on image processing. 2004. Vol. 13. N 4. P. 600–612.

УДК 51-76:517.9

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-145-148

М. Д. Поляк*

старший преподаватель

А. А. Щеголева*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ СИСТЕМ «ХИЩНИК-ЖЕРТВА»

Рассмотрены две базовые системы уравнений типа «хищник-жертва» для их модификации путем добавления управления в правые части уравнений. Управление дает возможность переводить систему в новые состояния в зависимости от указанной цели управления. Приведены результаты компьютерного моделирования новых систем и биологическая интерпретация полученных результатов.

Ключевые слова: хищник-жертва, математическое моделирование, синергетическая теория управления, цветение водорослей.

M. D. Polyak*

Senior Lecturer

A. A. Shchegoleva*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF METHODS OF SYNERGETIC CONTROL THEORY TO BUILD NEW MODELS USING THE EXAMPLE OF TWO PREDATOR-PREY SYSTEMS

Two basic systems of predator-prey equations are considered for their modification by adding controls to the right-hand sides of the equations. Control makes it possible to transfer the system to new states depending on the specified goal. Computer modeling of new systems and biological interpretation of the obtained results are presented.

Keywords: predator-prey, mathematical modeling, synergetic control theory, algal bloom.

Введение

Начиная с 1980-х годов проводятся ежегодные исследования биологического и химического состава воды Балтийского, Северного и других морей Северо-Запада Европы [1], [2]. На основе заборов проб воды проводятся исследования в специализированных лабораториях, которые в свою очередь формируют отчеты с инфографикой. В таких отчетах наглядно подтверждено, что ситуация с распространением фосфора и азота не только не становится лучше, но и постепенно ухудшается, несмотря на применяемые ограничения на законодательном уровне об обязательном оснащении фильтрами сточных труб. Повышение уровня питательных веществ в водоеме в совокупности с другими факторами может приводить к цветению определенных видов фитопланктона. Некоторые из видов фитопланктона могут также вырабаты-

вать токсические вещества, которые негативно влияют на окружающую флору.

Одним из способов борьбы с цветением водорослей является постоянный мониторинг за качеством работы фильтров сточных систем и поиск возможных мест, где фильтры еще не стоят. Построение математических моделей для цветения водорослей может помочь для оценки возможных объемов цветения, а также времени его спада и нарастания. Знание об объемах и времени цветения даст возможность, во-первых, оценить возможности системы фильтрации воды, во-вторых, заранее подготовить прибрежные объекты для защиты от негативных последствий цветения.

Математическая модель

В качестве базовых систем, приближенно описывающих взаимодействие фитопланктона

и зоопланктона (природного хищника фитопланктона), возьмем системы из работ [3], [4]:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= r_1 P_1 \left(1 - \frac{P_1 + \alpha_1 P_2}{K_1} \right) - \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} \\ \frac{dP_2}{dt} &= r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + P_2 + \beta P_1} \\ \frac{dZ}{dt} &= \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + P_2 + \beta P_1} - cZ \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= r_1 P_1 \left(1 - \frac{P_1 + \alpha_1 P_2}{K_1} \right) - \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} \\ \frac{dP_2}{dt} &= r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + b_1 P_2^2} \\ \frac{dZ}{dt} &= \frac{\gamma_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} - \frac{\gamma_2 P_2 Z}{d_2 + b_1 P_2^2} - mZ - m_1 Z^2 \end{aligned} \quad (1.2)$$

В системах 1.1 и 1.2 P_1, P_2, Z – популяции нетоксичного фитопланктона, токсичного фитопланктона и зоопланктона. Две системы отличаются друг от друга трофической функцией взаимодействия токсичного фитопланктона и зоопланктона, также во второй системе у зоопланктона присутствует дополнительный вид конкуренции: внутривидовая конкуренция.

Для обеих систем применим аналитический метод конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) синергетической теории управления [5]–[9]. Применение этого метода позволит сделать управление более физичным и робастным, в отличие от классических методов оптимального управления. Конечной целью метода АКАР является перевод изображающей точки систем из некоторого начального положения в заданное конечное за наименьшее время. При этом движение изображающей точки обязательно должно доставлять глобальный минимум обобщенному сопровождающему функционалу:

$$\Phi = \int_0^{\infty} (\psi^2(t) + T^2 \dot{\psi}^2(t)) dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

где ψ – целевая макропеременная, определяющая конечное состояние системы. Чтобы найти глобальный минимум функционала, нужно решить уравнение Эйлера – Лагранжа для нахождения глобального минимума функционала качества:

$$T_1 \frac{d\psi(t)}{dt} + \psi(t) = 0. \quad (3)$$

Целью управления (макропеременная) для обеих систем будет достижение токсичным фитопланктоном заданного целевого значения:

$$\psi(t) = P_2(t) - P_2^*. \quad (4)$$

Ниже приведены новые системы (5.1, 5.2), полученные при введении в базовые уравнения управления по описанной выше методике. В обеих системах управление является аддитивным, то есть соответствует естественным процессам миграции, а также рождению и гибели особей за счет внешних, не учтенных в модели причин.

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= r_1 P_1 \left(1 - \frac{P_1 + \alpha_1 P_2}{K_1} \right) - \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} \\ \frac{dP_2}{dt} &= r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + P_2 + \beta P_1} + u \\ \frac{dZ}{dt} &= \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + P_2 + \beta P_1} - cZ \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \psi &= P_2 - P_2^* \\ u &= -\frac{\psi}{T} - r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) + \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + P_2 + \beta P_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= r_1 P_1 \left(1 - \frac{P_1 + \alpha_1 P_2}{K_1} \right) - \frac{w_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} \\ \frac{dP_2}{dt} &= r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) - \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + b_1 P_2^2} + u \\ \frac{dZ}{dt} &= \frac{\gamma_1 P_1 Z}{d_1 + P_1} - \frac{\gamma_2 P_2 Z}{d_2 + b_1 P_2^2} - mZ - m_1 Z^2 \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \psi &= P_2 - P_2^* \\ u &= -\frac{\psi}{T} - r_2 P_2 \left(1 - \frac{P_2 + \alpha_2 P_1}{K_2} \right) + \frac{w_2 P_2 Z}{d_2 + b_1 P_2^2} \end{aligned}$$

Компьютерное моделирование

Проведем компьютерное моделирование по полученным моделям. Для примера рассмотрим два случая: нарастание цветения и его спад. Для систем будут использоваться два набора коэффициентов, поскольку эксперименты показали, что если для одной системы набор коэффициентов дает устойчивое решение, то этот же набор для другой системы делает ее неустойчивой.

Параметры модели (5.1):

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.56, r_2 = 0.49, \alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0, K_1 = 5600, \\ K_2 &= 4900, w_1 = 0.5, w_2 = 0.5, \\ d_1 &= 30, d_2 = 30, b_1 = 0, c = 0.05 \end{aligned}$$

Параметры модели (5.2):

$$r_1 = 0.4632, r_2 = 0.4425, \alpha_1 = 0.002, \alpha_2 = 0.001,$$

$$K_1 = 505, K_2 = 505, w_1 = 0.6625, w_2 = 0.435,$$

$$d_1 = 45, d_2 = 30, \gamma_1 = 0.516, \gamma_2 = 0.45,$$

$$b_1 = 0.49, m = 0.309, m_1 = 0.001$$

На рис. 1–4 представлены результаты численного моделирования систем 5.1 и 5.2. На всех рисунках система является устойчивой, цель достигается, значения других популяций являются устоявшимися.

Для системы (5.1) с выбранным набором коэффициентов характерно постепенное вымира-

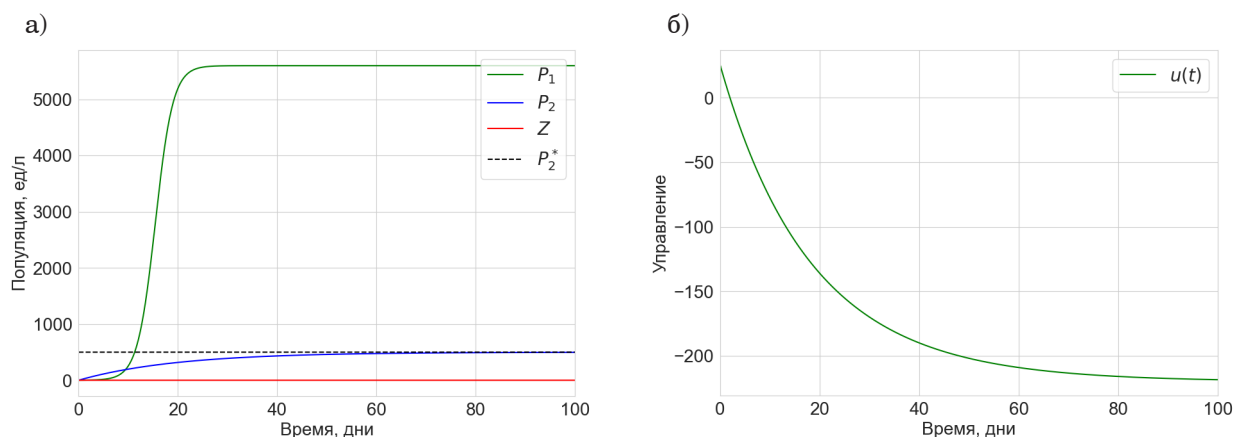


Рис. 1. Нарастание цветения (5.1). Начальные условия $P_1(0) = 1, P_2(0) = 0.2, P_2(0) = 0.1, T = 20$, целевое значение $P_2^* = 500$

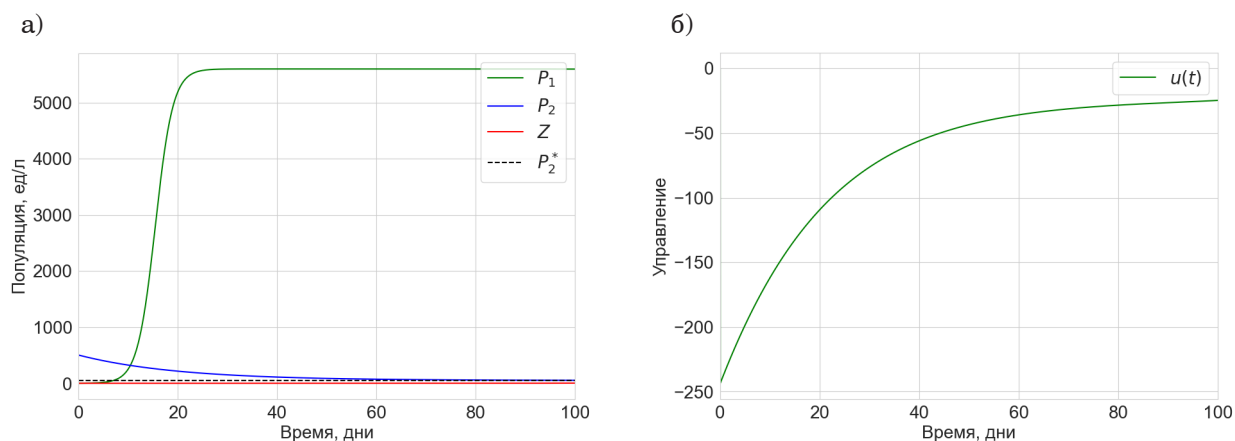


Рис. 2. Спад цветения (5.1). Начальные условия $P_1(0) = 1, P_2(0) = 500, P_2(0) = 0.1, T = 20$, целевое значение $P_2^* = 50$

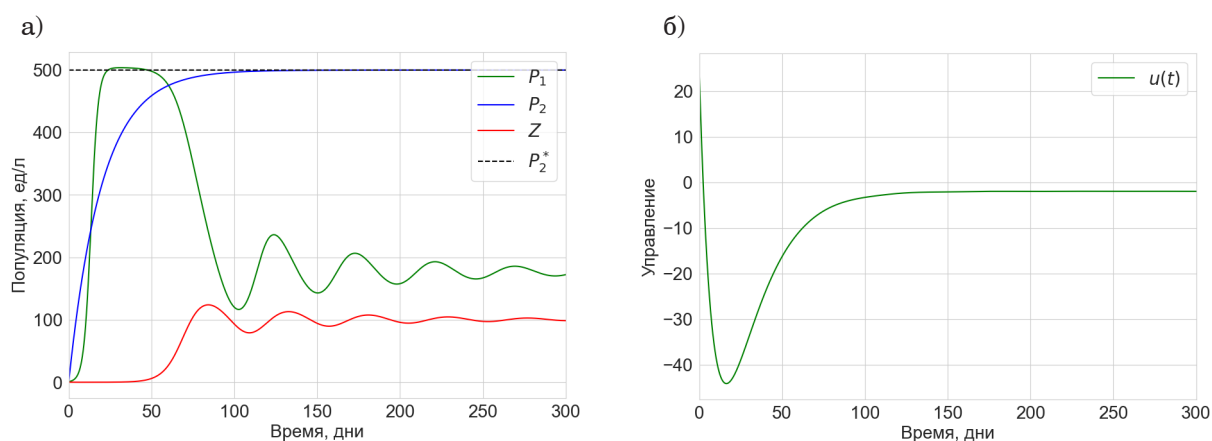


Рис. 3. Нарастание цветения (5.2). Начальные условия $P_1(0) = 1, P_2(0) = 0.2, P_2(0) = 0.1, T = 20$, целевое значение $P_2^* = 500$

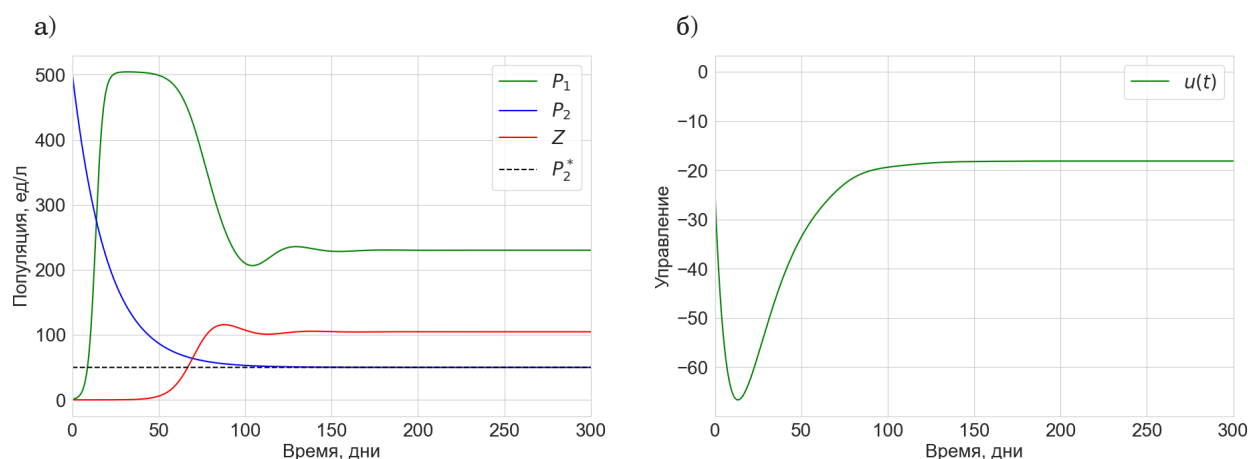


Рис. 4. Спад цветения (5.2). Начальные условия $P_1(0) = 1, P_2(0) = 500, P_2(0) = 0.1, T = 20$, целевое значение $P_2^* = 50$

ние популяции зоопланктона, при этом популяция нетоксичного фитопланктона является доминирующей в среде. График изменения питания (рис. 1, б и 2, б) демонстрируют, что при увеличении популяции токсичного фитопланктона начинают действовать процессы миграции, из-за которых популяция уменьшается.

Для системы (5.2) все популяции в устоявшихся значениях остаются положительными, это означает, что экосистема сбалансирована. Питание (рис. 3, б и 4, б) в обоих случаях принимает отрицательное значение, чтобы удержать систему в целевом состоянии. С биологической точки зрения отрицательное значение питания говорит либо об изъятии особей зоопланктона из воды, либо о добавлении в водных объект растворов, негативно влияющих на его обитателей, в частности, на некоторые виды фитопланктона.

Заключение

Введение в системы управления дало возможность моделировать две противоположные ситуации (нарастание и спад) с помощью одной и той же системы, путем изменения в ней целевого значения без внесения каких-либо других изменений. Такой подход является универсальным и удобным для практического применения, поскольку не требует изменения математических формул. Верный подбор коэффициентов модели дает возможность строить устойчивые системы, которые позволяют описывать процессы взаимодействия разных видов фитопланктона и зоопланктона.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00336).

Список источников

1. Licandro P., Head E., Gislason A. Overview of trends in plankton communities // ICES. 2011. P.103–122.
2. Karlson B., Andersen P., Arneborg L. Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe // Harmful algae. 2021. N 102. P. 101989.
3. Chakraborty S., Bhattacharya S., Feudel U. The role of avoidance by zooplankton for survival and dominance of toxic phytoplankton // Ecological Complexity. 2012. N 11. P. 144–153.
4. Thakur N., Singh R., Ojha A. Dynamical study of harmful algal bloom in Sundarban mangrove wetland with spatial interaction and competing effects // Modeling Earth Systems and Environment. 2021. N 8. P. 555–577.
5. Колесников А. А. Синергетика и проблемы теории управления. М.: Физматлит, 2004.
6. Колесникова С. И. Синтез системы управления нелинейным объектом второго порядка с неполным описанием // Автоматика и телемеханика. 2018. № 9. С. 18–30.
7. Поляк М. Д., Щеголева А. А. Применение метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов к модели производящего токсины фитопланктона // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2023. № 1. С. 401–405.
8. Щеголева А. А., Поляк М. Д. Модель «хищник-жертва с питанием» // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '21: Международная научная конференция: сб. докладов. СПб.: ГУАП, 2021. С. 86–91.
9. Polyak M., Kolesnikova S. Novel approach to Design and Analysis of Water Resources Development Model in Terms of Phytoplankton Population Dynamics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island 2019. Vol. 459. P. 032072.

УДК 004.04

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-149-154

А. А. Попов*

кандидат технических наук

А. И. Белов*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

Рассматриваются подходы к построению архитектуры распределенной информационной системы сбора данных общего назначения, в том числе и предсказательного обслуживания.

Ключевые слова: архитектура, сбор данных, Интернет вещей, MQTT, распределенное хранение данных, масштабируемость, большие данные.

А. А. Попов*

PhD Sc. Tech.

А. И. Белов*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

GENERAL VIEW OF THE ARCHITECTURE OF A DATA COLLECTION INFORMATION SYSTEM

This article reviews approaches to building the architecture of a distributed information system for general-purpose data collection, including predictive maintenance.

Keywords: architecture, data collection, Internet of things, MQTT, distributed data storage, scalability, big data.

Введение

С одной стороны, опыт западных компаний в разработке программного обеспечения для инфраструктуры Интернета вещей [1], [2] показывает, что предприятия в основном создают отдельные приложения на основе предполагаемых сценариев использования собираемых данных. Однако с постепенным развитием технологий происходит лавинообразный рост объема данных, собираемых для оценки состояния различных устройств (систем), что предоставляет более обширную базу данных для оцифровки предприятий. Таким образом, эра Интернета вещей сталкивается с большим потоком данных в реальном времени, и их объем увеличится с уровня терабайт (эпоха мобильного Интернета) до уровня петабайт.

С другой стороны, один из основных этапов анализа данных это подготовка данных. Однако по мере увеличения объема исходных данных, также растет и количество изначально «плохих» данных в этих наборах. Быстроразвивающийся подход к организации технического

обслуживания и ремонта – предсказательное обслуживание, основан на непрерывном мониторинге технического состояния оборудования. Некачественный сбор данных приводит к пропускам в наборах, что в дальнейшем повышает затраты как в финансовом плане, так и в виде потерянного времени. Экономически и по времени выдерживается пропорция 1:10:100 – выгоднее вложить 1\$ в профилактику, чем исправлять проблемные данные за 10\$ или тратить 100\$ на устранение тотального сбоя [3].

Цель работы: предложить архитектуру гарантоспособной системы сбора данных с заданными характеристиками надежности.

Многие страны в настоящее время работают над проектами по созданию умных городов с использованием технологии Интернета вещей (IoT) [4]. Умные города включают в себя «умную» энергетику, «умное» движение, «умные» здания, «умное» правительство, «умное» управление водными ресурсами и «умное» здравоохранение [5]. Средние и крупные предприятия города сосредотачиваются на данных создавая разнообразные и инновационные решения Ин-

тернета вещей на основе единой инфраструктуры данных.

Архитектура программного обеспечения, разработанная для системы Интернета вещей, сильно отличается от других веб-приложений и встроенных систем из-за следующих характеристик:

- разнородная система, состоящая из аппаратной, программной частей, датчиков, соединений и сетевых шлюзов;
- разнообразие протоколов обмена данными;
- поддержка сетевой высокоскоростной инфраструктуры, обеспечивающей передачу данных между серверами и массивом устройств хранения;
- поддержка уровней качества сервиса (Quality of Service, QoS) [6] для доставки сообщений;
- анализ потоков данных в реальном времени со сложной обработкой – сжатие трафика и шифрование данных.

Поскольку архитектура многоуровневая в ней присутствуют следующие слои:

- периферийный сбора данных;
- маршрутизации данных;
- хранения данных;
- анализа данных и бизнес-логики;
- пользовательского интерфейса.

Периферийный слой сбора данных состоит из подсистем сбора данных (рис. 1). Сервисный контроллер является центром управления каждой подсистемы и за счет своей богатой периферии позволяет подключать множество разнородных датчиков, которые в свою очередь снимают текущее состояние исследуемого объекта или процесса. Также сервисный контроллер накапливает собираемые данные в энергонезависимой памяти и в момент наступления сеанса свя-

зи передает накопленные данные на сервер используя сетевой модуль. Если передать данные не удалось по каким-либо причинам, то в следующий сеанс связи контроллер должен попытаться передать данные уже за два сеанса связи и так далее. Таким образом, можно подобрать размер памяти и скорость опроса датчиков таким образом, чтобы гарантировать передачу данных без потерь в установленный отрезок времени, например, за время, когда связь будет восстановлена обслуживающим персоналом. После подтверждения от сервера о корректном получении данных, контроллер стирает накопленные и уже переданные ранее. Для повышения надежности, работу одной подсистемы сбора данных можно дублировать другой и в зависимости от сложности задачи масштабировать количество подсистем до требуемого охвата.

Поскольку для сбора показаний с сети датчиков достаточно производительности микроконтроллера или «слабого» процессора, то и протокол обмена сервисного контроллера для передачи данных на вышестоящие слои должен быть: прост в реализации; гарантировать доставку сообщений; иметь возможность масштабирования при увеличении числа подсистем сбора данных. Одним из фактических стандартов в мире для подключения IoT устройств стал протокол MQTT [7], [8]. Его простая и легкая модель коммуникации «публикация/подписка» и эффективная двусторонняя связь между клиентами и брокерами основана непосредственно на TCP/IP, поэтому эти стандарты используются для обеспечения лучшей в своем классе безопасности. Возможно, одна из наиболее важных общих функций безопасности MQTT заключа-

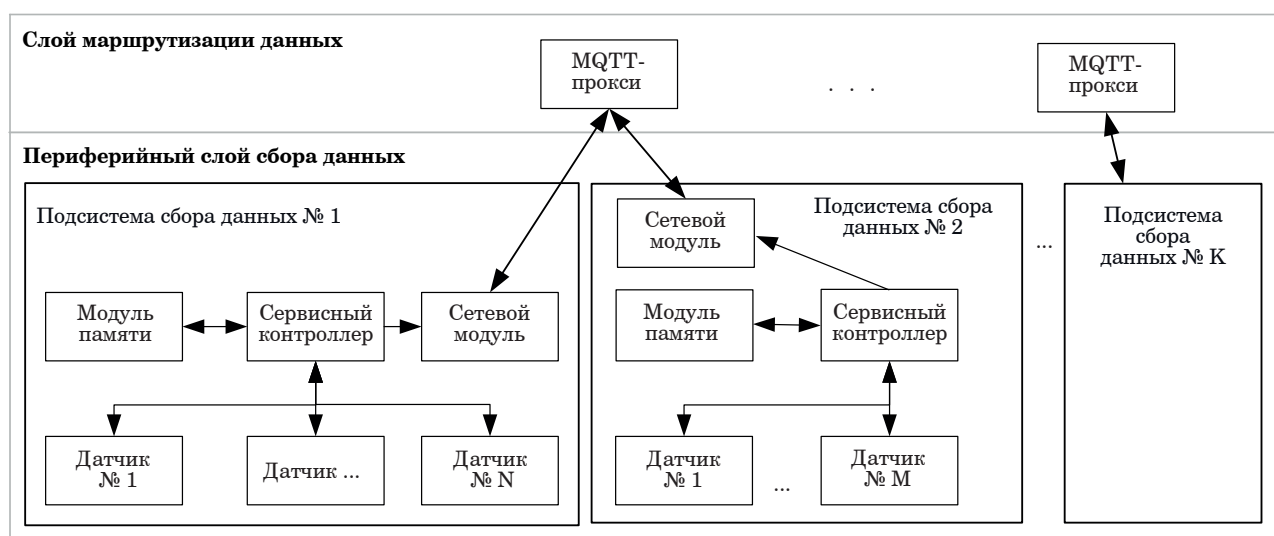


Рис. 1. Структурная схема периферийного слоя сбора данных

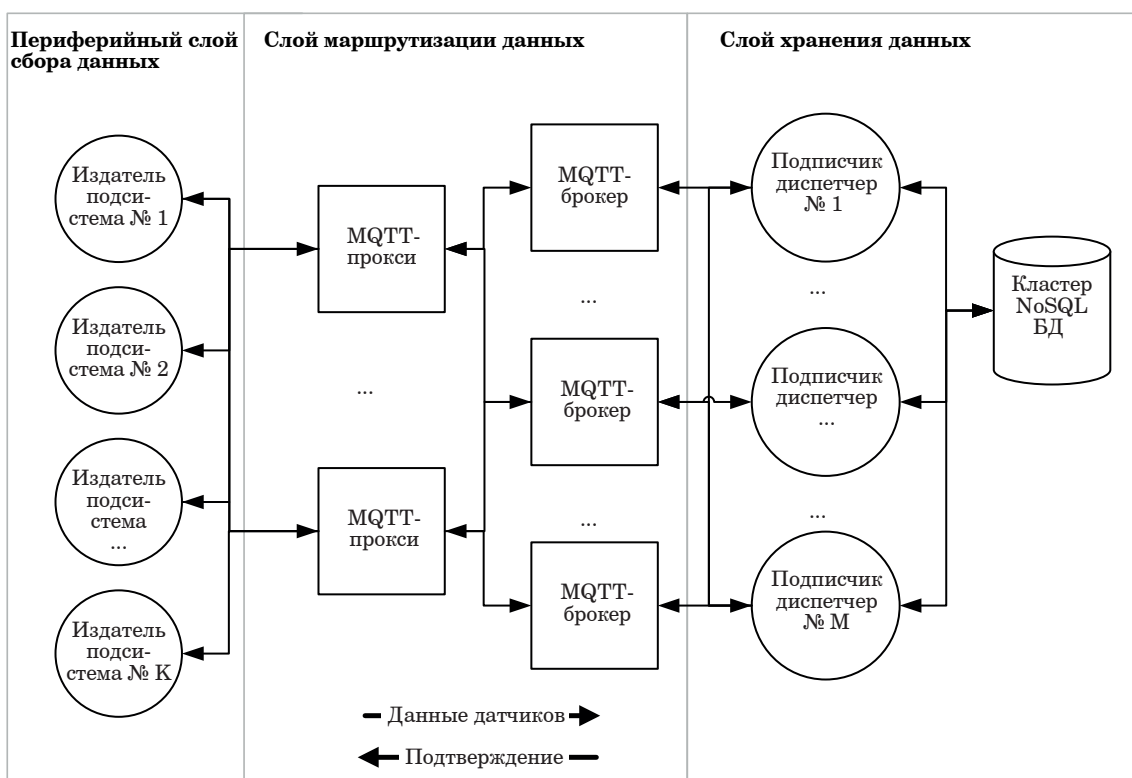


Рис. 2. Структурная схема слоя маршрутизации данных

ется в том, что он поддерживает неограниченное количество потребителей данных при открытии только одного порта.

Слой маршрутизации данных, как показано на рис. 2, состоит из промежуточных сервисов равномерного распределения трафика (MQTT-прокси-серверов) и множества MQTT брокеров. Задачи сервиса включают в себя: равномерное распределение нагрузки между брокерами сообщений; перераспределении нагрузки в случае отказа от одного из брокеров; передаче подтверждений об успешной записи данных. Брокеры предназначены для обеспечения работы протокола MQTT – распространения сообщений по модели издатель/подписчик. Подсистема сбора в лице сервисного контроллера выступает в роли издателя данных (передатчика), в роли подписчиков (приемников) выступают сервисы слоя хранения данных.

Слой хранения данных (рис. 3) состоит из одного или нескольких сервисов – «диспетчеров» и кластера баз данных. Диспетчер – сервис, который выступает в роли подписчика, принимая на вход массивы данных (показания датчиков и т. п.) в виде сообщений. Основные задачи сервиса включают в себя проверку циклического избыточного кода (CRC) для обеспечения целостности данных, сохранение полученных данных

в базе данных и публикацию подтверждения о получении данных в специально выделенном MQTT-топике.

Для хранения данных стоит рассмотреть использование кластера нереляционных БД, предназначенных для работы с большими данными. К примеру, «колоночные» базы данных оптимизированы для записи и чтения больших объемов данных и часто имеют встроенную поддержку временных рядов [9]. Использование кластера баз обеспечит легкую горизонтальную масштабируемость слоя и позволит настроить репликацию данных для повышения надежности системы.

Все элементы слоя хранения данных могут быть географически разнесены между собой и другими слоями. Ключевым элементом в построении архитектуры данного слоя является обеспечение независимости диспетчеров друг от друга. Каждый сервис должен функционировать в изоляции и не взаимодействовать с другими диспетчерами. Кроме того, важно, чтобы все операции были атомарными. Атомарность гарантирует, что каждая операция полностью выполняется как единое неделимое целое, либо не выполняется вовсе. Благодаря независимости диспетчеров и атомарности операций обеспечивается возможность горизонтального рас-

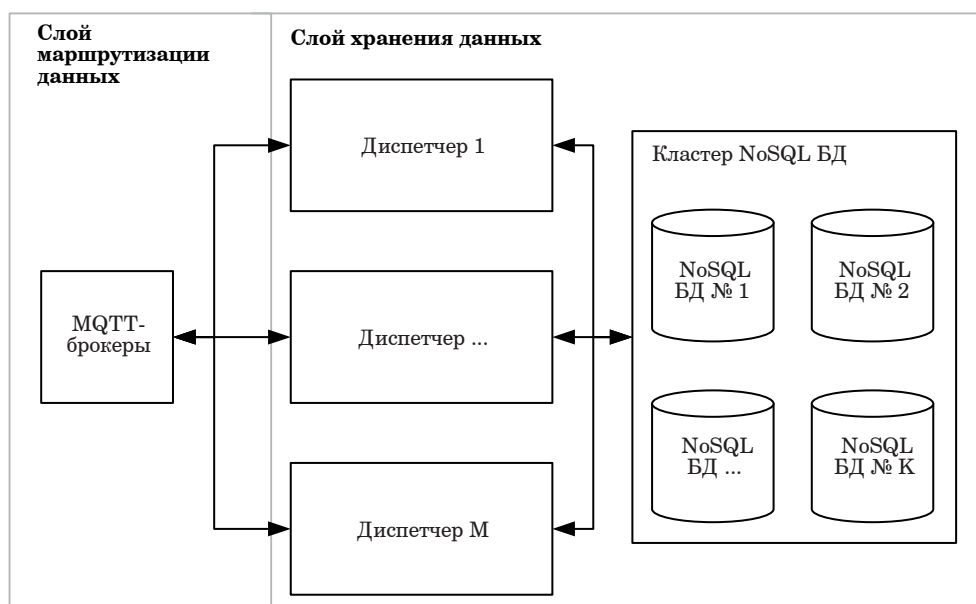


Рис. 3. Структурная схема слоя хранения данных

ширения слоя путем создания новых экземпляров диспетчеров. Это обеспечит эффективное управление растущей нагрузкой и бесперебойную работу системы при увеличении объема данных и запросов.

Слой анализа данных и бизнес-логики является центральным узлом системы (рис. 4), объединяющим несколько модулей для эффективной обработки данных. В состав данного слоя входят: модуль сбора данных, модули обработки данных, программный интерфейс приложений (API) и реляционная БД.

Модуль сбора данных предназначен для сбора необходимой информации из кластера баз данных в рамках решаемых задач: анализа данных; создания единого набора данных; маршрутизации данных к модулям обработки.

Для проведения анализа и обработки данных предлагается создание отдельных модулей обработки данных, разрабатываемых под конкретные запросы потенциальных пользователей системы. Это могут быть модули статистического и регрессионного анализа, модели машинного обучения для задач классификации и

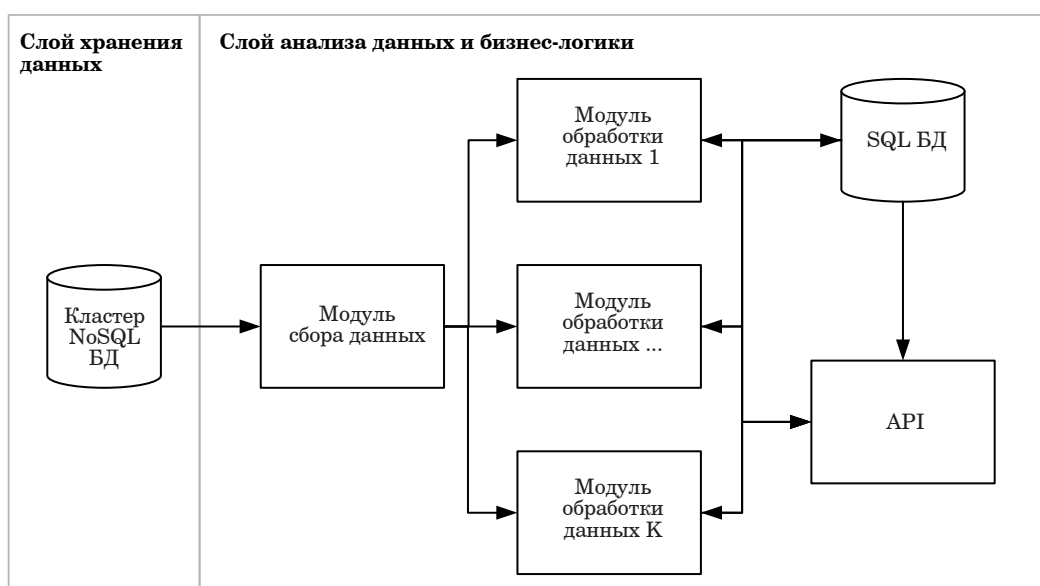


Рис. 4. Структурная схема слоя анализа данных и бизнес-логики

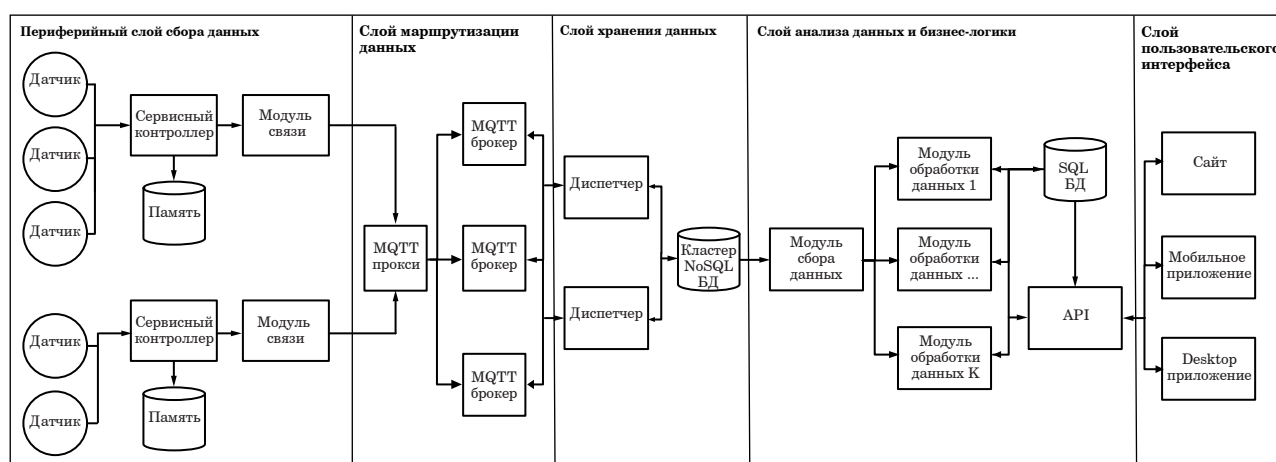


Рис. 5. Архитектура информационной системы сбора данных

прогнозирования [10], [11] и т. д. Результаты работы модулей записываются в реляционную БД.

Реляционная БД предназначена для хранения текущей конфигурации системы (количество и адреса сервисов слоя хранения данных, информация о подсистемах сбора данных и другая системная информация) и результатов работы модулей обработки данных.

Для предоставления возможности настройки и взаимодействия с системой требуется модуль API, предназначенный для обработки запросов пользователей со слоя пользовательского интерфейса и формирования запросов к другим модулям для считывания и анализа данных. Для предоставления единообразного интерфейса и поддержки широкого круга клиентских приложений рекомендуется реализация модуля API в формате серверного RESTful API приложения.

Слой пользовательского интерфейса является совокупностью приложений, предназначенных для обеспечения пользовательского взаимодействия с системой. Данный слой должен предоставлять пользователям графический интерфейс для управления конфигурацией системы, просмотра состояния слоев системы, измерений датчиков и результатов анализа данных. Все взаимодействие производится через модуль API слоя анализа данных и бизнес-логики. Приложения данного слоя могут принимать форму сайта, мобильного приложения или приложения для настольного ПК.

Считается что предложенная архитектура способна развернуть следующие блоки инфраструктуры машинного обучения в зависимости от выбранной модели:

- инструменты приема данных, позволяющие агрегировать и хранить данные из широ-

кого спектра источников, не требуя значительной предварительной обработки;

- инструменты конвейеров машинного обучения, которые помогут автоматизировать рабочие процессы машинного обучения в соответствии со сценариями;

- представление и отслеживание результатов машинного обучения, инструменты для отслеживания насколько плавно проходят рабочие процессы, насколько точным является обучение модели;

- инструменты развертывания и тестирования обученных моделей.

Выводы

Представленная архитектура информационной системы сбора данных (рис. 5) частично согласуется в части сбора данных с эталонной архитектурой предприятия PERA [12], однако предложенная архитектура учитывает возможность применения облачных сред, что позволяет пользоваться преимуществами облачных технологий.

Список источников

1. EMQ's global R&D center. Data Infrastructure for IoT White Paper. Apr 11, 2022. URL: <https://www.emqx.com/en/resources/data-infrastructure-for-iot> (дата обращения: 27.11.2023).

2. Fawwaz, D., Chung S., Ahn C. Optimal Distributed MQTT Broker and Services Placement for SDN-Edge Based Smart City Architecture. Sensors 2022, 22, 3431. URL: <https://doi.org/10.3390/s22093431> (дата обращения: 27.11.2023).

3. *Wolff R.* What Is Data Wrangling & Why Is It Necessary? URL: <https://monkeylearn.com/blog/data-wrangling/> (дата обращения: 27.11.2023).
4. *Ahlgren B., Hidell M.* Internet of things for smart cities: Interoperability and open data. *IEEE Internet Comput.* 2016. P. 20, 52–56.
5. *Tantitharanukul N., Osathanunkul K., Hantrakul K.* Mqtt-topic naming criteria of open data for smart cities. In *Proceedings of the 2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, Chiang Mai, Thailand, 14–17 December 2016; IEEE: Piscataway. NJ, 2016. P. 1–6.
6. Quality of service. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service (дата обращения: 27.11.2023).
7. *Нгуен Л., Кравец А. Г., Буй Н. З.* Анализ средств и моделей взаимодействия между компонентами в системе управления корпоративной мобильностью // *Информационные технологии.* 2018. Т. 24. № 1. С. 64–72.
8. Исследование производительности программных инструментов межсетевое взаимодействия для семантических шлюзов Интернета вещей / Л. А. Власенко, В. Д. Фам, В. А. Кулик, Р. В. Киричек // *Информационные технологии и телекоммуникации.* 2017. Т. 5. № 1. С. 44–53.
9. *Khana S., Liub X., Alia S.* Storage Solutions for Big Data Systems: A Qualitative Study and Comparison. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1904/1904.11498.pdf> (дата обращения: 27.11.2023).
10. *Gleeson P.* Machine Learning Directly in SQL – How to Use ML in Databases. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/machine-learning-directly-in-sql/> (дата обращения: 27.11.2023).
11. *Tiao S.* Machine Learning Use Case: Real-Time Support for Engineered Systems. URL: <https://blogs.oracle.com/bigdata/post/machine-learning-use-case-real-time-support-for-engineered-systems> (дата обращения: 27.11.2023).
12. Purdue Enterprise Reference Architecture. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Purdue_Enterprise_Reference_Architecture (дата обращения: 27.11.2023).

УДК 378.1:004.9

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-155-159

Н. В. Путилова*

старший преподаватель

А. В. Туманова*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ВУЗА С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются проблемы и подходы к автоматизированному расчету педагогической нагрузки с поддержкой современных образовательных технологий. Определены требования к системе расчета нагрузки. Предложены модель базы данных и архитектура системы, удовлетворяющей данным требованиям.

Ключевые слова: организация образовательного процесса, высшее образование, расчет нагрузки, ИОТ, базы данных, автоматизация, современные образовательные технологии.

N. V. Putilova*

Senior Lecturer

A. V. Tumanova*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

AUTOMATION OF TEACHING LOAD OF A UNIVERSITY CALCULATION, TAKING INTO ACCOUNT MODERN EDUCATIONAL PRACTICES

The article discusses problems and approaches to automated calculation of teaching load with the support of modern educational technologies. The requirements for the teaching load calculation system have been determined. A database model and system architecture is proposed for a system that meets these requirements.

Keywords: educational process organization, higher education, teaching load calculation, IET, educational practices, automation.

Современный вуз отличается от вузов прошлого поддержкой индивидуальных образовательных траекторий (ИОТ), различных новых образовательных технологий, форм обучения. Среди образовательных технологий и подходов современного высшего образования, влияющих на организационную составляющую образовательного процесса, можно выделить ИОТ, обучение служением, курсы с применением дистанционных технологий и онлайн-обучения, массовые открытые онлайн-курсы (МООК), сетевую форму обучения [1]. Для организации образовательного процесса современного вуза необходимо учитывать эти технологии, прогнозировать их влияние на образовательный процесс в целом с учетом особенностей их реализации в конкретном вузе. Основное влияние реализация этих подходов оказывает на разработку образовательных программ, составление расписания и расчет педагогической нагрузки. В [2] рассматривались элементы реализации ИОТ в базе данных учебных планов, теперь рассмотрим реализацию данных

современных подходов к образовательной деятельности в контексте расчета нагрузки. Как правило, для расчета педагогической нагрузки вузы используют либо собственное программное обеспечение (ПО), либо закупленное, чаще всего поставляемое как модуль в комплексе программ [3]–[7]. В настоящий момент автоматизация расчета нагрузки стала особенно актуальна в связи с импортозамещением и устареванием программного обеспечения, отвечающего за расчет аудиторной педагогической нагрузки в ГУАП. Для принятия решения были проанализированы нормативные документы, учтены результаты работы предыдущего ПО расчета нагрузки и требуемые функции и определены требования к необходимой автоматизированной системе. Требования к автоматизированной системе расчета педагогической нагрузки:

- поддержка современных образовательных технологий;
- возможность гибкой настройки алгоритма расчета нагрузки;

- возможность хранения и использования для расчета нагрузки нескольких различных версий алгоритмов;
- хранение истории расчетов нагрузки;
- анализ изменений нагрузки для разных временных версий;
- хранение версий исходных данных для расчета нагрузки, в том числе для анализа причин изменений;
- анализ и прогноз изменений нагрузки для разных версий алгоритмов расчета;
- прогноз величин нагрузки на будущие учебные годы с учетом тенденций набора и сохранности контингента;
- интуитивно понятный интерфейс;
- экспорт нагрузки в различные форматы для ручной обработки;
- совместимость с автоматизированными системами, используемыми в ГУАП.

Из перечисленных требований сторонними системами не поддерживались требования к хранению версий и аналитике. Многие вузы рассчитывали нагрузку на весь год с единственной корректировкой запланированного и фактического контингента.

Требование к гибкой настройке алгоритма расчета было реализовано практически во всех системах [3]–[7]. Совместимость и интерфейс систем ГУАП с покупными системами требовали дополнительных затрат и поддержки. Исходя из этого было принято решение о внутренней разработке требуемого приложения.

Кроме функциональных требований большое внимание необходимо было уделить структурным требованиям, необходимым для реализации совместимой с информационной средой вуза системы и другим пользовательским требованиям. Были выявлены следующие требования:

- необходимо поддерживать отдельные алгоритмы расчета нагрузки для дисциплин ИОТ, цифровых кафедр, онлайн-курсов, в том числе открытых, курсов, читаемых в рамках сетевого взаимодействия, обучения служением;
- различные версии нагрузки должны быть доступны для просмотра и сравнения в любой момент времени, но по умолчанию должна демонстрироваться только актуальная версия;
- для каждой версии нагрузки должны быть доступны сводные данные по всем подразделениям;
- на один набор исходных данных по учебному плану может приходиться много версий нагрузки с разными алгоритмами;
- система должна иметь систему ролей и прав доступа для разграничения просмотра

данных, расчета нагрузки, формирования алгоритмов расчета, аналитической работы;

- система должна иметь экспорт нагрузки в табличный формат*.xlsx или аналогичный, но быть независимой от продуктов компании Microsoft;
 - система должна иметь клиент-серверную архитектуру с RestAPI, сервер которой будет располагаться в локальной сети вуза;
 - транзакционная база данных, используемая для экспорта нагрузки в АИС ГУАП должна быть под управлением СУБД MariaDB 10.6.
- При реализации системы расчета нагрузки по таким требованиям будут необходимы следующие модули:
- модуль импорта среза учебных планов на момент расчет нагрузки;
 - модуль формирования потоков и учебных групп;
 - модуль управления алгоритмами расчета нагрузки;
 - модуль расчета педагогической нагрузки;
 - аналитический модуль сравнения версий нагрузки и прогнозирования.

В данной статье основное внимание уделено вопросам хранения данных для системы расчета нагрузки. Для обработки различных образовательных технологий они должны быть сохранены в базе данных учебных планов. Модель базы данных для работы с ИОТ рассматривалась в предыдущей статье [2], поэтому на рис. 1 отобразим только фрагменты модели базы данных учебного плана связанные с реализацией онлайн-обучения, MOOK, сетевой формы обучения и цифровых кафедр.

На схеме модели приведены таблицы учебного плана curriculum, параметров дисциплины в учебном плане discipline_up, параметры семестра дисциплины discipline_term и различные справочники. В модели для обозначения онлайн-обучения и обучения с применением дистанционных технологий с дифференциацией по видам занятий используется столбец online_prag таблицы discipline_term, представляющий собой закодированную строку параметров по 1 символу для каждого вида занятия в следующем порядке: 1 – лекции, 2 – практические занятия, 3 – лабораторные занятия, 4 – курсовой проект, 5 – курсовая работа, 6 – форма контроля, 7 – контрольные работы. Символ может принимать 3 значения: 0 – классические занятия (оффлайн), 1 – онлайн-занятия, 2 – нет такого вида занятия. Таким образом, курс, полностью проводимый в онлайн-формате, не будет содержать 1, а полностью в очном формате не будет иметь 0. От представления в виде массива битов пришлось отказаться для упрощения запросов к базе данных.

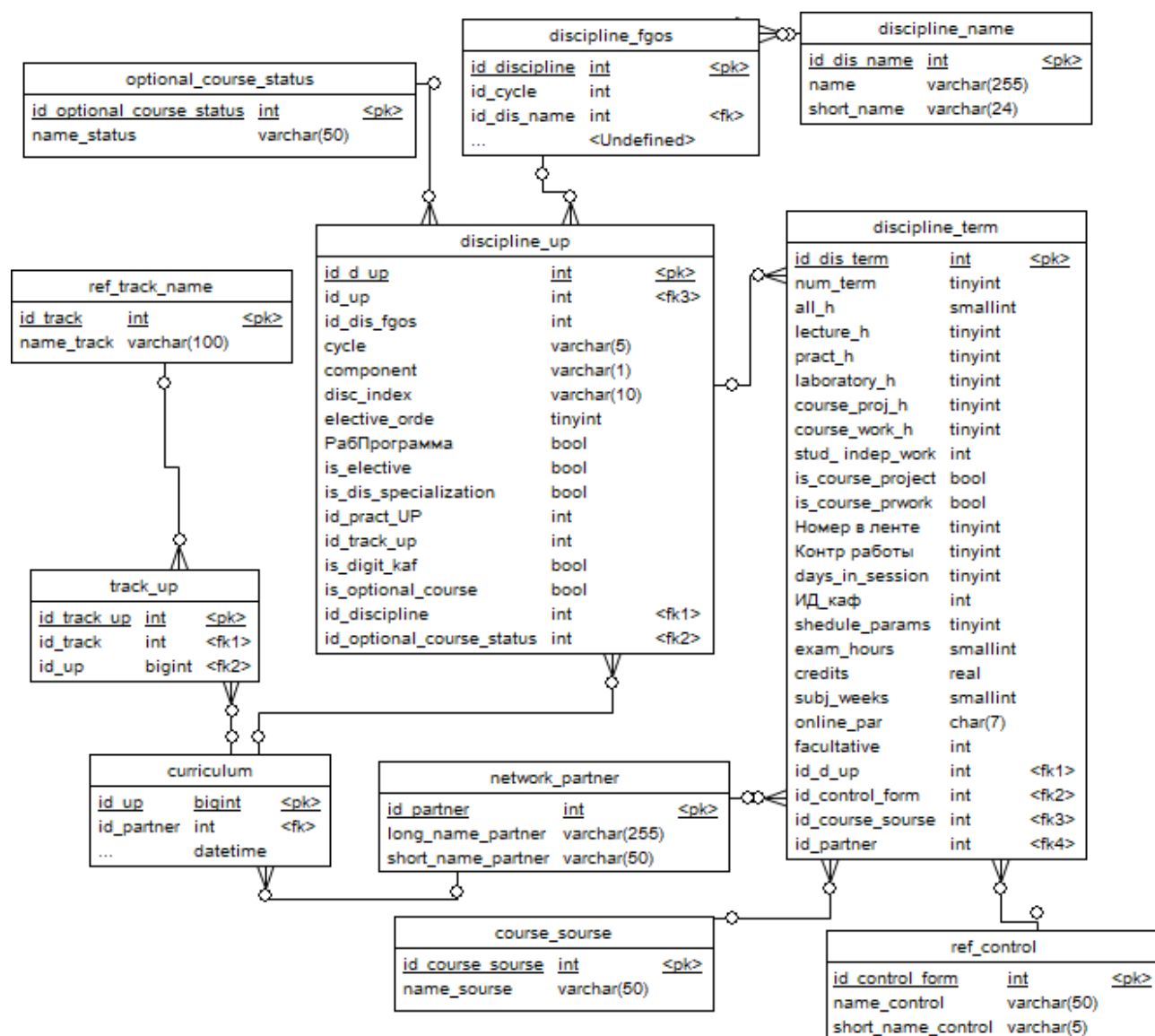


Рис. 1. Фрагменты физической модели базы данных учебных планов с поддержкой современных образовательных технологий

При этом для обозначения источника курса предназначена таблица `course_source`, где указаны возможные источники: собственные курсы вуза, курс внешней образовательной организации (сетевая форма обучения) в рамках собственной образовательной программы вуза, MOOK. Для указания партнеров по сетевому обучению и организаций-авторов MOOK используется таблица `network_partner`. Эта же таблица используется для обозначения учебного плана сетевого партнера, для которого читается дисциплина базовым вузом. Для обозначения цифровых кафедр используется столбец `is_digit_kaf` в таблице дисциплин учебного плана.

Основную сложность при разработке системы расчета нагрузки представляет формат пред-

ставления алгоритмов расчета и формата их хранения в базе данных. В системе Галактика [7] он представлен формулой, в которой заданы условные обозначения параметров учебного процесса в виде %параметр% с условными операторами вида `if (%DG %='B',26, if (%DG %='M',40,10))`.

Такой подход явно сложен для пользователя, заполняющего формулы и может привести к ошибкам интерпретации формулы применением при расчете. Подход в системе «IC: Университет ПРОФ» и в системе Лаборатории ММИС предлагает графический интерфейс и названия параметров как сокращения названия отображаемого параметра на русском языке, однако не предполагает сложных условий использования формулы, что не позволяет создавать гибкие

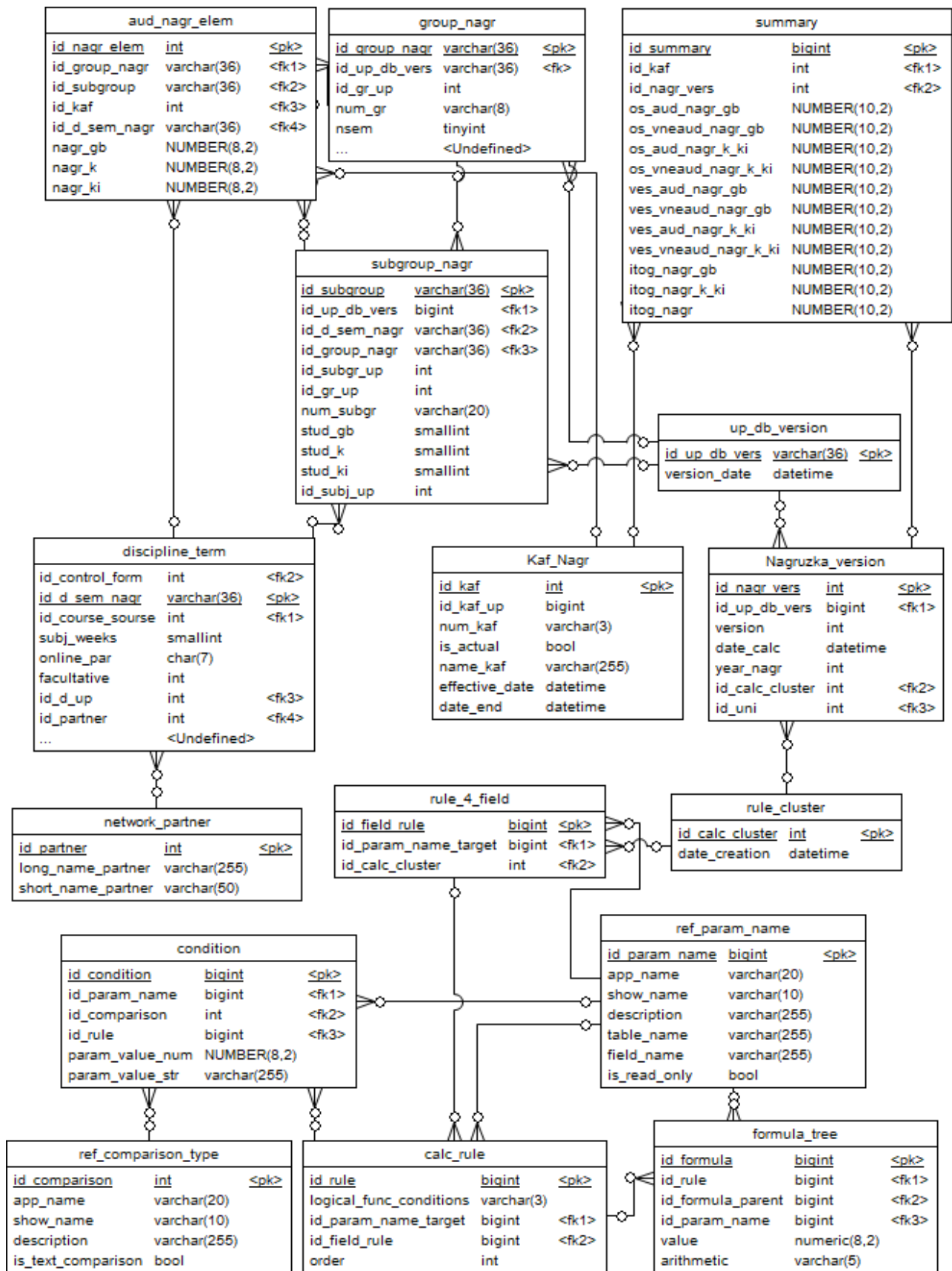


Рис. 2. Модель фрагмента базы данных для хранения нагрузки

формулы для учета различных образовательных технологий. Для реализации в разрабатываемой системе будет использоваться графический интерфейс и иерархия правил расчета с условиями. Само правило будет храниться в базе данных в виде S-выражения как дерево формулы. Иерархия правил в данном случае подразумевает, что есть набор алгоритмов расчета, каждый из которых может иметь условия применения, и использовано для расчета будет первое подходящее по условиям правило, а остальные будут проигнорированы. В данном случае для условия ограничимся тремя условиями, соединенными одинаковыми логическими функциями. Само условие имеет формат: имя параметра тип_ограничения значение. Параметры – характеристика занятия или группы по учебному плану, типы ограничений могут быть арифметическими: <, >, =, != и текстовыми: содержит, не содержит. Правило будет набираться как формула для заданного вида нагрузки, содержать заранее определенные на русском языке имена параметров семестра дисциплины, групп и подгрупп, знаки арифметических операций, скобки и функции округления (вниз, вверх и арифметического), деления нацело и деления по модулю. В базе данных хранится в формате отдельных элементов как S-выражение, преобразуемая в него при сохранении, чтобы избежать длительной интерпретации выражения при расчетах. Фрагмент базы данных для хранения аудиторной педагогической нагрузки приведен на рис. 2.

На схеме модели приведены таблицы `ref_param_name`- перечня имен параметров для расчета, типов сравнения `ref_comparison_type`, правил расчета, кластера (полного набора правил для расчета конкретной версии нагрузки) `rule_cluster`, элементов нагрузки и другие.

В базе данных для хранения среза учебного плана на момент расчета нагрузки используется схема, в основном повторяющая схему базы данных учебного плана, однако для организации бесперебойного хранения версий в качестве ключа будет использоваться UUID. Так как функция получения UUID в MariaDB 10.6 присутствует, а тип данных доступен только начиная с версии 10.7, то тип данных ключа будет задан как Char (36).

Рассмотрим вопрос реализации аналитики в системе. На текущий момент аналитика включает выполнения следующих функций:

- сравнение суммарной нагрузки по подразделениям для разных версий нагрузки (различающихся и по дате, и по алгоритму расчета);
- поиск причин изменения суммарной нагрузки по подразделениям нагрузки;

– прогноз нагрузки на будущий учебный год с учетом сохранности контингента.

Для данных функций достаточно использования реляционной базы данных, однако при усложнении анализа или накоплении данных целесообразно для модуля аналитической работы выбрать аналитическую столбцовую СУБД, такую как например ClickHouse.

Разработанная система с приведенной моделью базы данных позволяет реализовать все приведенные требования к системе и открыта к модернизации.

Список источников

1. *Ujir H., Salleh S., Syaheda A.* Teaching Workload in 21st Century Higher Education Learning Setting. *International Journal of Evaluation and Research in Education*. 2020. 9 (1), 221–226.
2. *Путилова Н. В., Туманова А. В.* Автоматизация организации образовательного процесса с поддержкой индивидуализации образования // *Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23: сб. докладов Третьей междунар. науч. конф.* СПб.: ГУАП, 2023. С. 148–151.
3. Автоматизированная система «Учебная нагрузка» Лаборатории ММИС. URL: <https://www.mmis.ru/programs/nagruzka> (дата обращения: 26.11.2023).
4. *Гордин А. А., Сафонов К. А., Чечин А. В.* Автоматизация расчета учебной нагрузки педагогических работников в ННГАСУ // *Великие реки' 2018: Труды научного конгресса 20-го Междунар. научно-промышленного форума: в 3-х т. Т. 2.* Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 161–163.
5. *Ересько П. В.* Особенности внедрения «1С:Университет ПРОФ» подсистемы «Управление нагрузкой» в Саратовской государственной юридической академии // *Новые информационные технологии в образовании: сб. научных трудов 21-й междунар. научно-практ. конф. / Под ред. Д. В. Чистова.* Ч. 2. М.: 1С-Публишинг, 2021. С. 46–49.
6. *Ересько П. В.* Моделирование и реализация учебной нагрузки научно-педагогических работников вуза средствами «1С:Университет ПРОФ» // *Новые информационные технологии в образовании: сб. трудов XXII междунар. научно-практ. конф. М., 2022.* С. 106–109.
7. Экспертный центр корпорации «Галактика» по работе с вузами. URL: <https://galaktika.ru/vuz> (дата обращения: 27.11.2023).

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-160-163

С. А. Рогачев*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ

Описана общая схема доступа и хранения пространственных данных. Рассмотрены форматы представления векторных данных в пространственной системе управления базами данных PostGIS. Приведены примеры хранения тематических векторных слоев с использованием описанной схемы.

Ключевые слова: PostGIS, пространственные данные, геоинформационные системы.

S. A. Rogachev*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ORGANIZATION OF A SYSTEM FOR STORING AND MANAGING SPATIAL DATA

The paper describes a scheme for accessing and storing spatial data. The forms of representation of vector data in the spatial database management system PostGIS are considered. The production of thematic vector layers using the described scheme is shown.

Keywords: PostGIS, spatial data, geographic information systems.

Пространственные данные – это данные, которые имеют пространственную (географическую) привязку с реальными объектами и их расположением на Земле. Они могут представлять собой координаты точек, линий и полигонов, высотные данные, данные о климате, геопривязанные изображения, изображения земной поверхности и т. д. Отличительной особенностью таких данных, является то, что они могут быть представлены в различных форматах, что в свою очередь влечет необходимость преобразования к какому-либо унифицированному виду [1].

Общая схема организации сбора, хранения и управления данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), представлена на рис. 1.

Схема на рис. 1 предполагает, что данные могут поступать из трех независимых источников: прием на собственную станцию, заказ (покупка) у оператора данных, получение данных из источников свободного распространения. В независимости от того, из какого источника были получены данные, для их хранения и эффективного использования, должна быть организована система управления данными.

В результате работы непосредственно с данными ДЗЗ, получают тематические векторные слои.

PostgreSQL – свободная объектно-реляционная система управления базами данных (СУБД). PostGIS – расширение СУБД PostgreSQL, предназначенное для хранения и обработки в базе пространственных данных. Использование связки PostgreSQL/PostGIS предоставляет довольно широкие возможности по работе с пространственными данными, наибольший интерес представляет возможность хранения векторных данных и разграничение прав доступа к данным [2].

Данные в базе хранятся таким образом, что для каждого векторного слоя создается соответствующая таблица. На рис. 2 приведен пример кода создания таблицы для хранения пространственных данных.

На рис. 3 приведен пример содержания таблицы «Layer».

На рис. 3 строки соответствуют объектам слоя (таблицы «Layer»), а столбцы – атрибутивной информации. Отдельно стоит описать столбец «geom», так как именно этот столбец хранит информацию о картографической привязке объекта и его типе. Эти данные хранятся в таблице в формате WKB (Well-Known Binary), такой формат данных определен спецификацией OpenGIS (также определено в ISO SQL/MM Part 3: Spatial



Рис. 1. Схема системы сбора, хранения и управления данными ДЗЗ

```
CREATE TABLE public."Layer"
(
  id bigint NOT NULL,
  geom geometry(MultiPolygon,4326),
  index character varying(255),
  foto character varying(255),
  CONSTRAINT "Layer_pkey" PRIMARY KEY (id)
)

ALTER TABLE public."Layer"
  OWNER TO "User1";
GRANT ALL ON TABLE public."Layer" TO "User1";
GRANT SELECT, TRIGGER ON TABLE public."Layer" TO "User2";
```

Рис. 2. Пример создания таблицы «Layer»

	id [PK] bigint	geom geometry(MultiPolygon,4326)	index character varying(255)	foto character varying(255)
1	0	0106000020E6100000010000000103	2.1	
2	1	0106000020E6100000010000000103	7.1	
3	2	0106000020E6100000010000000103	8.1	
4	3	0106000020E6100000010000000103	13.1	
5	4	0106000020E6100000010000000103	19.1	

Рис. 3. Визуализация таблицы векторного слоя в PostGIS

standard) и используется чтобы обмениваться данными геометрии, как двоичными потоками, содержащими геометрическую информацию [3]. Данные в формате WKB получаются из преобразования данных в формате WKT (Well-Known Text), который определен для обмена данными геометрии в форме ASCII. Примеры WKT (и соответствующей ей WKB) геометрии, приведены в табл. 1.

Описание обоих описанных форматов, а также преобразования детализированы в спецификации OpenGIS.

Хранение пространственных данных с использованием СУБД, также позволяет разграничивать права доступа к данным. Такой подход позволяет обеспечить доступ пользователя к данным, одновременно не рискуя их целостностью и сохранностью.

Таблица 1

	Название геометрии	WKT описание	WKB описание
1	Точка	POINT (20 10)	1100000000052640000003664
2	Мультиточка	MULTIPOINT ((10 20), (30 30), (20 20), (20 10))	1400040001100000000036640000005264110000000006264000000626411000000000526400000052641100000000052640000003664
3	Полилиния	LINestring (20 10, 10 30, 30 30)	120003000000000052640000003664000000366400000062640000006264
4	Мультиполиния	MULTILINESTRING ((10 10, 20 20, 10 30), (40 40, 40 20, 30 10))	1500020001200030000000003664000000366400000052640000052640000003664000000626412000300000000068640000068640000006864000000526400000062640000003664
5	Полигон	POLYGON ((30 10, 30 30, 10 30, 10 10, 30 10))	1300010005000000000626400000036640000006264000000626400000062640000003664000000626400000036640000003664000000062640000003664
6	Мультиполигон	MULTIPOLYGON (((30 20, 45 40, 10 40, 30 20)), ((15 5, 40 10, 10 20, 5 10, 15 5)))	16000200013000100040000000062640000005264000001287064000000686400000036640000006864000000626400000052641300010005000000004664000000206400000068640000003664000000366400000052640000002064000000366400000046640000002064

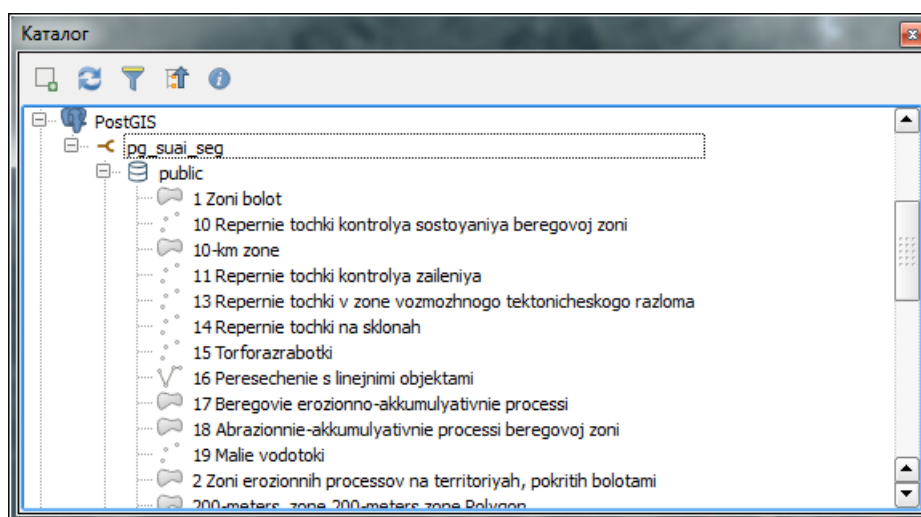


Рис. 4. Подключение к пространственной базе данных

На рис. 2, фрагмент кода, описывает создание таблицы «Layer» с несколькими атрибутивными полями. Таблице назначается владелец «User1», который имеет все права на взаимодействие с созданной таблицей. Также пользователю «User2» присваиваются ограниченные права (только на выбор и создание триггеров). Таким образом, пользователь «User2», не сможет несанкционированно удалить или изменить содержимое таблицы, однако будет иметь доступ ко всем данным хранящимся в ней.

QuantumGIS (QGIS) – свободная кроссплатформенная геоинформационная система, которая поддерживает все наиболее распространенные форматы данных. Для данной работы наибольшее значение имеет возможность работы с дан-

ными из пространственных таблиц Postgresql. Таким образом QGIS является клиентской программой для доступа к тематическим векторным слоям, хранящимся в удаленной базе данных.

На рис. 4 представлен каталог подключения к пространственной базе данных «pg_suai_seg», которая хранит в себе тематические векторные слои одноименной карты. В зависимости от прав пользователя, с данными которого произошло подключение, будет доступны различные возможности работы с хранимой информацией [4].

На рис. 5 проиллюстрирована схема доступа к пространственным данным, которая предлагается в данной работе.

Схема предполагает, что векторные данные хранятся в базе данных под управление СУБД

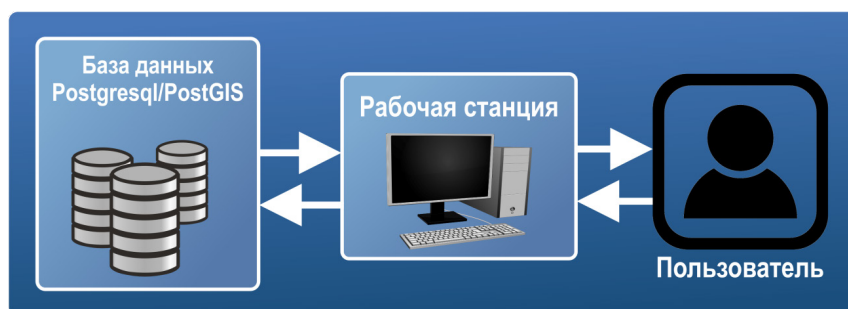


Рис. 5. Концептуальная схема доступа к данным проекта

PostgreSQL. Рабочая станция обеспечивает доступ к базе данных с использованием возможностей геоинформационной системы QuantumGIS.

Предлагаемая схема организации доступа и хранения пространственных данных имеет практическое применение. Кроме того, доступ к пространственной информации может быть организован с помощью геопространственных технологий, для оперативной передачи заказчикам.

Список источников

1. Шубина М. А. О хранении пространственных данных // Информационные системы и технологии: теория и практика. 2022. Вып. 14. С. 240–248.

2. PostGIS. Official Manual. URL: <https://postgis.net/documentation/manual/> (дата обращения: 25.11.2023).

3. Simple Feature Access. URL: <https://www.ogc.org/standard/sfa/> (дата обращения: 25.11.2023).

4. Информационно-аналитический сервис и технологии мониторинга потенциально опасных зон по данным спутникового многоспектрального зондирования / Е. Ф. Чичкова, Д. А. Кочин, С. А. Рогачев // Космические аппараты и технологии. 2023. Т. 7. № 2 (44). С. 132–141.

УДК 519.6

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-164-168

Ю. А. Скобцов*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

КВАНТОВО-ВДОХНОВЛЕННЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ

Представлены новые эволюционные алгоритмы на основе квантово-механических моделей. Для кодирования потенциального решения используются кубиты. При поиске в эволюции потенциальных решений вместо эволюционных операторов кроссинговера и мутации используются квантовые вентили. Приведено сравнение традиционных и квантовых эволюционных алгоритмов.

Ключевые слова: эволюционные алгоритмы, эволюционные вычисления, квантовые вычисления, квантовые эволюционные алгоритмы.

Y. A. Skobtsov*

Dr. Sc. Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

QUANTUM INSPIRED GENETIC ALGORITHMS

New evolutionary algorithms based on quantum mechanical quantum models are presented. Qubits are used to encode a potential solution. When searching for potential solutions in evolution, quantum gates are used instead of evolutionary crossover and mutation operators. A comparison of traditional and quantum evolutionary algorithms is given.

Keywords: evolutionary algorithms, evolutionary computing, quantum computing, quantum evolutionary algorithms.

Введение

Работы по объединению эволюционных [1] и квантовых вычислений [2] ведутся с конца 1990-х годов. Потенциальные преимущества параллелизма, который присущ квантовым вычислениям путем суперпозиции базисных состояний в регистрах кубитов и одновременная оценка всех возможных представленных состояний, дают возможность улучшить алгоритмы вычислительного интеллекта, сочетая в себе преимущества квантовых и эволюционных вычислений. Это привело к большому количеству публикаций в этом направлении в надежде, возможно, большего успеха. Первая серьезная попытка связать квантовые вычисления и эволюционные вычисления была предпринята в [3]. Эта работа и некоторые другие, например [4], основаны на использовании квантовой логики, чтобы создать новые эволюционные алгоритмы для работы на классических компьютерах. В данных работах квантовые модели используются для исследования новых отношений и парадигм для обработки информации, включая алгоритмы вычислительного интеллекта. Некоторые авторы называют эти алгоритмы квантово-вдохновленными. В дальней-

шем мы в основном будем рассматривать эти алгоритмы. Второе серьезное начинание, объединяющее квантовые и эволюционные вычисления, было вдохновлено перспективами использования генетического программирования для синтеза новых квантовых схем и алгоритмов [5]. Здесь исследовались возможности использования генетического программирования для создания новых квантовых алгоритмов. Утверждалось, что, поскольку квантовые алгоритмы трудно создать из-за отсутствия у программистов интуитивного понимания квантового программирования, то почему бы не использовать аппарат генетического программирования для разработки новых квантовых алгоритмов. В рамках этого подхода удалось разработать несколько новых квантовых алгоритмов таким способом, хотя выдающиеся результаты, такие как алгоритмы Гровера, Шора или Нильсона [1], не были получены. Третье слияние квантовых и эволюционных вычислений, пытается, используя преимущества как квантовых, так и эволюционных вычислений разработать «истинно квантовые» эволюционные алгоритмы для работы (как только соответствующее квантовое оборудование будет доступно) на квантовом компьютере.

Квантовое представление потенциальных решений

Квантовые генетические алгоритмы (КГА) основаны концепции квантовых бит и суперпозиции состояний. Минимальная единица информации, запоминаемой в квантовом компьютере с двумя состояниями, называется квантовым битом или кубитом [1]. Последний может находиться в состоянии 0 или 1, или суперпозиции этих состояний [1]. Представление (кодирование) потенциального решения в КЭА использует концепцию кубитов. Состояние кубита может быть представлено следующим образом [1]:

$$\Psi \gg \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle,$$

где α и β – комплексные числа, которые определяют вероятность амплитуд соответствующих состояний. При этом $|\alpha|^2$ определяет вероятность того, что кубит находится в состоянии 0; соответственно, $|\beta|^2$ определяет вероятность нахождения кубита в 1 состоянии и выполняется нормализация $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Итак, один кубит

определяется парой комплексных чисел $\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$, а

кубит-особь (потенциальное решение) определяется

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 | \alpha_2 & \dots & \alpha_m \\ \beta_1 | \beta_2 & \dots & \beta_m \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $|\alpha_i|^2 + |\beta_i|^2 = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m$.

В КГА квантовая хромосома i определяется как строка из j кубитов, представляющая квантовую систему $|\Psi\rangle^i$ с 2^j текущими состояниями:

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_j \\ \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_j \end{pmatrix}_i \rightarrow |\Psi\rangle^i = \sum_j c_j |\Psi\rangle^j \quad (2)$$

Квантовая популяция определяется множеством квантовых хромосом или векторов, как показано ниже. Наиболее распространенный метод инициализации популяции – установление значения амплитуд всех кубитов в хромосомах в значения, представляющие собой квантовую суперпозицию всех состояний с равными вероятностями. Такое представление имеет преимущество в том, что оно способно представлять линейную суперпозицию состояний, поэтому имеет лучшие характеристики относительно разнообразия решений.

Далее на втором этапе мы генерируем (в процессе наблюдения) популяцию $P(t)$, состоящую из классических хромосом – битовых строк или вещественных векторов, в зависимости от ис-

пользуемого вида наблюдения. Двоичное наблюдение дает популяцию особей – битовых строк, а реальное наблюдение генерирует популяцию особей – вещественных векторов. Итак, $P(t)$ популяция является результатом измерения (или наблюдения) состояний кубитов в квантовых хромосомах популяции $Q(t)$. После измерения мы получаем классическую популяцию, такую, что $P(t)$ задается набором векторов (или битовых строк):

$$\begin{matrix} (x_1 & x_2 & x_3 & \dots & \dots & x_{j-1} & x_j)_1 \\ (x_1 & x_2 & x_3 & & & x_{j-1} & x_j)_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ (x_1 & x_2 & x_3 & & & x_{j-1} & x_j)_i \end{matrix}$$

Например, наблюдение за кубитом можно моделировать путем коллапса волновой функции следующим образом:

$$\begin{cases} p(\alpha) \leq |\alpha_j|^2, & x_j = 0 \quad \text{состояние}_0 \\ p(\alpha) > |\alpha_j|^2, & x_j = 1 \quad \text{состояние}_1 \end{cases}, \quad (3)$$

где $p(\alpha)$ – случайное число в диапазоне $[0, 1)$. Заметим, что здесь использовалось двоичное наблюдение, поскольку $x_j=0,1$. Предполагая, что процесс симуляции запускается под архитектурой QRAM [5], этот шаг имеет целью создание популяции $P(t)$ классических хромосом. Цель состоит в том, чтобы провести оценку значений фитнес функции особей классической популяции с использованием обычного цифрового компьютера. В противном случае оценка фитнеса на квантовом компьютере привела бы к коллапсу квантовой системы, которая разрушает состояние суперпозиции. Следует отметить, что оценка фитнеса является одним из основных препятствий в реализации квантовых эволюционных алгоритмов в квантовом компьютере. Далее рассмотрим два разных вида наблюдения, которые применяются в зависимости от используемого кодирования в популяции $P(t)$ классических хромосом (двоичного или реального).

Квантовые генетические алгоритмы с двоичным наблюдением

В КГА с двоичным наблюдением после наблюдения (измерения) квантового (кубитового) представления формируются и обрабатываются двоичные хромосомы, которые используются в классическом генетическом алгоритме. В [4] предложен первый квантовый генетический

алгоритм, где основан этот класс алгоритмов. Данный алгоритм использует кубит в качестве основной единицы представления (кодирования потенциального решения), а регистры кубитов применяются для представления линейной суперпозиции всех состояний, которые могут возникнуть в хромосоме. Квантовая хромосома q_j^t поколения t представляет собой множество кубитов $|\psi_i\rangle$ таких, что

$$q_j^t = \begin{bmatrix} \alpha_1^t & \alpha_2^t & \dots & \alpha_m^t \\ \beta_1^t & \beta_2^t & \dots & \beta_m^t \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где j – номер (идентификатор) хромосомы и m – число кубитов в q_j^t . При этом квантовая хромосома $q_j^t|_{t=0}$ линейную суперпозицию всех возможных состояний с одинаковой вероятностью

так, что состояние квантовой хромосомы $|\psi_{q_j^0}\rangle$

определяется следующим образом

$$|\psi_{q_j^0}\rangle = \sum_{k=1}^{2^m} \frac{1}{\sqrt{2^m}} |X_k\rangle, \quad (5)$$

где X_k представляет k -е состояние двоичной строки (x_1, x_2, \dots, x_m) и значение бита x_i равно 0 или 1 для $i=1, 2, \dots, m$. Популяция квантовых хромосом обозначается:

$$Q(t) = \{q_1^t, q_2^t, \dots, q_m^t\},$$

где n – число особей популяции. Структура квантового генетического алгоритма (GQA) представлена следующим псевдокодом.

Алгоритм 1

```

1 Procedure GQA
2  $t \leftarrow 0$ 
3 инициализация начальной популяции
квантовых хромосом  $Q(t)$ 
4 Наблюдение состояний  $Q(t)$  и генерация
 $P(t)$  – популяции двоичных
хромосом
5 Оценка двоичных решений  $P(t)$ 
6 Запоминание лучшего решения  $b$  среди  $P(t)$ 
7 While (не выполнено условие останова) do
8  $t \leftarrow t+1$ 
9 Наблюдение состояний  $Q(t-1)$  и генерация
 $P(t)$ 
10 Оценка двоичных решений  $P(t)$ 
11 Изменение квантовой популяции  $Q(t)$ 
с помощью квантовых вентилях  $U(t)$ 
12 Запоминание лучшего решения  $b$  среди  $P(t)$ 
13 End
14 end GQA

```

Одна из основных процедур «Наблюдение» приведена ниже в виде псевдокода.

Алгоритм 2

```

1 Procedure Наблюдение
2  $i \leftarrow 0$ 
3 While  $i < m$  do
4  $i \leftarrow i+1$ 
5 if  $\text{random}[0,1] > |\alpha_i|^2$  then
6  $x_i \leftarrow 1$ 
7 else
8  $x_i \leftarrow 0$ 
9 End
10 End
11 End_Наблюдение

```

Здесь $Q(t)$ – популяция хромосом кубитов в поколении t ; $P(t)$ – множество бинарных решений в поколении t . Популяция $Q(t)$ содержит Q -битовые особи $Q(t) = \{q_1^t, q_2^t, \dots, q_n^t\}$ поколения t , где n – мощность популяции.

Для апробации и сравнения характеристик обычного ГА и КГА использовалась, прежде всего, известная проблема комбинаторной оптимизации – задача об укладке рюкзака. В процессе компьютерных экспериментов число укладываемых предметов варьировалось от 10 до 500. Показано, что для относительно небольшого количества укладываемых предметов (100 и меньше) оба алгоритма имеют примерно одинаковые характеристики. Но при возрастании количества предметов КГА показывает лучшие результаты (в среднем на 10–15 %) и есть еще резервы для улучшения путем настройки параметров алгоритма [4]. Приведенные результаты можно резюмировать следующим образом. Изначально КГА начинается со случайного поиска, и далее множество потенциальных решений постепенно сужается. Вероятность случаев с большими значениями фитнес функции увеличивается, и шаг за шагом процесс переходит в этап локального поиска. Наконец, с высокой вероятностью кубитовая хромосома сходится к лучшему решению. То есть КГА начинается с глобального поиска и автоматически переходит в локальный поиск благодаря своим структурным характеристикам. Поскольку кубитовая хромосома может включать в себя прошлую историю особи, множество всех вариантов решения можно найти, начиная даже с одной хромосомы.

В целом, КГА имеет следующие свойства:

- 1) возможность автоматического баланса между глобальным поиском и локальным поиском (обусловлено особенностями структуры КГА);
- 2) включение прошлой истории особи (из-за вероятностного представления);
- 3) меньшее количество особей популяции без потери производительности (из-за линейная суперпозиция состояний);
- 4) меньшее время вычислений.

На этой основе в дальнейшем разработано множество квантовых эволюционных алгоритмов, с которыми можно ознакомиться, например в [5], [6].

Квантовые генетические алгоритмы с реальным наблюдением

В [7] для решения задач численной оптимизации с непрерывными переменными предложен квантовый генетический алгоритм с реальным (вещественным) наблюдением (RQIEA). В отличие от предыдущих алгоритмов, здесь после операции наблюдения (измерения) используется не двоичное, а вещественное кодирование. То есть в процессе наблюдения (измерения) квантовой хромосомы генерируется вещественная хромосома – вектор вещественных чисел, который далее используется при поиске решений. Псевдокод алгоритма 3 для него приведен ниже.

Алгоритм 3

1 Procedure RQIEA

2 $t \leftarrow 0$

3 Инициализация начальной популяции квантовых хромосом $Q(t)$

4 Наблюдение состояний $Q(t)$ и генерация популяции $P(t)$

5 Оценка решений $P(t)$

6 Запоминание лучшего решения из $P(t)$ в $b(t)$

7 While (не выполнено условие останова) do

8 $t \leftarrow t+1$

9 Наблюдение состояний $Q(t-1)$ и генерация популяции $P(t)$

10 Оценка решений $P(t)$

11 Запоминание лучшего решения из $P(t)$ и $b(t-1)$ в $b(t)$

12 Изменение $Q(t)$ с помощью Q вентиляей

13 Рекомбинация

14 End

15 End_ RQIEA

Здесь на шаге 4 используется реальное (вещественное) наблюдение. Наблюдая за состояниями $Q(t)$, на этом шаге строятся реальные (вещественные) решения в $P(t)$, где $P(t) = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}$ в поколении t . Одно реальное решение x_i^t ($i=1, 2, \dots, n$) – это строка вещественных чисел размера m , где x_{ij}^t ($j=1, 2, \dots, m$) – это реальное число в диапазоне $[0, 1]$, которое формируется путем выбора реального числа от 0 до 1 для каждого Q -бита с использованием вероятности

$|\alpha_{ij}^t|^2$, ($j=1, 2, \dots, m$) для особи q_i^t . Для вероятности амплитуды $|\alpha_{ij}^t \beta_{ij}^t|^T$ i -го Q -бита в q_i^t генерируется случайное число r в диапазоне $[0, 1]$. Если

$r \leq 0,5$, то соответствующее наблюдаемое значение устанавливается в значение $|\alpha_{ij}^t|^2$, в про-

тивном случае наблюдаемое значение устанавливается

лируется $|\beta_{ij}^t|^2$. Поскольку значения $|\alpha_{ij}^t|^2$ и $|\beta_{ij}^t|^2$ лежат в диапазоне $[0, 1]$, для преобразова-

ния диапазона можно использовать простое отображение $[0, 1]$ в любой желаемый диапазон переменной оптимизации. На шаге 5 каждое реальное решение x_i^t ($i=1, 2, \dots, n$) популяции $P(t)$ оценивается путем вычисления значения фитнес-функции. На следующем шаге выбирается первоначальное лучшее решение среди $P(t)$ и запоминается в $b(t)$. Далее на шаге 9 генерируются вещественные (реальные) решения в $P(t)$ путем наблюдения за состояниями $Q(t-1)$ так же, как и на шаге 4. Каждое вещественное (реальное) решение оценивается путем вычисления значения фитнес-функции на шаге 10. Далее на шаге 11 выбирается лучшее решение среди $P(t)$ и запоминается в $b(t)$.

Эксперименты показали, что этот квантовый алгоритм для задач численной оптимизации дал лучшие результаты, чем КГА с двоичным наблюдением. Эти алгоритмы хорошо показали себя при решении некоторых практических задач, таких как синтез оптимальных цифровых фильтров, идентификация систем, проектирование контроллеров и обработка сигналов и многие другие [5]–[7].

Заключение

Приведенные алгоритмы можно рассматривать как классические методы оптимизации, вдохновленные принципами квантовых вычислений. Программы, реализующие такие методы, могут выполняться на цифровом компьютере без практических или теоретических трудностей. Квантовые эволюционные алгоритмы обладают лучшей способностью глобального поиска из-за своего разнообразия, обусловленного вероятностным представлением, и обладают быстрой сходимостью к лучшему решению за счет использования прошлой истории особи.

Список источников

1. Скобцов Ю. А., Сперанский Д. В. Эволюционные вычисления. М: Национальный Открытый Университет ИНТУИТ; Лань, 2016. 326 с.

2. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир, 2006. 824 с.

3. *Narayanan A., Moore M.* Quantum-inspired genetic algorithms // Proc. 1996 IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1996. P. 61–66.

4. *Han K.* Genetic quantum algorithm and its application to combinatorial optimization problem // Proceedings of IEEE Congress on evolutionary computation. 2000. P. 1354–1360.

5. *Lahoz-Beltra R.* Quantum Genetic Algorithms for Computer Scientists, Computers, 2016. P. 5, 24.

6. *Ross M.* A review of quantum-inspired metaheuristics: Going from classical computers to real quantum computers IEEE Access. 2020. N 8. P. 814–838.

7. *Alfares F., Esat I.* Real-coded quantum inspired evolution algorithm applied to engineering optimization problems. In Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation, 2006. P. 169–176.

8. *Скобцов Ю. А.* Сравнение традиционных и квантовых генетических алгоритмов // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 4. С. 91–95.

УДК 004.413.5

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-169-173

С. В. Щёкин*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ С ОТКРЫТЫМИ ИСХОДНЫМИ ТЕКСТАМИ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рассматриваются особенности эволюции средств разработки для интерпретируемых языков программирования с открытыми исходными текстами на основе ретроспективы ряда версий исходных текстов за длительный промежуток времени.

Ключевые слова: программное обеспечение, открытые исходные тексты, средства разработки, жизненный цикл.

S. V. Schyokin*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

FEATURES OF THE EVOLUTION OF OPEN SOURCE DEVELOPMENT TOOLS FOR INTERPRETER PROGRAMMING LANGUAGES

The article discusses the features of the evolution of open source development tools for interpreted programming languages based on a retrospective of a number of source versions over a long period of time.

Keywords: software, open source, software development tools, life cycle.

В связи с тем, что в последнее время достаточно часто используется программное обеспечение, создаваемое на основе свободно распространяемых систем с открытым исходным кодом, то несомненный интерес представляют и средства разработки с открытыми исходными текстами [1], [2].

Рассмотрим, как изменялись исходные тексты средств разработки программного обеспечения на интерпретируемых языках на примере нескольких интерпретаторов с открытым кодом.

В табл. 1 представлены объемы исходных текстов интерпретатора Ruby на компилируемых языках программирования. Видно, что основная часть интерпретатора написана на языке C. Интересной особенностью является очень заметное количество строк на языке ассемблера (табл. 1) с 2015 года, которое увеличивалось от версии к версии и достигло максимума к 2020 году в версии 3.0.0. Наличие ассемблерных фрагментов приводит к аппаратной зависимости и потенциально может затруднять перенос на новые аппаратные платформы. И только в версии 3.2.2 аппаратно-зависимые объемы исходного кода сильно сократились.

Еще одним любопытным моментом является наличие вкраплений кода на языке ADA (табл. 1)

в версиях с 2020 по 2022-й годы. Детальный анализ исходных текстов показал, что эти вкрапления были связаны со включением в код интерпретатора полных исходных текстов сторонней библиотеки. В последней версии исходные тексты явно подверглись пересмотру и чистке, в результате чего был сокращен избыточный код, в том числе на языке ADA.

В табл. 2 приведены объемы исходных текстов Ruby на интерпретируемых языках, которые постоянно росли вместе с общими объемами кода. Эти объемы связаны с библиотеками, расширениями, документированием и тестами. Например, в исходные тексты встроен небольшой тест, позволяющий сравнить скорость интерпретации кода интерпретаторами Ruby, Python и Perl.

В исходных текстах версий интерпретатора Python (табл. 3) за период времени, аналогичный периоду времени версий Ruby (см. табл. 1) на компилируемых языках также присутствует язык ассемблера. Однако объемы ассемблерного кода Python имеют постоянную тенденцию к уменьшению, которая прямо противоположна тенденции их изменения в Ruby. Кроме того, в коде Python имеются небольшие объемы на

Таблица 1

Объемы кода Ruby (C/ C++, ADA, Ассемблер)

Версия	Год выхода	Всего строк	C	C++	h, hpp	Assembler	ADA
ruby-1.8.7	2008	556525	206813	35	7650	33	0
ruby-2.0.0-rc2	2013	1542115	727951	0	49745	52	0
ruby-2.1.0	2013	1667457	800023	0	50867	52	0
ruby-2.1.5	2014	1672240	801162	0	50955	52	0
ruby-2.2.1	2015	1755170	804810	171	62313	20810	0
ruby-2.2.3	2015	1757544	806102	171	62289	20810	0
ruby-2.3.0	2015	1815180	816539	171	65644	20810	0
ruby-2.3.5	2017	1821082	818485	171	65662	20810	0
ruby-2.4.1	2017	1715581	822279	171	73925	20810	0
ruby-2.4.5	2018	1722758	825661	171	73973	20810	0
ruby-2.5.5	2019	1968597	841173	171	77472	20810	0
ruby-2.5.7	2019	1967333	839669	171	77482	20810	0
ruby-2.6.0	2018	2086411	853155	171	82947	21255	0
ruby-2.6.5	2019	2098963	853647	171	84771	21255	0
ruby-2.7.0	2019	2188502	869752	816	86471	21267	0
ruby-2.7.5	2021	2195449	871367	816	86517	21280	0
ruby-3.0.0	2020	2318706	915673	2074	105148	26543	2840
ruby-3.0.5	2022	2369708	918915	2074	114301	21858	2840
ruby-3.1.0	2021	2728809	923748	1167	125228	21394	0
ruby-3.1.3	2022	2762202	925556	1167	125245	21394	0
ruby-3.1.4	2023	2762993	925794	1167	125255	21394	0
ruby-3.2.2	2023	2690087	891225	996	123327	871	0

Таблица 2

Объемы кода Ruby (Ruby, Python, Java)

Версия	Год выхода	Всего строк	Ruby	Python	Java, JS
ruby-1.8.7	2008	556525	314740	10	0
ruby-2.0.0-rc2	2013	1542115	717712	61	637
ruby-2.1.0	2013	1667457	766886	61	637
ruby-2.1.5	2014	1672240	769994	61	623
ruby-2.2.1	2015	1755170	782132	270	644
ruby-2.2.3	2015	1757544	783168	270	644
ruby-2.3.0	2015	1815180	825476	270	644
ruby-2.3.5	2017	1821082	829191	270	644
ruby-2.4.1	2017	1715581	710879	270	645
ruby-2.4.5	2018	1722758	714520	270	645
ruby-2.5.5	2019	1968597	938832	447	645
ruby-2.5.7	2019	1967333	939146	447	529
ruby-2.6.0	2018	2086411	1038278	527	644
ruby-2.6.5	2019	2098963	1048600	527	528
ruby-2.7.0	2019	2188502	1090760	549	528
ruby-2.7.5	2021	2195449	1095882	549	528
ruby-3.0.0	2020	2318706	1139639	1043	528
ruby-3.0.5	2022	2369708	1158546	1043	528
ruby-3.1.0	2021	2728809	1528689	1274	528
ruby-3.1.3	2022	2762202	1539792	1274	528
ruby-3.1.4	2023	2762993	1540287	1274	528
ruby-3.2.2	2023	2690087	1579869	1249	528

Таблица 3

Объемы кода Python (C, C++, Objective C, Ассемблер)

Версия	Год выхода	Всего строк	C	C++	h, hpp	Assembler	Objective C
python-3.0	2008	842549	273132	0	71525	12926	781
python-3.0.1	2009	847527	273929	0	71560	12926	781
python-3.1.2	2010	895357	290579	0	73321	12833	807
python-3.1.3	2011	890876	291786	0	73360	12833	807
python-3.2.1	2011	959450	321863	177	81976	14726	807
python-3.2.2	2011	961431	321982	177	81986	14726	807
python-3.3.0	2012	1108633	370791	177	94745	20098	807
python-3.3.5	2014	1135614	377235	179	95383	21914	794
python-3.4.0	2014	1204753	386929	179	99253	21914	794
python-3.4.2	2014	1222691	389363	171	99594	22915	794
python-3.5.0rc4	2015	1297588	404262	3380	128366	22915	794
python-3.5.2	2016	1309932	405370	3505	128448	22915	794
python-3.5.4	2017	1323842	408156	4135	129024	22915	794
python-3.6.3	2017	1374788	424125	4381	136728	22687	794
python-3.7.0	2018	1317652	395300	4174	142554	2134	794
python-3.7.2	2019	1327906	397572	4147	141682	2134	794
python-3.8.1	2019	1432804	418146	4223	181639	1978	794
python-3.8.2	2020	1434929	418575	4223	181638	1978	794
python-3.8.3	2020	1440856	418911	4223	186024	1978	794
python-3.8.4	2020	1441483	419227	4223	186032	1978	794
python-3.8.5	2020	1441655	419259	4223	186032	1978	794
python-3.8.6	2020	1442335	419266	4223	186038	1978	794
python-3.9.0	2020	1533489	458515	4193	190473	1976	794
python-3.9.1	2020	1536529	459384	4193	190476	1976	794
python-3.9.2	2021	1539663	459874	4193	190471	1976	794
python-3.9.4	2021	1540408	460029	4193	190475	1976	794
python-3.9.5	2021	1556095	460136	4193	205576	1976	794
python-3.9.6	2021	1557203	460677	4193	205604	1976	794
python-3.10.0	2021	1598270	472610	4191	211394	1976	794
python-3.10.3	2021	1604499	475074	4191	211518	1976	794
python-3.10.4	2022	1604590	475114	4191	211519	1976	794
python-3.10.5	2022	1606306	475284	4191	211803	1976	794
python-3.10.8	2022	1609514	476190	4191	211952	1976	794
python-3.11.0	2022	1653229	492834	4470	196932	1976	794
python-3.11.1	2022	1658012	493441	4494	196982	1976	794
python-3.11.2	2023	1663659	495202	4494	199296	1976	794
python-3.11.3	2023	1664583	495125	4494	199296	1976	794
python-3.11.4	2023	1671736	495380	4494	199462	1976	794
python-3.11.5	2023	1675714	500067	4496	199491	1976	794
python-3.11.6	2023	1677771	500314	4496	199480	1976	794
python-3.12.0	2023	1792289	525328	4819	240062	74	794

языке Objective C. Языки C и C++ присутствуют и в коде Python и в коде Ruby. Основная часть интерпретатора написана на языке C, так же как и в интерпретаторе Ruby.

Исходный код Python на интерпретируемых языках (табл. 4) используется в целях, аналогичных их использованию в интерпретаторе Ruby.

В Python на них приходится около половины объема исходного кода. В Ruby – несколько больше.

В табл. 5 приведены объемы кода языковых компонент для интерпретатора Perl. Объемы исходных текстов плавно увеличиваются от версии к версии. Основа интерпретатора Perl написана на языке C, так же как и в примерах с

Таблица 4

Объемы кода Python (Python, Java)

Версия	Год выхода	Всего строк	Python	Java, JS
python-3.0	2008	842549	429760	0
python-3.0.1	2009	847527	433991	0
python-3.1.2	2010	895357	461840	0
python-3.1.3	2011	890876	468696	0
python-3.2.1	2011	959450	496155	0
python-3.2.2	2011	961431	498002	0
python-3.3.0	2012	1108633	572782	212
python-3.3.5	2014	1135614	590240	316
python-3.4.0	2014	1204753	646319	316
python-3.4.2	2014	1222691	654827	317
python-3.5.0rc4	2015	1297588	681716	318
python-3.5.2	2016	1309932	692213	323
python-3.5.4	2017	1323842	701776	322
python-3.6.3	2017	1374788	728715	402
python-3.7.0	2018	1317652	750928	402
python-3.7.2	2019	1327906	759669	408
python-3.8.1	2019	1432804	803462	209
python-3.8.2	2020	1434929	805119	209
python-3.8.3	2020	1440856	806301	209
python-3.8.4	2020	1441483	806603	210
python-3.8.5	2020	1441655	806743	210
python-3.8.6	2020	1442335	807410	210
python-3.9.0	2020	1533489	838370	210
python-3.9.1	2020	1536529	840447	209
python-3.9.2	2021	1539663	843101	209
python-3.9.4	2021	1540408	843686	209
python-3.9.5	2021	1556095	844160	209
python-3.9.6	2021	1557203	844680	209
python-3.10.0	2021	1598270	867979	53
python-3.10.3	2021	1604499	871349	53
python-3.10.4	2022	1604590	871399	53
python-3.10.5	2022	1606306	872660	53
python-3.10.8	2022	1609514	874809	53
python-3.11.0	2022	1653229	908436	136
python-3.11.1	2022	1658012	912343	136
python-3.11.2	2023	1663659	913874	136
python-3.11.3	2023	1664583	914875	136
python-3.11.4	2023	1671736	918616	136
python-3.11.5	2023	1675714	920826	136
python-3.11.6	2023	1677771	922647	136
python-3.12.0	2023	1792289	917515	136

интерпретаторами Ruby и Python, рассмотренных ранее. В ряде версий присутствует язык C++. В ранних версиях присутствуют минимальные фрагменты Java в исходном коде. На этом сходство исходных текстов заканчивается.

У интерпретатора Perl, в отличие от Ruby и Python, не было ни одной версии с аппаратно зависимыми ассемблерными фрагментами. Это

может оказаться преимуществом при переносе на новую платформу.

В противоположность Ruby и Python здесь практически полностью отсутствуют сколь-нибудь значимые части кода, написанные на интерпретируемом языке. С точки зрения переноса на другую платформу эта особенность больших преимуществ не дает.

Таблица 5

Объемы кода Perl (C, C++, Java)

Версия	Год выхода	Всего строк	C	C++	h, hpp	Java
perl-5.004	1999	122094	71187	0	14803	0
perl-5.005	1999	149478	79913	0	26313	0
perl-5.6.2	2003	239815	110811	0	44185	30
perl-5.8.9	2008	312550	158823	759	63435	30
perl-5.10.1	2009	372276	194164	2621	67909	0
perl-5.12.5	2012	386857	194059	2621	68509	0
perl-5.14.4	2013	405323	202503	2621	67468	0
perl-5.16.3	2013	415695	205698	2623	68573	0
perl-5.18.4	2014	426051	208693	2623	70758	0
perl-5.20.0	2014	444693	213150	2623	82903	0
perl-5.22.3	2017	541087	214371	2623	174247	0
perl-5.24.4	2018	540577	221088	2623	162772	0
perl-5.26.2	2018	560536	225637	2623	172823	0
perl-5.28.3	2020	863303	234662	2623	462797	0
perl-5.30.3	2020	891421	237670	2623	486168	0
perl-5.32.1	2021	918292	237542	2623	512566	0
perl-5.34.2	2023	919359	239103	746	514991	0
perl-5.36.2	2023	934062	235873	0	531986	0
perl-5.38.1	2023	976949	242207	0	546131	0
perl-5.39.5	2023	976409	246781	0	542208	0

Теоретически реализация всех функций интерпретатора только на компилируемом языке должна давать прирост производительности. Однако здесь все не так однозначно. Фактически, производительность программы зависит еще и от того, насколько оптимально реализован сам интерпретатор, каким образом он взаимодействует с операционной системой и от особенностей самой интерпретируемой программы. На одних задачах производительность может быть выше, а на других – нет.

На рассмотренных примерах мы показали особенности реализации и развития различных интерпретаторов языков программирования с открытыми исходными текстами. На основе анализа изменений исходных текстов на протяжении длительного периода можно сде-

лать выводы о вероятных свойствах будущих версий и целесообразности выбора конкретных интерпретаторов в качестве перспективных средств разработки.

Список источников

1. Щёкин С. В. Особенности эволюции средств разработки программного обеспечения с открытыми исходными текстами // Научная сессия: сб. статей. СПб.: ГУАП, 2019. С. 354–358.
2. Щёкин С. В. Особенности эволюции средств разработки аппаратно зависимого программного обеспечения с открытыми исходными текстами // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: сб. статей. СПб.: ГУАП, 2020. С. 108–112.

УДК 517.36

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-174-176

Н. А. Балонин*

доктор технических наук, профессор

Ю. Н. Балонин*

ведущий инженер

А. А. Востриков*

кандидат технических наук, доцент

А. М. Сергеев*

кандидат технических наук, доцент

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕНОМЕНА ОРТОГОНАЛЬНОГО ГИПЕРОБЪЕКТА

У ортогональных матриц с ограниченным числом значений элементов есть известная проблема пропусков порядков. Выявление ортогонального гиперобъекта как иррациональной матрицы показало, что все такие матрицы являются его частными проекциями. Исследование и изучение этого феномена позволяет надеяться на то, что будут найдены матрицы на всех порядках равных числам натурального ряда.

Ключевые слова: ортогональные матрицы, квазиортогональные матрицы, ортогональный гиперобъект, матрицы Адамара, маскирование, помехоустойчивое кодирование.

N. A. Balonin*

Dr. Sc. Tech., Professor

Y. N. Balonin*

Lead Engineer

A. A. Vostrikov*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

A. M. Sergeev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

M. B. Sergeev*

Dr. Sc. Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ON THE ISSUE OF STUDYING THE PHENOMENON OF ORTHOGONAL HYPEROBJECT

Orthogonal matrices with a limited number of element values have a known problem of skipping orders. The identification of an orthogonal hyperobject as a irrational matrix has shown that all such matrices are its particular projections. The analysis and study of this phenomenon allows us to hope that matrices of all orders equal to the numbers of the natural series will be found.

Keywords: orthogonal matrices, quasi-orthogonal matrices, orthogonal hyperobject, Hadamard matrices, masking, noise-resistant coding.

Введение

Формирование широкого предложения ортогональных (квазиортогональных) матриц для разработчиков методов преобразования информации, защищенной передачи визуальных и аудиоданных по беспроводным каналам связи и др.

возможно на основе развития и совершенствования теории установления фундаментальных связей порядков матриц, их структур и характеристик с ортогональным гиперобъектом.

Причины, по которым гиперобъект становится связующим началом для проведения научных и практических исследований состоят в следую-

щем. Во-первых, теория матриц Адамара как математических объектов принесла ощутимые практические результаты после успешных миссий нескольких космических автоматических станций к Марсу при передаче изображений планеты на Землю. Использование матриц Адамара при их кодировании обеспечило впервые в истории удачные передачи изображений с Марса [1], [2]. Во-вторых, матрицы Адамара, вычисляемые рядом методов, представляются рекурсивными структурами с высоким коэффициентом повторения – являются фракталами. Успешное использование рекурсий Сильвестра, увеличивающее порядок матриц Адамара вдвое, запустило широкий процесс исследования этих матриц, поскольку, согласно гипотезе Адамара, их порядки равны $4t$, где t – натуральное число.

Открытие феномена ортогонального гиперобъекта [3] состоит в том, что размер шага по порядкам порождаемых на его основе ортогональных матриц можно уменьшить с $4t$ до t , обеспечив связь их порядков со всеми числами натурального ряда.

Как показано авторами [3], целочисленные матрицы Адамара являются всего лишь срезом более крупного математического объекта, который проявляет себя как иррациональная матрица. Можно отследить ее структуру, симметрии, орнаменты знаков элементов по мере формирования ее слоев по возрастанию порядка. Отметим, матрицы Адамара в классическом их изложении никогда не увязывались ранее с такой широкой их трактовкой как частный срез ортогонального гиперобъекта.

Перспективы изучения ортогонального гиперобъекта

Иррациональные матрицы позволяют применить для их поиска не переборные, а совершенно иные методы исследования, включая алгоритмы поиска условных экстремумов и точек типа «седло», применять теоремы о неподвижной точке отображения.

Например, оптимизационная процедура [4] исправила ошибку неверно описанной матрицы Адамара типа Буша порядка 100. Матрицы Адамара типа Буша – известный самый сложный тестовый объект, исследуемый З. Янко [5], основателем теории спорадических групп. Алгоритм переборного поиска таких матриц описан в литературе плохо, что не позволяет исправить ошибку, поскольку неясно даже, где она. Алгоритм Прокруста [3], увеличивая детерминант дефектной матрицы, привел ее к нужному виду совершенно иным способом.

Благодаря особенностям выявленного гиперобъекта появились возможность не только исправлять дефектные матрицы Адамара, столь популярные в научных исследованиях, но и получать ортогональные матрицы промежуточных порядков.

Понятно, что ранее не известный феномен требует тщательного исследования, поскольку оно обещает, в частности, строгое научное доказательство гипотезы Адамара о существовании матриц на порядках $4t$.

Целочисленная математика, как и теория решений целочисленных уравнений Диофанта, упирается в неограниченную сложность узоров матриц Адамара, которую не исчерпать ограниченным объемом переборных. С подобной проблемой математика сталкивалась, устанавливая невозможность описания диагонали равнобедренного прямоугольного треугольника отношением двух целых величин. Нужна итерация Герона, а именно ее использует алгоритм Прокруста, которым ищутся иррациональные матрицы, срезы гиперобъекта [3].

Цель и задачи исследования ортогонального гиперобъекта

Основная цель развития и совершенствования теории ортогональных и экстремальных матриц видится сегодня в установлении фундаментальных связей их существования, их порядков, структур и характеристик посредством выявленного ортогонального гиперобъекта. Это позволит формировать библиотеки уникальных ортогональных и экстремальных матриц для совершенствования существующих и разработки новых методов преобразования цифровой информации.

Изучение самого гиперобъекта следует продолжать на основе изучения его проекций на соответствующие базисы. Отсюда следует содержание научных и научно-технических задач, подлежащих решению.

Первая задача состоит в исследовании применения ортогонального гиперобъекта для поиска очень разных групп матриц и последовательностей их порядков.

Вторая задача состоит в изучении тактики использования гиперобъекта и другой абстрактной математики для поиска ортогональных матриц с симметриями, а также выход за пределы их применимости – на составные порядки матриц и длины последовательностей.

Заключение

Исследование ортогонального гиперобъекта заключается в поиске путей разрешимости через

его проекции экстремальными и ортогональными матрицами семейства Адамара. Оно позволит ответить на пока не решенные вопросы об особенностях взаимосвязи через гиперобъект разных по орнаменту знаков элементов групп матриц: целочисленных, рациональных и иррациональных, обладающих ортогональностью и/или различными экстремальными свойствами.

Формирование разнообразия экстремальных и ортогональных матриц семейства Адамара по порядкам, структурам и характеристикам является основой постановки задачи пересмотра существующих и разработки новых методов ортогональных преобразований цифровой информации, помехоустойчивого кодирования, маскирования и др.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003 «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

Список источников

1. *Shalom E.* La conjecture de Hadamard (I) – Images des Mathématiques, CNRS. 2012. URL: <http://images.math.cnrs.fr/La-conjecture-de-Hadamard-I.html> (дата обращения: 17. 05.2022).
2. *Лейтон Р.* Поверхность Марса // Успехи физических наук. 1971. Т. 103. Вып. 4. С. 755–768.
3. *Балонин Н. А., Себерри Д., Сергеев М. Б.* Задачи разрешимые и неразрешимые. Алгоритм Прокруста получения матриц семейства Адамара // Информационно-управляющие системы. 2023. № 1. С. 2–16.
4. *Сергеев М. Б., Балонин Н. А., Балонин Ю. Н.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614356 от 16 мая 2012 г. «Программа поиска М-матриц».
5. *Балонин Ю. Н.* Программный комплекс MMatrix-2 и найденные им М-матрицы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 10. С. 58–63.
6. *Janko Z., Kharaghani H., Tonchev V.* Bush-type Hadamard matrices and symmetric designs // Journal of Combinatorial Designs. 2001. № 9. P. 72–78.

УДК 517.36

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-177-183

Н. А. Балонин*

доктор технических наук, профессор

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ALU ДНК СО СЛУЧАЙНЫМИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ОРТОГОНАЛЬНЫМИ СУБПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ

Рассматриваются малоизученные ортогональные матрицы нечетных порядков, распадающиеся на два семейства – мерсенниды и адамариды. Анализируются зависимости длин последовательностей в пределах сгенерированного квантовым генератором массива случайных чисел, при которых задача получения бициклической матрицы разрешима. Показывается эффект от применения последовательностей, взятых из кода Alu ДНК как основы формирования таких матриц.

Ключевые слова: код ДНК, ортогональные матрицы, квантовая генерация, случайные последовательности, мерсенниды, адамариды.

N. A. Balonin*

Dr. Sc. Tech., Professor

M. B. Sergeev*

Dr. Sc. Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARISON OF ALU DNA SEQUENCES WITH RANDOM ORTHOGONAL SUBSEQUENCES

The article considers poorly studied of orthogonal matrices of odd orders, which fall into two families – mersennides and hadamarides. The dependences of sequence lengths within an array of random numbers generated by a quantum generator are analyzed, under which the problem of obtaining a bicyclic matrix is solvable. The effect of using sequences taken from the DNA Alu code as the basis for the formation of such matrices is shown.

Keywords: DNA code, orthogonal matrices, quantum generation, random sequences, mersennides, hadamarides.

Введение

ДНК была открыта швейцарским биологом Фридрихом Мишером в 1869 году. Изначально она получила название нуклеин. Позже Мишер выявил его кислотные свойства и вещество было названо нуклеиновой кислотой. Однако долгое время считалось, что носителем генетической информации являются белки, а ДНК – всего лишь запасник фосфора, поскольку ее строение казалось слишком однообразным – это совершенно прозрачные нити длинных молекул, которые в воде образуют коллоидный раствор слабой кислотности.

Ключевые принципы устройства ДНК предложил Николай Кольцов в 1927 году. Он полагал, что наследственные свойства записаны в гигантских молекулах, состоящих из двух нитей, являющихся зеркальными копиями и слу-

жащими матрицами для дальнейшего копирования. Но гениальное прозрение российского ученого не было услышано.

Между двумя нитями ДНК, состоящими из чередующихся молекул сахара и фосфатных групп, находятся азотистые основания, соединения, составляющие гены организмов, с водородными связями между ними. Долго считалось, что именно эти водородные связи удерживают две нити вместе. Сейчас ученые все чаще используют метод перевода комбинации нуклеотидов – аденин (А), гуанин (G), цитозин (C) и тимин (Т) в двоичные коды, на основании которых впоследствии производят синтез искусственной ДНК.

Синтетическая ДНК

Для кодирования нуклеидов, очевидно, подходит следующий принцип: 0=А, 1=Т, 2=C,

З=Г. Для построения цепочки нуклеидов учеными принят следующий принцип перевода текстовых данных в цифры: сначала по таблице ASCII (i=105; G=71; E=69; M=77), потом – в четверичную систему (105 → 1221; 71 → 0113; 69 → 0111; 77 → 0131), и только после этого – в цепочку нуклеотидов.

В 2010 году было предложено синтетическую ДНК внедрять в геном бактерии *E. coli*, но позже от этой идеи отказались из-за опасности потери информации в процессе мутаций организма-носителя. Синтетическая ДНК внедрялась в сгенерированную на специальном ДНК-чипе молекулу. Такой способ позволил закодировать книгу Черча с сохранением форматирования и иллюстраций.

Само подобное кодирование для заказчиков проводит компания Twist Bioscience [1], предоставляющая нити синтетической ДНК. Информацию о содержании такого кодирования Twist Bioscience не имеет, помечая лишь специальными маркерами начало и конец записи.

Известен пример записи в ДНК музыкального видео OK Go с высоким разрешением, к которому добавлена Всеобщую декларацию прав человека на 100 языках, топ-100 книг «Проекта Гутенберг» и база данных по нитям ДНК сельскохозяйственных культур от некоммерческой компании Crop Trust's [2]. Для записи использовалась синтетическая ДНК, купленная у Twist Bioscience в количестве 10 миллионов нитей, разработанная по заказу. Работа велась с синтетической ДНК, купленной у компании Twist Bioscience в количестве 10 миллионов нитей. Синтетическая ДНК определенной конфигурации разрабатывается по заказу.

Ледяной остов ДНК

Исследователи из Технологического университета Чалмерса показали, что секрет спиральной структуры ДНК может заключаться в том, что молекулы имеют гидрофобное внутреннее пространство, в то время как окружающая ДНК среда является гидрофильной. А именно, азотистые основания молекул ДНК являются гидрофобными, отталкивающими окружающую их воду. Гидрофобные единицы, находясь в гидрофильной среде, группируются вместе для минимизации воздействия на воду.

Роль водородных связей, которые ранее рассматривались как решающие для удержания спиралей ДНК вместе, по-видимому, больше связана с сортировкой пар оснований, поскольку они соединяются вместе в правильной последовательности, как показано на рис. 1.

Это открытие является спорным, поскольку вода-воде рознь. Авторы толкуют о сухом непромокаемом туловище ДНК, имеющем решающее значение в понимании отношений ДНК прокариот и эукариот с окружающей средой. И из всего многообразия структур в природе базовой является всего одна – гексагональная (шестигранная), когда шесть молекул воды объединяются в кольцо. Такая структура характерна для талой воды и клеточной воды всех живых существ. Молекулы воды группируются именно в кольцевые шестиугольные структуры, имеющие форму снежинок (гексагональные формы).

Связывание кластеров воды с электронными облаками молекул ДНК придает этой ДНК свойства холодильника (термоса), формирующего «ледяной» остов, на котором она висит (рис. 2).

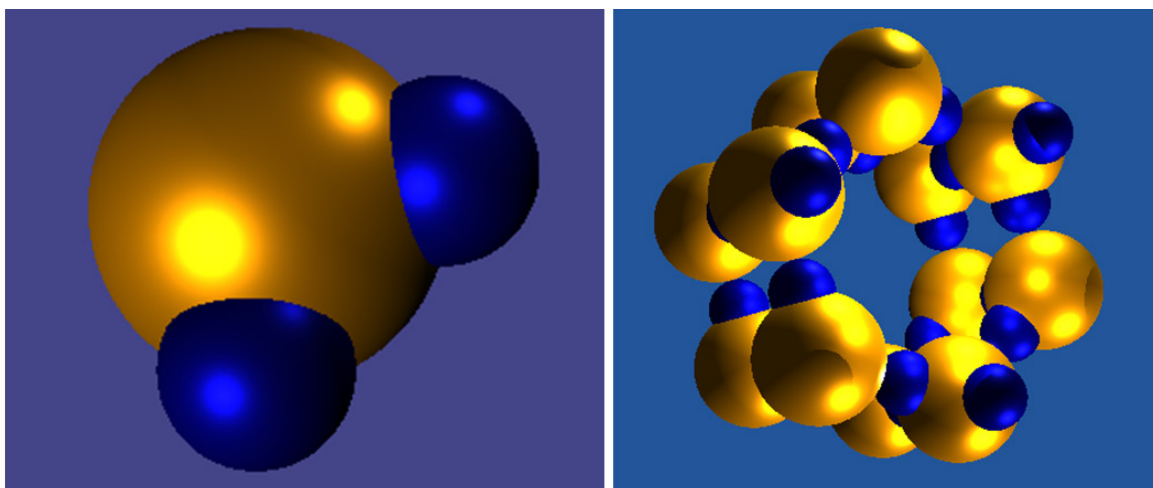


Рис. 1. Молекула воды и шестигранная структура из молекул воды

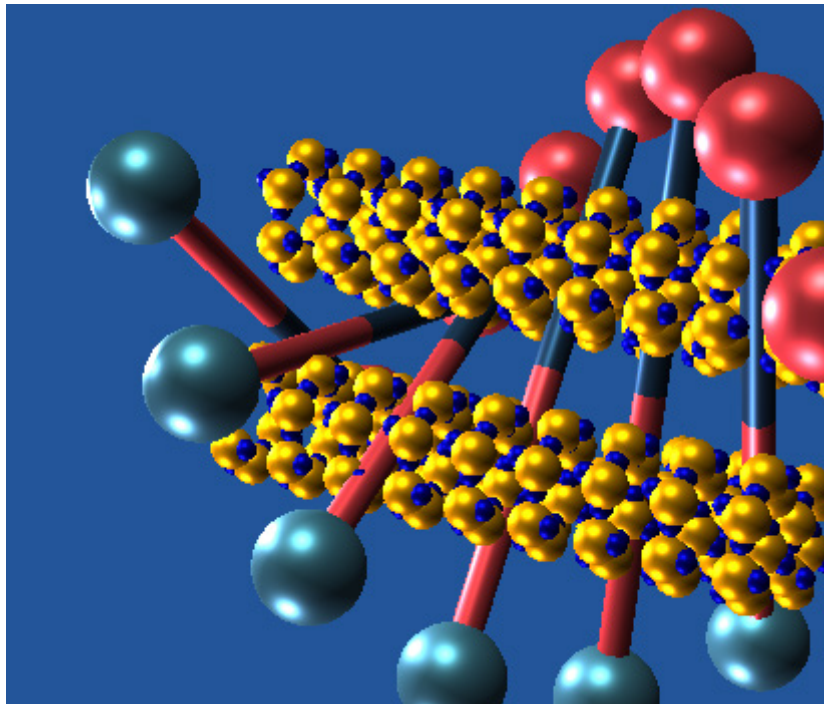


Рис. 2. Вода в структуре ДНК

Лед является кристаллической формой воды, построенной из молекул H_2O . Молекулы воды в нем связаны между собой максимально возможным числом водородных связей. Решетка льда учитывает соседние соломинки, и атомы водорода распределяются во льду (вне ДНК) более вариативно, чтобы удерживать всех соседей (расчет углов более сложен). По учению Максима Ремпеля молекулы ДНК образуют менее связанный связями кристалл, образуя состояние EZ-water.

Это конфигурация соломинки, способная собираться характерной для внутренности ДНК башенкой. Все это говорит о том, что в кодах ДНК определенного сорта симметрия.

Фасции водных ячеек организуются в «соломинки», которые подобно стволу растения придают ДНК устойчивость и несминаемость. По размерам молекул таких соломинок четыре. Каркас ДНК лишает части степеней свободы решетку воды внутри него, играя роль специфического холодильника. Это древнейший термос в истории, сходный с конденсатом Бозе – Эйнштейна.

ДНК линейна и читается от начала до конца, а более 97 % ее закоментировано. Участки, не подлежащие декодированию, четко помечены как комментариями в программе. Оставшиеся 3 % ДНК используются по прямому назначению и образуют «экзоны». Комментарии, расположенные «между» называются «интронами». Таким образом, лишь небольшая доля нашей ДНК

кодирует белки, а основная часть генома не нужна (как будто бы).

Оцифровка генокода AluY

Ненужную часть ДНК в свое время назвали «мусорной» – в ней видели просто балласт, накопившийся по каким-то причинам за миллионы лет эволюции. В «мусорной» ДНК есть довольно много транспозонов – так называют особые последовательности нуклеотидов, которые перепрыгивают из одного места генома в другое. В ДНК человека одни из самых многочисленных транспозонов – это Alu-элементы, которые распространяются по механизму «копировать и вставить». Пример оцифрованного фрагмента приведен на рис. 3.

Их насчитывается более 1,1 млн копий, что в сумме составляет 10,7 % человеческого генома. Большинство из них уже неактивны, то есть уже нигде не «прыгают», однако те, что еще работают, могут доставить большие неприятности, являясь причиной таких заболеваний, как гемофилия, рак молочной железы и некоторых других.

С другой стороны, те же Alu-элементы полезны с эволюционной точки зрения. Их последовательности часто встают рядом, так что между одним транспозоном и другим оказывается какой-то ген или несколько генов. Считается, что именно благодаря Alu-элементам у некото-

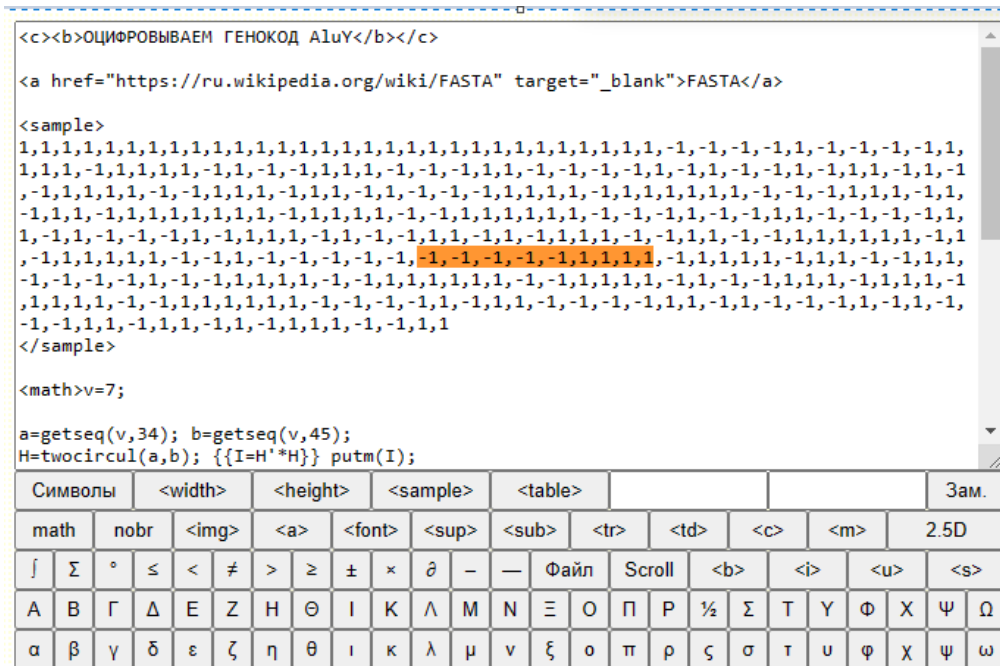


Рис. 3. Пример оцифровки *AluY* ДНК

рых обезьян заново появилось прежде утраченное трехцветное зрение, то есть способность видеть синий, красный и зеленый.

Матричные модели генокода

Матрицы Адамара **H** [3, 4] порядка *n*, это матрицы с элементами 1 и -1, удовлетворяющие условию ортогональности $H^T H = nI$, где **I** – единичная матрица того же порядка *n*. На серии порядков, кратных простым числам 5 и 13, открытых Марком Голеем [5], матрицы Адамара упрощаются до бициклической конструкции

$$T = \begin{pmatrix} A & B \\ B^T & -A^T \end{pmatrix}$$

Здесь **A** и **B** – две моноциклические матрицы, которые порождаются их верхними строками – последовательностями *a*, *b*.

Согласно правилу Сильвестра, представляемому как $\begin{pmatrix} H & H \\ H & -H \end{pmatrix}$, для любой ортогональной

матрицы можно удвоить ее порядок, и, следовательно, порядки 2^k являются легко осваиваемыми.

Элементарным обобщением матриц Адамара являются матрицы с двумя значениями их элементов, удовлетворяющие условию $A^T A = \omega I$. Здесь ω – целое, рациональное или иррациональное число. Так порождается семейство матриц Адамара, для формирования которого они

послужили общим методическим руководством. Бициклическая форма среди всех матриц семейства универсальна и распространена.

Для матриц Адамара повышение размера называется не на разрешимости, а на возможности поддерживать специфическую симметрию не самой матрицы, а операций с матрицами. Первый отличный от голеевских бицикл имеет размер $68=4 \times 17$ (второй 100), внешне он отличается от них разве повышенным размером основы 17. Только для голеевских пар существует алгоритм перемножения их между собой. На множестве экстремальных по детерминанту матриц четных порядков, не кратных 4, свойство образовывать пары сохраняется. Это так называемые матрицы оптимального дизайна **OD** [1, 4] – не ортогональные матрицы, которые можно сделать ортогональными уменьшением значения отрицательного элемента до некоторого $-b$, $|b| \leq 1$.

Таким образом, их можно отнести к расширенному семейству матриц Адамара. Эти порядки, напротив, распадаются на разрешимые и нет по признаку простоты числа, характеризующего размер, сам размер значения уже не имеет, поскольку он смещен на два. Разрешимость матичных узоров (орнаментов) ортогональным или экстремальным рисунком тесно связана с 10-й проблемой Гильберта [5]. В этой статье нас интересуют значительно менее изученные матричные модели нечетных порядков, распадающиеся на два семейства [6], [7].

Одни из них, «адамариды» порядков $4t+1$, больше размеров матриц Адамара на единицу и в большинстве случаев нужные нам решения из адамаровых бициклов и образуются добавлением монотонной каймы из единиц в строке сверху и в столбце справа (первый элемент -1). Они не строго оптимальны по детерминанту, исключая порядки, равные первым пяти числам Ферма 3, 5, 17, 257, 65537.

Все сказанное в равной мере относятся и ко второму семейству матриц порядков $4t-1$, «мерсеннидам», так как числа Марена Мерсенна погружены именно в этот ряд чисел. Их значение на единицу больше порядков матриц **ОД**. Матрицы оптимального дизайна существуют не всегда, тогда как экстремальные на бициклической структуре с каймой матрицы существуют для всех таких порядков. В них заведомо не входят числа Ферма.

Строго оптимальные по детерминанту матрицы нечетных порядков, отличных от чисел Ферма, неограниченно усложняются с ростом размера задачи. В настоящее время достоверно известны и доказана экстремальность матриц, не превышающих критического размера в плече 13.

Вполне ожидаемо, что на порядке 36 возникнут проблемы поиска основы для наложения каймы, но они есть и для вполне безобидных голеевских порядков 32 и 64, поскольку 33 и 65 – не числа Ферма.

Ввиду резкого роста трудностей оправдан переход к более узкому классу матриц, экстремальных на бициклической структуре, представленной на рис. 4.

Определение. Матрица **T** называется экстремальным бициклом в том случае, если взятая с нормализованной каймой $[T] = \begin{pmatrix} -1 & \mathbf{e}^T \\ \mathbf{e} & T \end{pmatrix}$, все элементы вектора \mathbf{e} составляют 1, она имеет максимум детерминанта на множестве матриц такой структуры. Уравнение орнамента матриц

базируется на точках Гаусса сечения чаши параболоида $x^2+y^2=h$ на высотах h , где $h=n$ для матриц Адамара и $h=2n-2$ для матриц **ОД**. Обоих типов матриц может и не быть, так, например, нет бициклов Адамара порядков 36 и 72, порядки не разрешимы, хотя точки Гаусса имеются.

Выход из ситуации, когда нет точек Гаусса для заданного порядка прост – они берутся на той высоте h , на которой они существуют, и тогда задача сводится к выяснению того, ближайшее это кольцо среза параболоида, или оно отстоит подальше.

Экстремальные бициклы и получаемые из них матрицы больших детерминантов (БД-матрицы, МБД) нечетных порядков хорошо вписываются в общий контент задачи на оптимальность, и дополняют собой матрицы Адамара и **ОД**, отличаясь от них инвариантами $k_1=(v-x)/2$, $k_2=(v-y)/2$, задающими число -1 в строках его плечей **A** и **B** размера v .

Для серий бициклов на порядках матриц Адамара в качестве опорных высот берутся размеры тех самых избранных семейств, куда вложены числа Ферма (-1 , которая отвечает размеру каймы: $17-1=16$ и т. п.).

Отсутствие бицикла порядка 36 само по себе не мешает использовать этот порядок, на котором есть регулярные матрицы Адамара, но сложной структуры, для расчета инвариантов серии бициклов. Инварианты, это числа, а не матрицы.

Невозможность ортогонализировать бицикл с такими параметрами для них не критична, поскольку ищутся заведомо не ортогональные МБД. Вслед 36 для смещенных семейств такую же роль опорной высоты для расчета координат точек Гаусса [7] играет порядок 64, хотя голеевская пара уступает тут первенство блочной составной структуре с каймой. Тем самым, для вычисления орнаментальных инвариантов используется ровно те же самые формулы, что и для матриц Адамара и **ОД**, но высота h в них со-

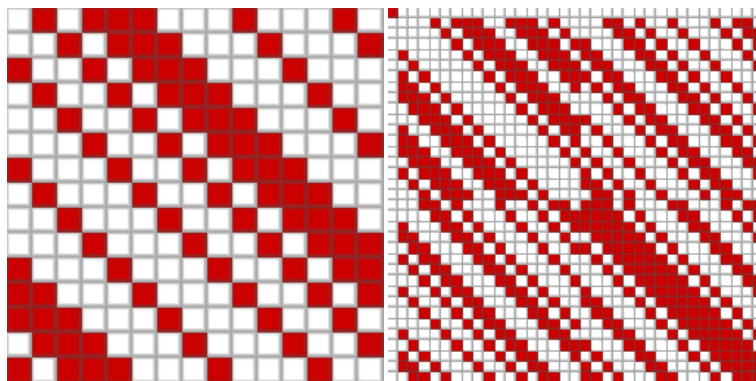


Рис. 4. В сравнении моноцикл и бицикл с каймой

ответствует *влиятельному* порядку, существенно отличному от порядка матрицы.

Установление величин инвариантов, характеризующих экстремальное решение значительно сокращает алгоритмы поиска, поэтому приводимые здесь сведения новы и важны. Для ориентации в размерах семейств смежных порядков, сидящих на одних и тех же точках Гаусса, нужно познакомиться с построением системы чисел.

Помимо продукции квантовых генераторов эксперименты, полезные для сравнения, идут с биологическими последовательностями – с выборками из ДНК.

Тест последовательности $AluY$

Теория матриц семейства Адамара с малым числом уровней (бинарных, тринарных) используют случайные последовательности для формирования ортогональных массивов или их вкладок меньшего порядка. По тому, какой порядок разрешим на выборке заданного объема, мы можем судить о вместимости случайного массива чисел 1 и -1 . Емкость последовательности «в матрицах» еще никто не измерял, поскольку существует несколько их типов: моноблоки, библоку, трехблочные, негациклические, ортогональные и/или экстремальные и т. п.

Для эксперимента с последовательностями были взяты сгенерированные квантовым способом 41 000 точек из чисел 1 и -1 с увеличением в этом пределе выборки длин $W=1000, 2000$ и т. п., при которых наблюдалась разрешимость бициклом T . Это основа матриц Адамара с двойной каймой. Симметрии пока не учитывались. Как показал эксперимент, матрицы порядка 42 при заданных параметрах получить легко. Поднимая порядок на 4 по n выше, получаем критический порядок 46, для которого решение единственно и преодолеть его возможно поднятием объема данных. Это позволяет строить зависимость $n=f(\max(W))$ и потом прогнозировать нужные объемы исходных данных.

Мерсенниды, описанные ранее, удобны тем, что их бицикл имеет такой же порядок, что и матрицы Эйлера, но они не ортогональны, однако дают экстремальный детерминант бицикла с каймой. Если матрицы Эйлера – это типичный ортогональный базис (при понижении уровня -1), то мерсенниды – базис из не ортогональных векторов. Для них порядок 42 оказывается сложным, хотя 46 достигается проще. Ведут себя эти матрицы иначе, они имеют высокий эксцесс – большой разброс необходимых количеств 1 и -1 . На порядке 42 они имеют значения $k_1=11$ и $k_2=8$.

Поскольку число паттернов (узоров) внутри ограниченной последовательности конечно, рано или поздно любая последовательность генератора исчерпывается. Кроме того, при равномерном появлении на выходе генератора 1 и -1 возникает нарастающий с ростом порядка конфликт в различии эксцессов при поиске мерсеннидов, которого нет у биологических генераторов, таких, как ДНК. Выход из этой ситуации, при отсутствии аппаратной обратной связи на генератор – сложить две последовательности. Получим три уровня, за 1 примем один из них, тем самым меняется вероятность появления 1 и -1 .

Этот метод использования генератора является новым, позволившим в частном эксперименте поднять разрешимый порядок мерсеннидов с 42 до 58.

Заметим, что описанным приемом мы меняем как вероятность, так и разнообразие паттернов, искусственно расширяя выборку за счет времени работы процессора, что нельзя признать до конца верным решением. Хотелось бы иметь обратную связь на генератор. Отметим, что все указанные эксперименты дублировались на выборках кода, взятого с последовательностей Alu ДНК. Длина последовательностей составляет всего 300 точек (они имеют четыре уровня, но легко сводимы к двум принятыми в генетике правилами различия пуринов и пиромединов), известно, что они составляют до 90 % генетического кода, играя специфическую роль скобок при переносах генетического материала. Скобке следует быть узнаваемой, поэтому стоит ожидать от Alu высокого показателя «емкости» в матрицах.

Заключение

Показана возможность получения исходных последовательностей с Alu ДНК для формирования ортогональных матриц бициклических структур с гораздо лучшими показателями, чем у последовательностей от программных генераторов.

Взаимные сопоставления результатов выходных последовательностей квантовых и биологических генераторов могут дать дополнительную информацию обоим областям.

Анонсируя результаты проведенных экспериментов, мы не спешим с заключениями, поскольку область нова и требует более тщательного исследования и осмысления.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования

Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003.

Список источников

1. *Hadamard J.* Resolution d'une question relative aux determinants. Bulletin des Sciences Mathematiques. 1893. Vol. 17. P. 240–246.
2. *Turyan R.* Hadamard Matrices, Baumert-Hall Units, four Symbol Sequences, Pulse Compression and Surface Wave Encodings. J. Combin. Theory, 1974. N 16. P. 313–333.
3. *Seberry J., Yamada M.* Hadamard Matrices: Constructions using number theory and linear algebra, Wiley, 2020, 384 p.
4. *Colbourn C., Dinitz J.* Handbook of Combinatorial Designs, Second Edition. Chapman and Hall/CRC. 2007. 967 p.
5. *Matiyasevich Y.* On recursive unsolvability of Hilbert's tenth problem // Proceedings of Fourth International Congress on Logic, Methodology and Philosophy of Science, Bucharest (1971) Amsterdam: North-Holland, 1973. P. 89–110.
6. *Балонин Н. А., Сергеев М. Б., Себерри Д.* Окружности на решетках и матрицы Адамара // Информационно-управляющие системы. 2019. № 3. С. 2–9.
7. *Балонин Н. А., Сергеев М. Б., Себерри Д.* Окружности на решетках и матрицы максимального детерминанта // Информационно-управляющие системы. 2020. № 6. С. 2–11.

УДК 004.7

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-184-186

А. В. Гордеев**доктор технических наук, профессор***Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

ОБ ОПЫТЕ И ПРОБЛЕМАХ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПРОДУКТАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ ГК «АСТРА»

Рассмотрены проблемы и опыт изучения отечественной операционной системы Astra Linux Special Edition и администрирования вычислительных сетей, построенных на ее основе. Основные проблемы связаны с трудностями доступа к актуальным учебным материалам и к программному обеспечению.

Ключевые слова: Astra Linux, учебные материалы, репозитории, лицензии.

A. V. Gordeev**Dr. Sc. Tech., Professor***St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation*

ABOUT THE EXPERIENCE AND PROBLEMS OF TEACHING STUDENTS THE PRODUCTS AND TECHNOLOGIES OF ASTRA GROUP

The problems and experience of studying the domestic operating system Astra Linux Special Edition and administering local area networks based on it are considered. The main problems are related to the difficulties of accessing relevant educational materials and software.

Keywords: Astra Linux, educational materials, repositories, licenses.

Последние десятилетия в подавляющем числе наших вузов и колледжей при изучении вопросов построения и администрирования вычислительных сетей, в том числе и корпоративного уровня, прежде всего опирались на системное программное обеспечение (СПО) компании Microsoft. Эта компания сумела в 1990-е годы прошлого века захватить рынок операционных систем (ОС) и сетевого СПО не только благодаря качеству своих продуктов и своей поддержке тех, кто имеет необходимые лицензии, но и благодаря разумному и достаточно агрессивному маркетингу. Хорошо помню, что в уже упомянутые 90-е годы компания Microsoft легко позволяла использовать свое СПО без лицензий, то есть по-пиратски. Это привело к тому, что количество пользователей, умеющих работать с их СПО, быстро выросло и достигло некой «критической массы». И в последующем очень многих из этих пользователей-пиратов удалось вынудить приобретать лицензии. Если не для личного потребления, то на работе, потому что с другим СПО эти пользователи не умели работать, а изучать иное ПО это сложно. Тем более что практически все используют самое распространенное СПО; так проще и надежнее.

Особое значение имеет доступность СПО и соответствующих учебных материалов для

учебных заведений. Можно вспомнить, что в конце 1990-х годов Microsoft, желая получить очередной громадный рынок сбыта своей продукции, вообще бесплатно передавала лицензии на свои продукты в школы и вузы КНР. Правда, там быстро поняли к чему это приведет и начали проводить политику по разработке своих ОС на базе GNU/Linux, и начали обучать молодежь работе с этим СПО. Увы, в нашей стране так и не удалось сломать устоявшуюся систему обучения в школах и специальных учебных заведениях, и у нас повсеместно изучаются прежде всего ОС Microsoft Windows и все остальные информационные системы и технологии, использующие это СПО.

К сожалению, почти все источники информации о продуктах компании Microsoft прежде всего описывают технологию работы с рассматриваемым СПО. Поэтому большой интерес вызвали и до сих пор вызывают книги другого рода, например, работы ныне известного автора Марка Руссиновича (Mark Russinovich). Он написал несколько интересных и полезных утилит для работы с ОС Microsoft Windows NT; они пользовались определенным успехом и были широко распространены среди администраторов и системных инженеров. Компания

Microsoft даже пригласила его на высокооплачиваемую работу, и он стал писать интересные и крайне полезные книги об устройстве этой ОС (в качестве примера можно назвать книгу [1]).

При всех достоинствах СПО компании Microsoft и их широкого распространения считалось и считается, что главные их недостатки связаны с их закрытостью. Это не открытые и не свободные, а проприетарные продукты и лицензии на их использование не дают возможностей глубоко изучать их «внутренне устройство», получать доступ к исходным кодам, не позволяют их дизассемблировать даже с целью внесения в них исправлений обнаруженных ошибок, не говоря уже о возможностях изменять под свои потребности. Но, как оказалось, есть еще и другие недостатки. Это отсутствие должной информационной безопасности (имеются в виду так называемые бэкдоры*, позволяющие дистанционно управлять вашими компьютерами) и даже отказ в сопровождении, несмотря на наличие законной официальной лицензии (имеются в виду введенные против нас санкции).

Поэтому интерес к открытым информационным системам и технологиям, который все возрастал последние лет пятнадцать, и нарастающее противостояние с проамериканским западным миром привели к тому, что даже на государственном уровне стали продвигать отечественное СПО, которое возникло хоть и на базе открытых кодов, но было существенно доработано и переработано, и прошло необходимую сертификацию. Наиболее мощно в последние годы выступила ГК РусБИТех «Астра». Эта компания смогла реализовать мандатный метод управления доступом к информационно-вычислительным ресурсам, развить и усилить возможности дискреционного метода управления доступом, и на их основе реализовать полноценный ролевой метод управления доступом. Для большей информационной безопасности у ее СПО имеются мощные средства кодирования, а для построения различных высоконадежных информационно-вычислительных систем, использующих сетевые технологии корпоративного уровня, есть сертифицированная мощная служба каталога Astra Linux Directory Pro. Все эти решения опираются на защищенную операционную систему Astra Linux Special Edition (ОССН – операционная система специального назначения). Эта ОССН представляет собой глубоко переработанную открытую ОС GNU/Linux от Debian и, в нарушение GPL, уже не является открытой и свободной так как для

ее использования нужно приобрести лицензию. Именно отсюда и возникают все трудности с обучением студентов и трудности эксплуатации.

В то же время для свободного использования ГК «Астра» разработала ОС Astra Linux Common Edition (ОСОН – ОС общего назначения); лицензия на нее бесплатна, но она предназначена только для личного использования. Внешне ОССН и ОСОН очень похожи, у них одинаковый рабочий стол Fly, но это разные ОС. Соответственно, у них и разный состав репозиториев. Доступ к репозиторию ОССН осуществляется через личный кабинет, который можно получить только при наличии лицензии. Репозиторий ОССН Астра существенно ограничен по своему набору пакетов, прошедших обработку разработчиков этой ОС и сертификацию, и многие нужные для работы пакеты приходится устанавливать либо из других репозиториев, либо вообще компиляцией из исходников. К сожалению, этот путь приводит к разрушению целостности системы ввиду некогерентности пакетов из разных репозиториев и нарушения условий сертификации.

У ОСОН репозиторий открытый. Правда, интерес к этой ОС у пользователей небольшой, прежде всего из-за запрета на ее использование не для личных целей. У ОСОН Astra Linux удобный графический интерфейс, она интуитивно понятна многим пользователям, у нее нет особых проблем с пакетами ПО, и главное, многим и не нужно следовать жестким требованиям по информационной безопасности. Но ее нельзя использовать для работы.

Поскольку у каждой ОС и у каждой информационной системы есть свои особенности, для успешной работы с ними нужно их достаточно подробно изучать. И здесь тоже есть достаточно много препятствий. По обеим операционным системам (ОССН и ОСОН) практически нет учебной литературы. Те несколько книг, которые изданы и могут быть найдены [2]–[4], не покрывают все то многообразие нюансов и новых механизмов, которые нужно понять и научиться их применять. Наиболее доступная и полноценная база знаний по этим ОС и соответствующим технологиям представлена интернет ресурсом WIKI – <https://wiki.astralinux.ru/kb>. Очевидно, что для обучения студентов этого недостаточно. Нужно большое количество разнообразной учебно-методической литературы и свободный доступ к учебным материалам, подготовленным при непосредственном участии самих разработчиков, то есть ГК «Астра». И здесь мы сталкиваемся с ситуацией, что эта компания, будучи относительно молодой и, по-

* от англ. back door – «черный ход».

хоже, не чувствуя себя уверенно в жестком конкурентном мире, закрывает свои собственные учебные материалы. Они доступны только в специальных сертифицированных учебных центрах. Поясню этот тезис на примере.

Весной этого года двум преподавателям нашего университета было предложено пройти сертифицированное обучение в учебном центре ГК «Астра». Обучение проводилось дистанционно. Для участников обучения читались лекции и с помощью технологии виртуальных машин демонстрировались основные элементы работы с ОСН Astra Linux. На время обучения можно было изучать презентации, подготовленные преподавателями учебного курса. Однако все эти материалы были надежно защищены от скачивания и после окончания обучения доступ к ним был прекращен. Очевидно, что передать эти знания в полной мере своим студентам преподаватели, которые проходили такое обучение, вряд ли смогут – наша память не совершенна, нужны подсказки к большому количеству деталей. Но ни лекций, ни слайдов увидеть больше нельзя.

Напомню, что при появлении своих новых технологий и программных продуктов компания Microsoft всегда выпускала специальные дистрибутивы, которые можно было свободно скачать и использовать до полугода (этого времени обычно с лихвой хватало на время обучения). Более того, если к концу этого срока приобрести и активировать законную лицензию, то можно использовать созданную и настроенную должным образом систему в дальнейшем. То есть сначала научиться, а затем использовать, опираясь на полученные знания и умения. И преподаватели многих учебных заведений широко использовали образы таких компакт-дисков в своем учебном процессе. Это разумное решение. К большому сожалению, воспользоваться такой технологией при обучении студентов продуктам ГК «Астра» не представляется возможным.

Понятно, что желание свести к минимуму санкционные риски и развитие отечественных решений в конечном итоге приведет к расширению информационных технологий и программных продуктов, обсуждаемых в этой статье. Но скорость распространения этих технологий и продуктов, качество создаваемых систем и ка-

чество администрирования соответствующих информационно-вычислительных систем долгие годы будет существенно более низкими относительно наших желаний и ожиданий.

В настоящее время в ГУАП студенты-бакалавры, обучающиеся по направлениям 09.03.01, 09.03.04 и 02.03.03 изучают построение и администрирование вычислительных сетей корпоративного уровня со службой каталога и в качестве основного объекта выступают сети на базе ОСН Astra Linux и Astra linux Directory. Для этого написано учебное пособие «Корпоративные сети со службой каталога Astra linux Directory, разработан комплекс лабораторных работ, после выполнения которых студенты умеют устанавливать системы, настраивать сетевые интерфейсы, устанавливать и конфигурировать службы DHCP и DNS, создавать доменные сети, создавать и администрировать основные информационно-вычислительные ресурсы. Главным недостатком упомянутой службы каталога является то, что она позволяет работать только в гомогенных сетях, в которых работают только ОСН Астра. Службу каталога Astra Linux Directory Pro, которая позволяет работать вместе с системами Microsoft Windows и службой каталога Active Directory и осуществить миграцию с сетей Microsoft на сети с ОСН Astra Linux, мы не имеем возможности изучать как раз по причинам, изложенным выше. Очень надеюсь, что в недалеком будущем со стороны ГК Астра будут предприняты необходимые шаги для преодоления этих препятствий.

Список источников

1. Соломон Д., Руссинович М. Внутреннее устройство Microsoft Windows 2000. Мастер-класс / Пер. с англ. СПб.: Питер, 2001. 752 с.
2. Вовк Е. Astra Linux. Руководство по национальной операционной системе и совместимым офисным программам. М.: Миф, 2022. 400 с.
3. Матвеев М. Д. Astra Linux. Установка, настройка, администрирование. СПб.: Наука и техника, 2023. 416 с.
4. Девянин П. Н. Основы безопасности операционной системы Astra Linux Special Edition. Управление доступом. М.: Астра, 2023.

УДК 004.056.53

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-187-191

Е. К. Григорьев*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА МАСКИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предлагается подход к оценке качества одностороннего и двустороннего матричного маскирования основанный на оценках двумерного коэффициента корреляции и корреляции пикселей защищенного изображения. Полученные результаты позволяют численно оценить качество маскирования при помощи матриц различной структуры; показывают, что в случае невозможности обеспечить равенство размеров матрицы маскирования и исходного изображения (наилучшее возможное качество маскирования) выставление порога для коэффициента двумерной корреляции не выше 0,5 обеспечит достаточное качество маскирования.

Ключевые слова: матричное маскирование, квазиортогональные матрицы, качество маскирования, корреляция пикселей, обеспечение конфиденциальности.

Е. К. Grigoriev*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ON ONE APPROACH TO QUALITY ASSESSMENT OF MASKING VISUAL INFORMATION

This work proposes an approach to quality assessment of one-sided and two-sided matrix masking based on estimates of the two-dimensional correlation coefficient and pixel correlation of the encoded image. The results obtained allow us to numerically evaluate the quality of masking using matrices of various structures. The results obtained show that if it is impossible to ensure the equality of the sizes of the masking matrix and the original image (the best possible masking quality), then setting the threshold for the two-dimensional correlation coefficient not higher than 0,5 will ensure sufficient masking quality.

Keywords: matrix masking, quasi-orthogonal matrices, masking quality, pixel correlation, guarantee of confidentiality.

Введение

Большое количество задач преобразования информации и анализа данных связано с обработкой и передачей визуальной информации. Визуальная информация, благодаря удобству ее восприятия [1], часто используется, например, в повседневном сетевом общении пользователей интернета или при потреблении различного медиаконтента [2], [3]. Визуальная информация, как и любая другая подвержена утечкам, что требует решать задачу обеспечения конфиденциальности передаваемых данных.

В данной области вместе с криптографическими методами активно развиваются матричные методы обеспечения конфиденциальности [4], в частности, матричное маскирование [5] с использованием малоуровневых структурированных квазиортогональных матриц [6]. Данный метод, приводящий визуальную информацию к шумоподобному виду, в котором исполь-

зуется простой математический аппарат, является хорошо проработанным, поскольку в литературе [7]–[9] подробно освещены вопросы сжатия и устойчивости к искажениям передаваемой информации, а также вопросы выбора матриц для данной процедуры. Тем не менее вопрос оценки качества маскирования до сих пор остается открытым.

В [10] для оценки использовались классические метрики MSE, PSNR, SSIM. Однако в виду специфики визуальной информации, при маскировании матрицами малого размера, значения MSE и PSNR могут быть достаточно большими, однако на изображении остаются ярко выраженные контуры, визуальный анализ которых позволяет в некоторых случаях полное восстановление изображения/кадра видеопотока [11]. Структурный индекс сходства изображений (SSIM) в свою очередь не подходит для точной оценки качества изображения, поскольку может только оценить сходство двух изобра-

жений/кадров видеопотока, а также не всегда правильно оценивает сходство содержимого визуальной информации [12].

В [4] для оценки качества маскирования предлагается подход, основанный на близости спектра маскированных данных к белому шуму, однако исследовался только для звуковых данных, и требует дальнейшего исследования для визуальной информации.

Таким образом, на данный момент поиск метрики качества маскирования, остается актуальной задачей.

Корреляционный подход к оценке качества маскирования

Любое реальное цифровое изображение/кадр видеопотока обладает сильной пространственной корреляцией пикселей и, как следствие, обладает избыточностью. Составной частью многих алгоритмов сжатия является процедура – декорреляции пикселей, В [12] также предлагается использовать корреляцию для оценки сходства изображения с эталоном. В связи с этим в рамках данной работы оценим влияние размеров матрицы маскирования на два параметра – корреляцию пикселей изображения и двумерный коэффициент корреляции.

Матричное маскирование, может осуществляться в двух вариантах. Первый – одностороннее маскирование, при котором исходное изображение (или фрагмент изображения) \mathbf{X}_n размера $n \times n$ умножается на матрицу \mathbf{M}_n того же размера в виде:

$$\mathbf{Y}_n = \mathbf{X}_n \mathbf{M}_n, \quad (1)$$

где \mathbf{Y}_n – передаваемое по коммуникационному каналу в цифровом виде защищенное изображение.

Матрицу \mathbf{M}_n далее будем называть *матрицей-ключом*.

Второй вариант – двухстороннее маскирование, при котором исходное изображение (или его фрагмент) умножается на матрицу-ключ \mathbf{M}_n слева и транспонированную матрицу-ключ \mathbf{M}_n^T справа в виде:

$$\mathbf{Y}_n = \mathbf{M}_n \mathbf{X}_n \mathbf{M}_n^T, \quad (2)$$

Обратные преобразования для получения исходного изображения при одностороннем и двухстороннем маскировании выполняются как:

$$\mathbf{X}_n = \mathbf{Y}_n (\mathbf{M}_n)^{-1}, \quad (3)$$

$$\mathbf{X}_n = (\mathbf{M}_n)^{-1} \mathbf{Y}_n (\mathbf{M}_n^T)^{-1}. \quad (4)$$

Использование для маскирования ортогональных или квазиортогональных матриц \mathbf{M}_n , для которых $(\mathbf{M}_n)^{-1} = \mathbf{M}_n^T$, упрощает обратные преобразование по (3) и (4).

В качестве тестового было выбрано классическое изображение – Лена [13], в формате tiff.

Для маскирования использовались двухуровневые матрицы:

1) мерсенна структурированная по Уолшу [14] – симметричная структура;

2) на основе М-последовательности [15] – циклическая структура.

В табл. 1–3 приведены оценки вертикальной ($r_{\text{верт}}$), горизонтальной ($r_{\text{гориз}}$), и диагональной ($r_{\text{диаг}}$) корреляции пикселей. Причем в табл. 1 указаны характеристики исходного изображения, а в табл. 2 и 3 для матриц симметричной и циклической структуры соответственно.

Для вычисления корреляции пикселей произвольно выбирались 5000 двух соседних элементов изображения, а расчет производился по следующей формуле:

$$r_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}},$$

где x и y – значения двух соседних пикселей, изображения представленного в градациях серого. $\sigma_{x,y}$ – ковариация, σ_x^2 и σ_y^2 – дисперсии случайных величин x и y соответственно.

Таким образом, анализ результатов, полученных в табл. 1–3 позволяет численно подтвердить утверждения о том, что двухстороннее маскирование дает лучшие результаты сделанное в [5]. Дополнительно, можно сделать вывод о том, что в общем случае маскирование матрицами симметричной структуры обеспечивает лучшую декорреляцию пикселей изображения, и как следствие лучшее разрушение структуры исходного изображения.

Для вычисления двумерного коэффициента корреляции использовалась следующая формула:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X})(Y_{ij} - \bar{Y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{ij} - \bar{X})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \right)}}$$

где X и Y – исходное и маскированное изображение соответственно; \bar{X} и \bar{Y} – средние значения X и Y соответственно; M и N размеры по вертикали и горизонтали исходного и маскированного изображений.

Таблица 1

	$r_{\text{верт}}$	$r_{\text{гориз}}$	$r_{\text{диаг}}$
Исходное изображение	0,9846	0,9668	0,9595

Таблица 2

Размер матрицы маскирования	Одностороннее			Двустороннее		
	$r_{\text{верт}}$	$r_{\text{гориз}}$	$r_{\text{диаг}}$	$r_{\text{верт}}$	$r_{\text{гориз}}$	$r_{\text{диаг}}$
7×7	0,9849	0,8535	0,8526	0,9076	0,8477	0,7990
15×15	0,9849	0,7711	0,7723	0,8624	0,7812	0,7185
31×31	0,9870	0,5863	0,5865	0,7210	0,6431	0,4818
63×63	0,9873	0,5290	0,5345	0,7739	0,6628	0,5892
127×127	0,9848	0,2365	0,2392	0,5213	0,2380	0,1758
255×255	0,9849	0,1304	0,1350	0,3100	0,1876	0,1983
511×511	0,9848	-0,0890	-0,0902	0,2564	-0,0314	0,0567

Таблица 3

Размер матрицы маскирования	Одностороннее			Двустороннее		
	$r_{\text{верт}}$	$r_{\text{гориз}}$	$r_{\text{диаг}}$	$r_{\text{верт}}$	$r_{\text{гориз}}$	$r_{\text{диаг}}$
7×7	0,9848	0,9199	0,9100	0,9532	0,9191	0,8875
15×15	0,9849	0,9107	0,9000	0,9427	0,9048	0,8587
31×31	0,9862	0,9221	0,9111	0,9488	0,9292	0,8823
63×63	0,9858	0,9397	0,9276	0,9533	0,9386	0,8949
127×127	0,9849	0,9549	0,9423	0,9700	0,9564	0,9298
255×255	0,9849	0,9642	0,9516	0,9806	0,9667	0,9498
511×511	0,9850	0,9691	0,9565	0,9841	0,9691	0,9556

Значения двумерного коэффициента корреляции для изображения, маскированного симметричной и циклической матрицей приведены в табл. 4.

Результаты, полученные в табл. 4 предлагается интерпретировать при помощи шкалы Чеддока [16], [17], предполагается, что умерен-

ная (0,3–0,5) и слабая корреляция (0,1–0,3) будут обеспечивать достаточное разрушение структуры исходного изображения при любом варианте маскирования (двухстороннем или одностороннем). Следует сопоставить табличные данные и графические результаты маскирования, для возможности провести совмест-

Таблица 4

Размер матрицы маскирования	Симметричная структура		Циклическая структура	
	Одностороннее	Двустороннее	Одностороннее	Двустороннее
7×7	0,8701	0,8360	0,9425	0,9160
15×15	0,7583	0,6992	0,8594	0,8010
31×31	0,5718	0,4839	0,5136	0,4624
63×63	0,3416	0,2537	0,1998	0,2129
127×127	0,2275	0,1618	-0,1781	0,0678
255×255	0,1498	0,1142	-0,1530	0,0919
511×511	0,0259	-0,0074	-0,5327	0,1175

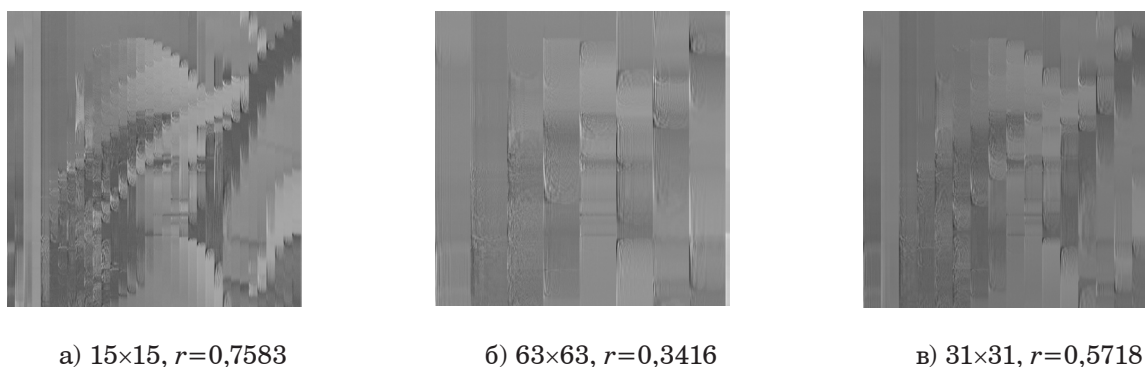


Рис. 1. Результат одностороннего матричного маскирования

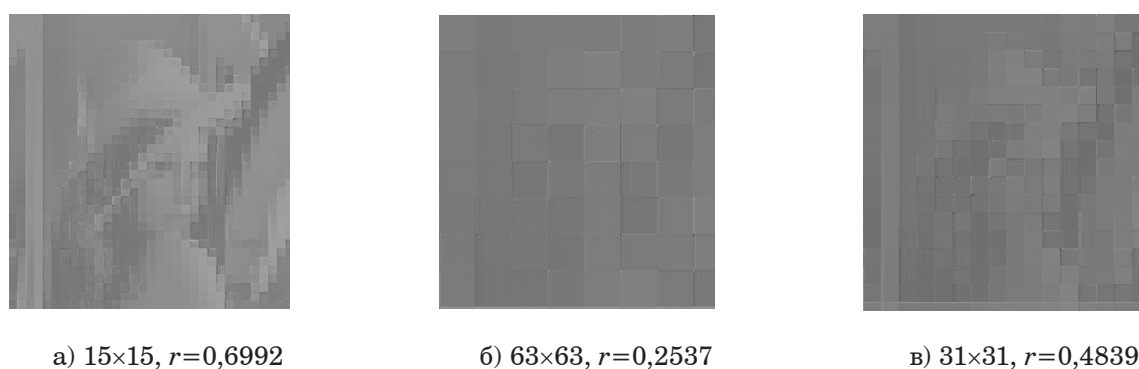


Рис. 2. Результат двустороннего матричного маскирования

ный анализ. На рис. 1 и 2 приведены соответственно результаты одностороннего и двустороннего матричного маскирования с использованием симметричных матриц Мерсенна структурированных по Уолшу.

Результаты визуального анализа позволяют сделать предположение о том, что в случае, если по каким-либо причинам невозможно обеспечить равенство размеров матрицы маскирования и исходного изображения (наилучшее возможное качество маскирования), то выставление порога для коэффициента двумерной корреляции не выше 0,5 обеспечит достаточное качество маскирования.

Заключение

В работе предложен простой подход к оценке качества маскирования изображений, основанный на оценках вертикальной, горизонтальной и диагональной корреляции пикселей маскированного изображения, а также оценке коэффициента двумерной корреляции. Данный подход допустим, в виду того, что при маскировании изображения/кадра видеопотока всегда есть доступ к незащищенному изображению, для расчета необходимых параметров.

Числено подтверждено, что двустороннее маскирование матрицами симметричной структуры дает лучшие результаты для данной процедуры.

В дальнейшем для подтверждения сделанного в работе предложения о достаточности выставления порога коэффициента двумерной корреляции в 0,5 предполагается дополнительная проработка данного подхода с использованием методов экспертной оценки и математического моделирования.

Источник финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003 «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

Список источников

1. Ziatdinov R. Visual Perception, Quantity of Information Function and the Concept of the Quantity of In-

formation Continuous Splines // Scientific Visualization. 2016. Vol. 8. Iss. 1. P. 168–178.

2. Градюшко А. А. Платформы Instagram и TikTok в цифровом пространстве: сравнительный аспект // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2021. № 1 (243). С. 12–19.

3. Круглова Л. А., Коновальцева А. О. Российские телевизионные каналы на платформе YouTube // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Литературоведение. Журналистика. 2020. Т. 25. № 2. С. 351–359.

4. Григорьев Е. К., Сергеев А. М. Оценка качества матричного маскирования цифровых звуковых данных // Труды учебных заведений связи. 2023. 9 (3). С. 6–13.

5. Востриков А. А., Сергеев М. Б., Литвинов М. Ю. Маскирование цифровой визуальной информации: термин и основные определения // Информационно-управляющие системы. 2015. Т. 5. № 78. С. 116–123.

6. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Матрицы локального максимума детерминанта // Информационно-управляющие системы. 2014. № 1 (68). С. 2–15.

7. Ненашев В. А., Сергеев А. М., Капранова Е. А. Эксперименты по замене ДКП квазиортогональным преобразованием в алгоритмах сжатия изображений // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч II. Технические науки. СПб.: ГУАП. 2018. С. 369–373.

8. Востриков А. А., Чернышев С. А. Об оценке устойчивости к искажениям изображений, маскированных М-матрицами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. Т. 5. № 87. С. 99–103.

9. Востриков А. А., Мишура О. В., Сергеев А. М. О выборе матриц для процедур маскирования и демаскирования изображений // Фундаментальные исследования. 2015. Т. 2. № 24. С. 5335–5339.

10. Чернышев С. А. Разработка и исследование метода матричного маскирования видеoinформации в глобально распределенных системах: дисс. ... кандидата технических наук. СПб., 2018. 120 с.

11. Ерош И. Л., Сергеев А. М., Филатов Г. П. О защите цифровых изображений при передаче по каналам связи // Информационно-управляющие системы. 2007. Т. 5. № 30. С. 20–22.

12. Старовойтов В. В. Индекс ssim не является метрикой и плохо оценивает сходство изображений // Информатика. 2019. № 2. С. 1–17.

13. The Lenna Story. URL: <http://lenna.org/> (дата обращения: 15.11.2023).

14. Сергеев А. М. Структурированные по Уолшу двухуровневые и модульно двухуровневые квазиортогональные матрицы для маскирования изображений // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2023. Т. 66. № 5. С. 399–408.

15. Ненашев В. А., Григорьев Е. К., Сергеев А. М. Стратегии вычисления персимметричных циклических квазиортогональных матриц как основы кодов // Электросвязь. 2020. № 10. С. 58–61.

16. Chaddock RE. Principles and methods of statistics. Boston; New York, 1925. 471 p.

17. Котеров А. Н., Ушенкова Л. Н., Зубенкова Э. С. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64. № 6. С. 12–24.

УДК 517.36

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-192-195

Д. С. Дехканбаев*

кандидат технических наук, доцент

Д. В. Куртяник*

старший преподаватель

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ОБНОВЛЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ТАБЛИЦ ПОИСКА С ПРИЛОЖЕНИЕМ К СИСТЕМЕ ПРОДОЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Представлен новый метод обновления адаптивных таблиц поиска с приложением к системе продольного управления автомобилем. Адаптивные таблицы позволяют эффективно хранить параметры модели управления. Преимуществом использования адаптивных таблиц является возможность их обновления для учета изменяющихся коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием, веса автомобиля, износа тормозных колодок и др. Предлагаемый метод сочетает высокую точность и скорость обновления таблиц за счет адаптивного выбора обновляемых ячеек таблицы в зависимости от удаленности измеренного значения от табличных.

Ключевые слова: интерполяционная таблица, адаптивная интерполяционная таблица, управление автомобилем.

D. S. Dechkanbaev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

D. V. Kurtianik*

Senior Lecturer

M. B. Sergeev*

Dr. Sc. Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

HYBRID METHOD OF UPDATING ADAPTIVE SEARCH TABLES WITH AN APPLICATION TO THE LONGITUDINAL CAR CONTROL SYSTEM

A new method of updating adaptive search tables with an application to the longitudinal car control system is presented. Adaptive tables allow you to efficiently store the parameters of the management model. The advantage of using adaptive tables is the possibility of updating them to take into account the changing coefficient of adhesion of tires to the road surface, the weight of the car, the wear of brake pads, etc. The proposed method combines high accuracy and speed of updating tables due to the adaptive selection of updated table cells depending on the distance of the measured value from the tabular ones.

Keywords: interpolation table, adaptive interpolation table, driving.

Введение

Математическим объектам, созданным и представляющим столетия интерес только для математиков, часто отводится ключевая роль в современных технических решениях. Таким объектом, например, являются матрицы – двумерные прямоугольные таблицы значений. Впервые квадратные матрицы упоминались еще в древнем Китае, где их называли «волшебным квадратом», а термин «матрица» ввел в научный оборот Дж. Сильвестр в XIX веке [1].

Разнообразие матриц, их параметров и конструкций, а также структурированность операций с ними, явились причиной их массового применения во многих технических приложениях [2], [3].

Цель настоящей работы – показать еще одно их применение в техническом приложении, связанном с автоматическим управлением движением автомобиля. В частности, с формированием обновленных значений ускорений, являющихся промежуточными элементами таких матриц.

Двумерные адаптивные интерполяционные таблицы

Интерполяционные таблицы (Lookup Table) предназначаются для хранения числовых данных в формате многомерного массива, который в двумерном случае представляется матрицей. Значения элементов такой матрицы – характеристики объекта управления, связывающие входы с выходами.

Статически заданные интерполяционные таблицы физического объекта устанавливают отображение поведения связи «вводы-выводы» физического объекта и не могут отражать изменяющееся во времени его поведение (характеристики).

Поведение реальных физических объектов часто меняется в зависимости от времени, условий взаимодействия с окружающей средой, технических параметров отдельных систем объектов. Для отражения изменения поведения объектов во времени используются адаптивные интерполяционные таблицы (Adaptive Lookup Table). Они отражают изменяющееся во времени поведение физических объектов и являются широко распространенным способом моделирования динамических систем, в частности, продольной системы управления автомобилем, наряду с полными математическими моделями и ПИД-регуляторами.

Для каждой из систем управления скоростью движения автомобиля, таких как газ, тормоз, ретардер и др., создается таблица, столбцы которой соответствуют скоростям, а строки – силе нажатия на соответствующую педаль. Значениями в ячейках такой таблицы являются целевые ускорения, определяемые заданной силой нажатия на педаль газа для заданной скорости. При этом промежуточные значения ускорений интерполируются на основе табличных. Адаптивные таблицы ускорений заполняются с фиксированным шагом в заданном интервале изменения ускорений. Пример такой таблицы приведен на рис. 1.

Значения ускорений зависят от множества факторов, таких как вес (особенно это важно для грузовых автомобилей), коэффициент сцепления шин с дорожным полотном (различны для сухой и дождливой погоды) и т. д.

Для четко определяемых факторов, таких как вес, подходит создание набора таблиц, которые могут быть выбраны в зависимости от текущей ситуации, например, от текущего веса автомобиля. Менее очевидные факторы, такие как коэффициент сцепления шин с дорожным полотном, наличие или отсутствие сильного устойчивого ветра и т. д. требуют адаптивной подстройки значений используемой таблицы.

	V_1	V_2	V_3	V_4
P_1	$Z_{1,1}$	$Z_{2,1}$	$Z_{3,1}$	$Z_{4,1}$
P_2	$Z_{2,1}$	$Z_{2,2}$	$Z_{2,3}$	$Z_{2,4}$
P_3	$Z_{3,1}$	$Z_{3,2}$	$Z_{3,3}$	$Z_{3,4}$
P_4	$Z_{4,1}$	$Z_{4,2}$	$Z_{4,3}$	$Z_{4,4}$

Рис. 1. Двумерная адаптивная таблица с ускорениями Z , соответствующими скорости автомобиля V и величине нажатия на педаль газа P

Методы обновления или калибровки адаптивных таблиц

Классическим [4] методом калибровки является Recursive Least Squares (RLS), использующий только данные, близкорасположенные к каждой ячейке (т. е. к табличному значению скорости и нажатию педали) для ее обновления. Этот метод обеспечивает хорошую точность, но очень затратен по времени.

При этом увеличение точности, достигаемое за счет уменьшения допустимого удаления измеренного значения от табличного, влечет квадратичный рост времени калибровки (из-за двумерности таблицы).

Одной из разновидностей классического метода является метод калибровки четверками соседних ячеек [5]. В нем одно измерение служит для обновления четырех окружающих ячеек с учетом билинейной интерполяции. При этом никакие данные не отбрасываются, что позволяет существенно сократить время калибровки. Его недостатком является низкая точность в тех случаях, когда измеренные данные находятся вблизи одной из ячеек. При этом близлежащая ячейка обновляется довольно точным значением, а три удаленных – не очень. Это связано в частности, с нелинейностью зависимости ускорения от скорости и процента нажатия педалей.

Варианты относительного размещения измеренного и табличных значений

Рассмотрим систему координат, по оси абсцисс которой откладывается скорость V (м/с), а по оси ординат – нажатие на педаль газа P (%). Разметим на плоскости сетку, соответствующую шагу адаптивной таблицы, и проведем дополнительное разбиение плоскости на ячейки,

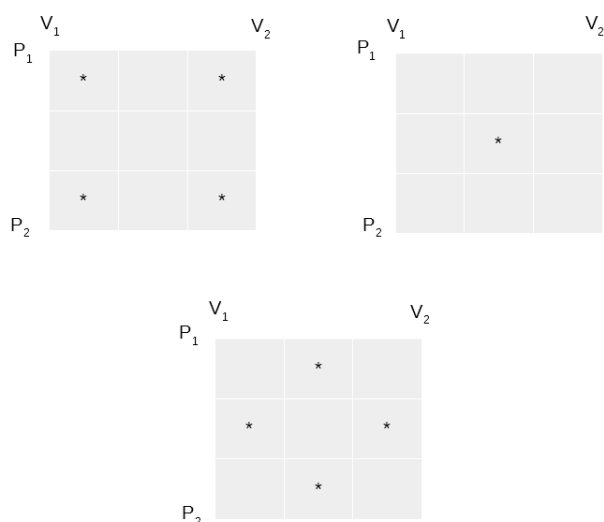


Рис. 2. Варианты размещения измеренного значения (*) относительно табличных значений, соответствующих точкам (V_1, P_1) , (V_1, P_2) , (V_2, P_1) , (V_2, P_2)

размер которых равен одной трети от шага табличных значений.

Рассмотрим измеренное значение ускорения Z как точку на плоскости с координатами (V, P) , где P и V имеют значения, предшествовавшие зарегистрированному ускорению. Очевидно, что возможны три варианта размещения этой точки, представленные на рис. 2.

Предлагается гибридный метод, обновляющий в зависимости от полученных данных одну, две или четыре ячейки:

- если измеренное значение находится в центральной части – обновляются четыре близлежащие ячейки таблицы;
- если измеренное значение находится вблизи от одной из ячеек таблицы – обновляется только одна эта ячейка;
- в остальных случаях обновляются две близлежащие ячейки.

Такая реализация позволяет сочетать сильные стороны обоих ранее рассмотренных методов и проводить калибровку с высокой скоростью и точностью.

Оценка неизмеренных ускорений

Зачастую не удается быстро измерить ускорения для всех ячеек таблицы. Это связано с тем, что ТС движется с умеренными ускорениями и большую часть времени – в относительно узком диапазоне скоростей. Поэтому для поддержания согласованности данных в табл. важно обновлять не только те ячейки, для которых были произведены измерения, но и те, данных для которых не поступало, но которые могут по-

	0	0.695	1.39	2.085	2.78
0	0	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04
2.5	0.01	0	-0.01	-0.02	-0.03
5	0.02	0.01	0	-0.01	-0.02
7.5	0.03	0.02	0.01	0	-0.01

Рис. 3. Двумерная адаптивная таблица значений для педали газа

требоваться, например, при экстренном торможении или другом редком маневре. Рассмотрим три метода оценки неизмеренных значений:

INTERPOLATION – значения незаполненных ячеек в данном методе формируются на основе линейной либо билинейной интерполяции окружающих их значений. Недостатком этого метода является не обновление неизмеренных ячеек, располагающихся перед или за рамками измеренных значений – по краям таблиц;

ESTIMATION – в дополнение к предыдущему, заполнявшему неизмеренные значения только между измеренными, этот метод также экстраполирует значения по краям таблицы, что может приводить к заметным выбросам значений на начальном этапе калибровки, когда данных мало и выбросы еще не затухли;

CONSISTENCY – в основу этого метода [6] заложено предположение о распределении ускорений подобного вида, представленного для педали газа на рис. 3.

В этом методе измеренное значение «размазывается» на окружающие ячейки с постоянным приращением заданной величины равной 0,01. Это позволяет заполнить таблицу достаточно безопасными значениями без выбросов, но езда по такой таблице может приводить к резким управляющим воздействиям, поскольку с увеличением нажатия на педаль записанное в табл. ускорение меняется меньше чем в действительности, из-за чего, как правило, возникают рывки автомобиля.

Предлагается гибридный метод **EXPANSE**, в котором между измеренными значениями в адаптивной таблице проводится интерполяция для обновления промежуточных ячеек как в методе **INTERPOLATION**, а верхний и нижний края таблицы заполняется с использованием метода **CONSISTENCY**. Такая реализация заполнения адаптивной таблицы позволяет сочетать сильные стороны обоих методов.

Заключение

В статье предложен гибридный метод обновления двумерных адаптивных таблиц поиска, позволяющий выбирать наиболее подходящий набор ячеек для обновления в зависимости от измеренного значения, сочетающий высокую скорость и точность по сравнению с методами единичного обновления и обновления четверками.

Рассмотрены способы оценки и заполнения неизмеренных значений адаптивных таблиц и применен метод, позволяющий на основе измеренных значений получить промежуточные и последующие значения, поддерживая целостность таблиц.

Список источников

1. Даан-Дальмедико А., Пейффер Ж. Пути и лабиринты. Очерки по истории математики / Пер. с франц. М.: Мир, 1986. 397 с.
2. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Специальные матрицы: псевдообратные, ортогональные, адамаровы и критские. СПб.: Политехника, 2019. 196 с.
3. Seberry J., Yamada M. Hadamard Matrices: Constructions using number theory and linear algebra. Wiley, 2020, 384 p.
4. Astrom K., Wittenmark B. Adaptive Control, second edition. Addison-Wesley, 1995. 574 p.
5. Lochrie G., Doljevic M., Nona M. Anti-Windup Recursive Least Squares Method for Adaptive Lookup Tables with Application to Automotive Powertrain Control Systems // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 54. Iss. 20. P. 840–845.
6. The Autoware Foundation. URL: autowarefoundation.github.io/autoware-documentation/main/#about-autoware (дата обращения: 06.11.2023).

УДК 004.946

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-196-202

А. В. Никитин*

кандидат технических наук, доцент

Е. Е. Майн*

аспирант, преподаватель

И. А. Ситников*

ведущий программист

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВИРТУАЛЬНЫЕ ДВОЙНИКИ И МЕТАВСЕЛЕННАЯ

Рассмотрены понятия метавселенной, виртуальных и цифровых двойников, реализация виртуального двойника манипулятора в метавселенной в версиях десктоп и виртуальной и дополненной реальности на базе Pico 4.

Ключевые слова: метавселенная, виртуальные двойники, цифровые двойники.

A. V. Nikitin*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

E. E. Main*

Lecturer

I. A. Sitnikov*

Lead coder

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

VIRTUAL TWIN AND THE METAVERSE

The concepts of a metaverse, virtual and digital twins, and the implementation of a virtual twin of a manipulator in the metaverse in desktop versions and virtual and augmented reality based on Pico 4 are considered.

Keywords: metaverse, virtual twins, digital realities, digital twins.

К настоящему времени существует много концепций метавселенной. Например, в [1], [2] приводится более 50 определений, которые анализируются по таким критериям, как наличие аватаров, использование цифровых реальностей, смешанной для интерактивности и иммерсивности, социального сотрудничества и др.

В связи с этим актуальным становится выявление, изучение и отслеживание ключевых решений при разработке и поддержке метавселенной, а также возникающие при их реализации исследовательские вопросы, чтобы разрабатывать на основе этой технологии новые продукты и системы.

В дальнейшем в обобщенном виде под метавселенной будем понимать постоянно действующее объединение физического и цифрового мира в виде сети функционально совместимых 3D-виртуальных миров, а под виртуальным миром – смоделированную интерактивную 3D-цифровую (виртуальную) среду, в которой географически распределенные пользователи могут взаимодействовать в реальном

времени друг с другом и с цифровыми объектами через свои аватары [1]–[6].

В ГУАП реализуется проект «Исследование и разработка на базе цифровых реальностей «Метавселенной ГУАП» для решения научно-исследовательских, промышленных и коммуникационных задач, связанных с миссией университета». Промежуточным результатом работы является прототип метавселенной как экспериментальной многопользовательской 3D-цифровой среды с визуальной и голосовой коммуникациями и аватарами с набором ресурсов для моделирования различных ситуаций с примерами их использования в десктопном и нашлемном исполнении.

Одной из задач работы является изучение и реализация виртуальных двойников в метавселенной. Эволюция промышленной метавселенной происходит быстро и порождает множество терминов, которые могут озадачить многих. Среди этих терминов «цифровой двойник» и «виртуальный двойник» часто вызывают путаницу. Рассмотрим их сходство и различия.

Виртуальные двойники и цифровые двойники – это связанные концепции, используемые в различных областях, таких как производство, проектирование и моделирование и др., но они имеют явные различия [7]–[11].

Цифровой двойник – это виртуальное представление физического объекта или системы. Это цифровой аналог, который имитирует физические характеристики и поведение реального объекта или системы на протяжении всего их жизненного цикла, от проектирования и разработки до эксплуатации и обслуживания.

Они постоянно в режиме реального времени собирают данные от датчиков и других источников для отражения текущего состояния физического объекта или системы, которую они представляют. Цифровые двойники используются для различных целей, включая профилактическое обслуживание, оптимизацию производительности, моделирование и мониторинг, потребности в техническом обслуживании и сократить время простоев.

Виртуальный двойник – это более широкое понятие, охватывающее цифровых двойников. Он относится к любому виртуальному представлению физического объекта или системы, но оно не всегда может быть связано с данными в реальном времени или имитировать поведение реального мира так же точно, как цифровой двойник. Они могут не охватывать весь жизненный цикл физического объекта. Зачастую это статичные или периодически обновляемые модели, имеют широкий спектр применений, включая системы автоматизированного проектирования, моделирование, обучение и визуализацию. Интерактивность – еще одна область, в которой близнецы различаются.

В то время как цифровые двойники обычно предлагают более пассивное взаимодействие, когда пользователи отслеживают и получают данные, виртуальные двойники часто предполагают более активное взаимодействие. Пользователи могут корректировать параметры, изменять условия или напрямую взаимодействовать с виртуальной средой.

Это проявляется, в том числе, в виде подробного трехмерного представления объектов, преимущественно используемого в средах виртуальной реальности или дополненной реальности.

Таким образом, ключевым различием между цифровыми и виртуальными двойниками является соответствие физическим объектам и уровень интеграции с данными от них в реальном времени на протяжении жизненного цикла. Выбор между использованием цифрового двойника или виртуального двойника зависит от

конкретного приложения и требований проекта или отрасли.

В рамках метавселенной ГУАП решалась задача разработки виртуального двойника манипулятора, позволяющего организовать двухстороннее взаимодействие их между собой, то есть любые изменения манипулятора в реальной среде должны приводить к соответствующим изменениям его интерактивной 3D-модели, находящейся в метавселенной, и наоборот. Реализация должна обеспечить работу в режимах десктоп (интерактивная 3D-визуализация) и нашлемной версии (на базе Pico 4 с использованием виртуальной и дополненной реальности).

Рассмотрим более подробно решение данной задачи.

Описание модуля виртуального двойника

Модуль метавселенной ГУАП «виртуальный двойник» был разработан в следующем составе:

1. Оригинал робота манипулятора, состоящий из акриловых подвижных и неподвижных частей с размещенным на нем микроконтроллером, с реализацией подвижных сочленений, управляемых аналоговыми сервомоторами, платы сенсорных кнопок, наличием дополнительного внешнего питания, преобразователем питания, наличием универсального асинхронного приемопередатчика с выходом на USB (рис. 1, 2):

а) для оригинала робота манипулятора реализована система управления, которая позволяет оригинальной модели реагировать на принимаемые с платы сенсорных кнопок сигналы и передавать их через универсальный асинхронный приемопередатчик;

б) система управления так же включает в себя систему приема и передачи сигналов управления извне, посредством соединения через универсальный асинхронный приемопередатчик через USB выход;

в) система управления так же включает в себя систему ограничений для углов поворота каждого сочленения, поскольку некоторые их значения, а также комбинации значений недопустимы и могут привести к нарушению работы робота манипулятора, что приведет к его непредусмотренной конструкцией работе, а вследствие этого к поломке.

2. Цифровая 3D-модель робота манипулятора, состоящая из подвижных и неподвижных частей, с оригинальными пропорциями его деталей, с реализацией подвижных сочленений, с требуемой детализацией для его работы, с па-



Рис. 1. Манипулятор сбоку

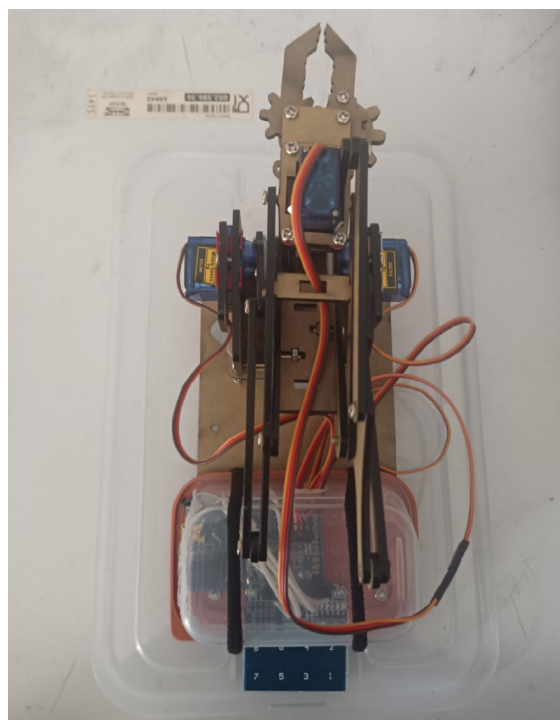


Рис. 2. Манипулятор сверху

кетом текстур, повторяющим внешний вид оригинала (рис. 3–5):

а) для цифровой модели робота манипулятора реализована система управления, которая позволяет цифровой модели реагировать на принимаемые с клавиатуры и мыши сигналы;

б) система управления так же включает в себя систему приема и передачи сигналов управления извне, посредством соединения через последовательный порт;

в) система управления так же включает в себя систему ограничений для углов поворота каждого сочленения, аналогичную по своей логике с системой ограничений углов поворота оригинала;

д) библиотека типовых действий, проводимых над цифровой моделью робота манипулятора, которая используется в случае ее использования в автономном режиме, без подключения к оригиналу, включая вращение и перемещение подвижных частей манипулятора;

е) интерфейс оператора робота манипулятора, который отображает работу виртуального двойника в метавселенной ГУАП, отображает работу оригинала в реальной среде через камеру, а также позволяет производить управление виртуальным двойником.

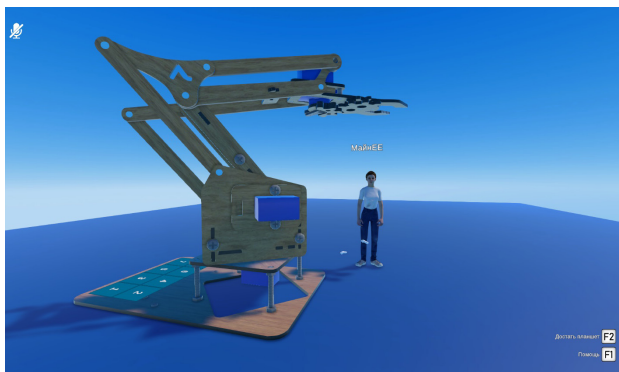


Рис. 3. Цифровая 3D-модель манипулятора и аватар пользователя (десктоп)

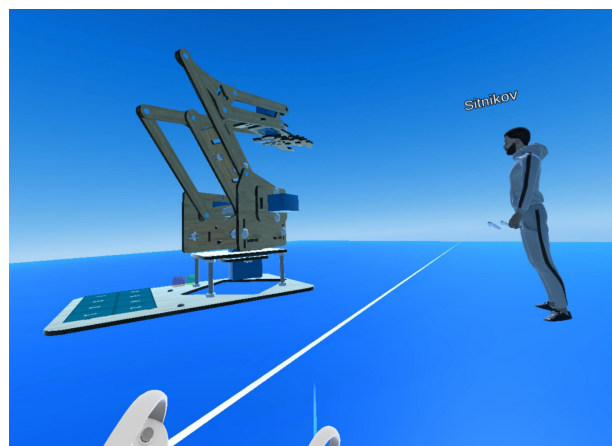


Рис. 4. Цифровая 3D-модель манипулятора и аватар пользователя (VR)



Рис. 5. Цифровая 3D-модель манипулятора и аватар пользователя (VR со стороны)

3. Система синхронизации управления, которая включает анализ выполненных оригиналом и цифровой моделью действий, формирует реакции оригинала и цифровой модели на действия цифровой модели и оригинала и синхронизирует состояния оригинала и цифровой модели робота:

а) система (прямой) связи для получения сигналов с оригинального робота манипулятора для управления цифровой моделью;

б) система обратной связи, для передачи сигналов из цифровой модели для управления оригиналом робота.

Функционал модуля метавселенной ГУАП «виртуальный двойник» можно представить следующим образом:

1. Оригинал робота манипулятора позволяет:

а. При нажатии на кнопки «1» и «2» разжимать и сжимать клешни захвата манипулятора соответственно.

б. При нажатии на кнопки «3» и «4» передвигать левое плечо манипулятора вниз и вверх соответственно.

с. При нажатии на кнопки «5» и «6» передвигать правое плечо манипулятора назад и вперед соответственно.

д. При нажатии на кнопки «7» и «8» вращать башню манипулятора влево и вправо соответственно.

2. Цифровая модель робота манипулятора позволяет:

а. При нажатии на кнопки «1» и «2» мышью или нажатии аналогичных клавиш на клавиатуре ПК разжимать и сжимать клешни захвата модели манипулятора соответственно.

б. При нажатии на кнопки «3» и «4» мышью или нажатии аналогичных клавиш на клавиатуре ПК передвигать левое плечо модели манипулятора вниз и вверх соответственно.

с. При нажатии на кнопки «5» и «6» мышью или нажатии аналогичных клавиш на клавиатуре ПК

передвигать правое плечо модели манипулятора назад и вперед соответственно.

д. При нажатии на кнопки «7» и «8» мышью или нажатии аналогичных клавиш на клавиатуре ПК вращать башню модели манипулятора влево и вправо соответственно.

А также:

е. Используя библиотеку типовых действий, производимых над роботом манипулятором, работать с цифровой моделью в режиме симуляции, в том случае, когда цифровая модель робота используется автономно, без подключения оригинала робота.

ф. С помощью аватара, присвоенного каждому пользователю метавселенной, наблюдать за действиями пользователя, который стал оператором модуля виртуального двойника, наблюдать за состоянием цифровой модели виртуального двойника, наблюдать состояние информационной панели виртуального двойника.

г. При вызове модуля управления пользователя в метавселенной стать оператором модуля виртуального двойника и производить функционал, описанный выше.

h. При помощи информационной панели просматривать состояние робота манипулятора в реальной среде с помощью камеры.

3. Система синхронизации управления позволяет:

а. Отслеживать изменения состояний оригинала робота манипулятора, корректируя при этом поведение цифровой модели робота, действия пользователей при этом не требуется.

б. Отслеживать изменения состояний цифровой модели робота манипулятора, корректируя при этом поведение оригинала робота, действия пользователей при этом не требуется.

Сценарии использования виртуального двойника

При использовании модуля виртуального двойника возможны различные сценарии его использования. Условно их можно поделить на: работу только оригинала робота; работу только цифровой модели робота; синхронную одновременную работу и оригинала робота и его цифровой 3D-модели. Рассмотрим все возможные типовые действия при условии, что работу выполняет только оригинал робота манипулятора, когда оператор:

- единожды нажимает кнопку «1» на панели сенсорных кнопок, клешни робота разжимаются на 5°. В случае если достигнут предел разжимания клешней, ничего не происходит;

- единожды нажимает кнопку «2» на панели сенсорных кнопок клешни робота сжимаются

на 5° . В случае если достигнут предел разжимания клешней, ничего не происходит;

- единожды нажимает кнопку «3» на панели сенсорных кнопок, левое плечо робота движется вверх на 5° . В случае если достигнут предел движения вверх левого плеча, ничего не происходит. В случае если правое плечо находится в таком положении, что движение вверх левого плеча приведет к поломке робота, ничего не происходит;

- единожды нажимает кнопку «4» на панели сенсорных кнопок, левое плечо робота движется вниз на 5° . В случае если достигнут предел движения вниз левого плеча, ничего не происходит. В случае если правое плечо находится в таком положении, что движение вниз левого плеча приведет к поломке робота, ничего не происходит;

- нажимает кнопку «5» на панели сенсорных кнопок, правое плечо робота движется назад на 5° . В случае если достигнут предел движения назад правого плеча, ничего не происходит. В случае если левое плечо находится в таком положении, что движение назад правого плеча приведет к поломке робота, левое плечо движется вниз, как если бы была нажата кнопка «4»;

- единожды нажимает кнопку «6» на панели сенсорных кнопок, правое плечо робота движется вперед на 5° . В случае если достигнут предел движения вперед правого плеча, ничего не происходит;

- единожды нажимает кнопку «7» на панели сенсорных кнопок, башня робота движется влево на 5° . В случае если достигнут предел движения влево башни, ничего не происходит;

- единожды нажимает кнопку «8» на панели сенсорных кнопок, башня робота движется вправо на 5° . В случае если достигнут предел движения вправо башни, ничего не происходит.

Когда работу выполняет не оригинал робота манипулятора, а его цифровая 3D-модель, логика движения частей модели остается неизменной, с той лишь разницей, что сигналы считываются не с сенсорной панели оригинала робота манипулятора, а с помощью клавиатуры и мыши компьютера, на котором просматривается его цифровая 3D-модель, и приводят в действие они не сочленения оригинальной модели робота, а сочленения его цифровой 3D-модели.

Когда работу выполняют одновременно и оригинал робота манипулятора, и его цифровая 3D-модель, логика движений также остается неизменной. Управление воспринимается из всех источников, и из источников оригинала робота, и из источников цифровой 3D-модели. Движение же сочленений синхронизируется, движутся одновременно и сочленения оригинала робота манипулятора, и его цифровой 3D-модели.

Стоит также отметить, что при использовании сценария, в котором происходит одновременная работа оригинала и виртуальной модели робота манипулятора, все действия имеют

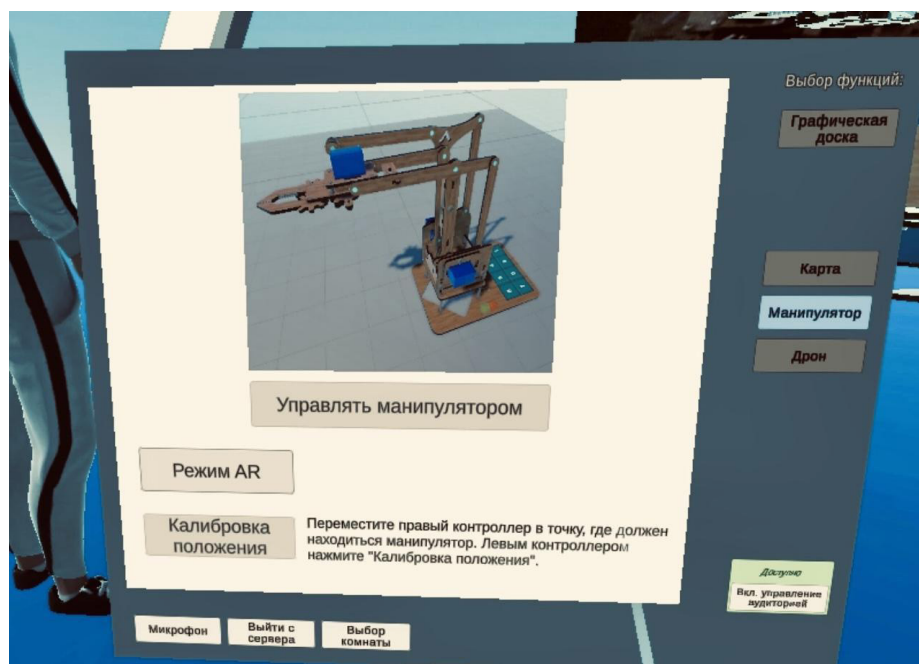


Рис. 6. Раздел «Манипулятор» на планшете пользователя

некоторую задержку, обусловленную процессом синхронизации состояний оригинала и виртуальной модели, однако ощутить эту задержку «на глаз» не предоставляется возможным, ввиду ничтожности этой задержки во времени.

Описание модели виртуального двойника в виртуальной и дополненной реальности

В приложении «Метавселенная ГУАП», клиент для системы виртуальной реальности Pico 4, выбирается локация «Виртуальный двойник», далее с помощью 3D-планшета осуществляется переход из виртуальной реальности в дополненную реальность (рис. 6). На планшете выбирается раздел «Манипулятор», далее представляется выбор действий в данной локации: управление манипулятором, режим AR и калибровка. Для работы с манипулятором в виртуальной реальности достаточно нажать «Управлять манипулятором», в то время как для дополненной реальности выбирается «Режим AR».

После перехода в режим дополненной реальности перед пользователем появляется уменьшенная 3D-модель манипулятора, местом ее появления будет ближайшая распознанная камерами шлема поверхность, в пределах обозначенных границ и установленным полом (система калибровки и отслеживания Pico 4). Для изменения местоположения и ориентации модели в пространстве нужно выполнить калибровку. Стоит отметить, что в виртуальной реальности функция калибровки не работает, она активируется только после перехода в режим дополненной реальности. Калибровка будет происходить за счет правого контроллера с помощью датчика гироскопа и акселерометра.

Также в режиме дополненной реальности сохраняется работа многопользовательского режима, что обеспечивает возможность синхронизации управления 3D-моделью в любом предусмотренном режиме, с любого предусмотренного устройства. Кроме того, это позволяет сохранить возможность видеть других пользователей в виде аватаров и продолжать общение с ними в режиме реального времени (рис. 7).

Для доступа к управлению манипулятором выбирается функция «Вкл. управление аудитории» и далее «Управление манипулятором». После этого в режиме дополненной реальности, с помощью контроллеров, можно взаимодействовать непосредственно с устройством, используя кнопки на 3D-модели манипулятора. Логика управления манипулятором в режимах виртуальной и дополненной реальности экви-

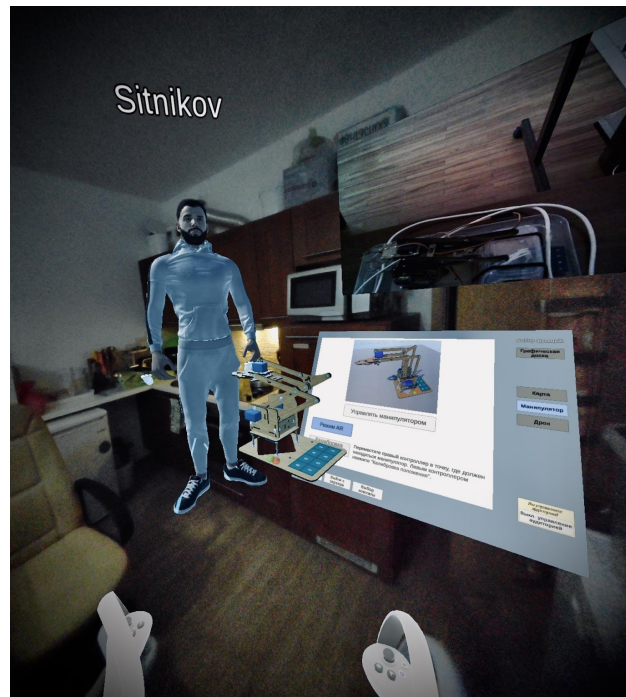


Рис. 7. Режим AR

валентна стандартному управлению, но кнопки «1–8» нажимаются за счет контроллеров шлема.

Заключение

Двухстороннее взаимодействие реального манипулятора и его виртуального двойника в виде интерактивной 3D-модели в метавселенной происходило практически в реальном времени, без видимых задержек. Отметим приближенный характер виртуального двойника в части внешнего вида и точности воспроизведения поведения реального манипулятора.

Автономное взаимодействие с виртуальным двойником манипулятора в метавселенной позволяет организовать совместный просмотр и управление им распределенным пользователям в виде своих аватаров.

Двухстороннее взаимодействие реального манипулятора и его виртуального двойника наряду с автономным в метавселенной позволяет организовать совместное изучение и исследования удаленных пользователей как в реальной среде, так и виртуальной.

Отображение виртуального двойника манипулятора из метавселенной в реальной среде на различные поверхности на основе дополненной реальности в нашлемном исполнении показало устойчивость изображения модели объекта и возможность взаимодействие с ней, что можно использовать для интерактивной визуализации.

ции при совместной работе (изучение, обсуждение) удаленных пользователей.

Можно отметить улучшение взаимодействия за счет использования 3D-аватаров путем внесения социального аспекта, невербальной коммуникации, более реалистичного представления и возможности рассмотрения объекта с разных ракурсов, большей вовлеченности на основе интерактивной иммерсивности.

Работа с виртуальным двойником в версиях десктоп и с использованием гарнитуры позволяет как расширить контингент пользователей, так и увеличить реалистичность просмотра и взаимодействия для участников, имеющих гарнитуры смешанной реальности.

Список источников

1. *Park S., Kim Y.* A Metaverse: Taxonomy, Components, Applications, and Open Challenges 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/357596453_A_Metaverse_Taxonomy_Components_Applications_and_Open_Challenges (дата обращения: 24.11.2023).
2. *Lee U., Kim H.* UTAUT in Metaverse: An “Ifland” Case. *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 2022, 17, 613–635. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/aedf/f28d-02baf3d-336943ea4e41f0512af6a91cd.pdf?ga=2.67440979.373245128.1669305736-1748667082.1669305736> (дата обращения: 24.11.2023).
3. *Yuntao Wang and etc.* A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy. URL: https://www.researchgate.net/publication/359052509_A_Survey_on_Metaverse_Fundamentals_Security_and_Privacy (дата обращения: 24.11.2023).
4. *Ball M.* The Metaverse Primer'. In July of 2022, W. W. Norton publishes my book “The Metaverse and How It Will Revolutionize Everything”. 324 p.
5. *Parisi T.* Oct 22, 2021/ URL: <https://medium.com/meta-verses/the-seven-rules-of-the-metaverse-7d4e-06fa864c> (дата обращения: 24.11.2023).
6. *Rad S.* Applying Digital Twins in Metaverse: User Interface, Security and Privacy Challenges. URL: <https://arxiv.org/abs/2204.11343> (дата обращения: 24.11.2023).
7. *Jackson R.* Virtual vs Digital Twin, what is the difference? February 8, 2023. URL: <https://enterprise.trimech.com/virtual-vs-digital-twin/> (дата обращения: 24.11.2023).
8. Virtual Twin Experiences in Infrastructure & Cities. URL: (дата обращения: 24.11.2023).
9. Virtual Twins, Digital Twins and the Metaverse. URL: <https://www.3D-s.com/virtual-twin/digital-twins-and-metaverse> (дата обращения: 24.11.2023).
10. Unlocking the Metaverse for Business: Digital vs Virtual Twins. URL: <https://bizztech.io/digital-vs-virtual-twins/> (дата обращения: 24.11.2023).
11. *Adamska I.* Virtual twin vs digital twin. What is the difference? URL: <https://nsflow.com/blog/virtual-twin-vs-digital-twin> (дата обращения: 24.11.2023).

УДК 004.921

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-203-206

Н. Н. Решетникова*

кандидат технических наук, доцент

М. А. Кухарь*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ФОТОГРАММЕТРИИ

Рассматривается применение фотограмметрии для разработки 3D-модели автомобиля на основе данных, полученных в результате 3D-сканирования при помощи мобильного устройства. Объединение облака точек производится в программе Polycam, для дальнейшей структуризации и детализации модели используется редактор Blender. Фотограмметрия помогает создать основу 3D-модели с сохранением реалистичности внешнего вида за счет объединения облака точек в единый меш.

Ключевые слова: 3D-моделирование, фотограмметрия, объединение облака точек, редактор Blender 3D.

N. N. Reshetnikova*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

M. A. Kukhar*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

3D-MODELING TECHNICAL OBJECTS OF COMPLEX FORMS BASED ON PHOTOGRAMMETRY

The application of photogrammetry to develop 3D-model of car based on data obtained as result of 3D-scanning using mobile device is considered. The point cloud is combined in the Polycam program; the Blender editor is used for further structuring and detailing of the model. Photogrammetry helps create the basis of 3D-model while maintaining realistic appearance by combining cloud of points into single mesh.

Keywords: 3D-modeling technology, photogrammetry, merging point cloud to mesh, Blender 3D-software.

В рамках геоинформационных систем методы фотограмметрии уже много лет успешно применяются для проведения исследований и решения прикладных задач картографии, фототопографической съемки, геометрическом анализе космической информации, связи между геодезическими и фотограмметрическими координатами с учетом влияния атмосферной рефракции [1]. В строительстве облака точек и методы пространственной фототриангуляции используются [2], для определения зданий или сооружений, подлежащих реконструкции, для получения актуальной информации о текущем состоянии строительных площадок, для контроля этапов строительства зданий и сооружений.

В докладе подробно рассматривается применение метода фотограмметрии для разработки 3D-модели автомобиля на основе данных, полученных в результате 3D-сканирования при помощи мобильного устройства и программы Polycam [3].

Polycam – это приложение для создания детальной 3D-модели объекта, путем сканирования его поверхности с помощью камеры мобильного устройства. Оно использует технологию компьютерного зрения для сканирования поверхности объектов в реальном времени. При этом используется способ фотореконструкции, которая позволяет точно определить геометрические свойства объекта. Приложение Polycam оснащено рядом инструментов, таких как настройки экспозиции, глубины поля, разрешения и других параметров, которые помогают создать наиболее качественную модель.

Кроме того, Polycam имеет функцию автоматической оптимизации моделей для более быстрого и эффективного использования, а также обладает интеграцией с платформами AR, такими как ARKit и ARCore, которые позволяют создавать AR-контент на основе сканированных моделей.

Приложение также поддерживает экспорт моделей в различные форматы, включая форматы

.obj, .dae, .fbx, .stl, .ply и .gltf. Это значит, что возможно импортировать полученные 3D-модели в другие приложения для дальнейшей работы над ними или использования в проектах.

Получение цифровой 3D-модели с помощью фотограмметрии

В качестве основы для трехмерной модели была снята фотограмметрия реального автомобиля. Для качественной фотограмметрии автомобиль должен быть расположен так, чтобы можно было его обойти со смартфоном вокруг, не меняя расстояния между камерой смартфона и центром автомашины. На рис. 1 представлена схема расположения автомобиля и смартфона.

На рис. 2 представлено фактическое расположение автомобиля на стоянке для фотограмметрии.

В приложении Polycam, для съемки использовался режим фото. Фото (фотограмметрия) – это один из режимов работы приложения, который предназначен для создания точной 3D-модели объекта на основе нескольких фотографий с разных ракурсов. Приложение ис-

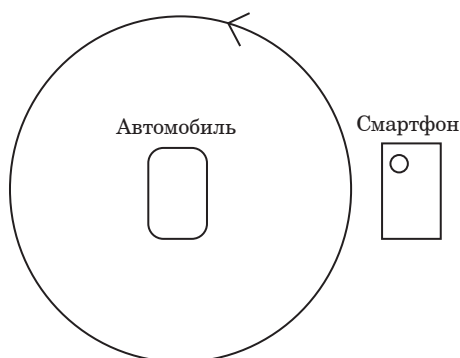


Рис. 1. Схема расположения автомобиля и смартфона

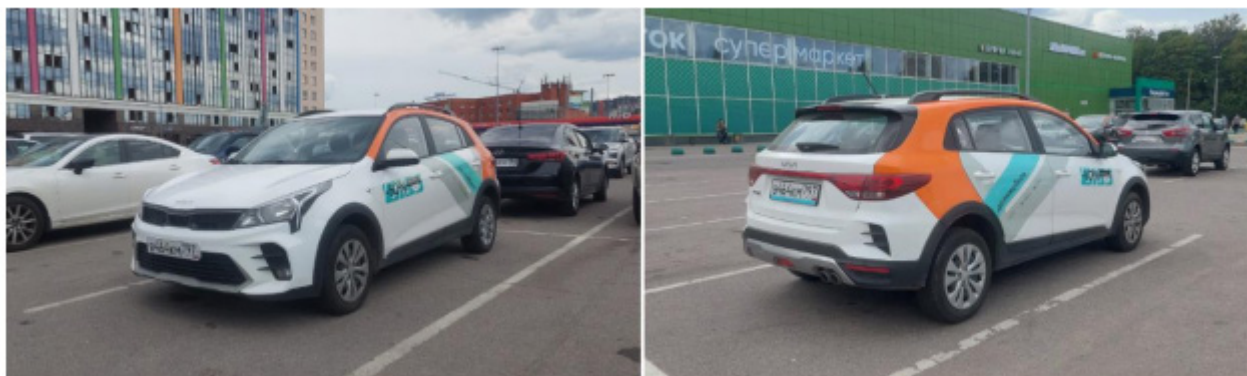


Рис. 2. Автомобиль поставлен для фотограмметрии

пользует технику стереоскопии и геодезии, чтобы синхронизировать фотографии и создать точную 3D-модель объекта. После того как все фотографии были сделаны, приложение начинает процесс сравнения фотографий и создания точной 3D-модели объекта, также визуальное было проверено качество 3D-модели на экране и сделаны необходимые исправления.

Использование Blender в качестве основного инструмента 3D-редактирования [4]

Результат сканирования фотограмметрии автомобиля, импортированного в редактор Blender, представлен на рис. 3.

Скан автомобиля использовался как опора при моделировании машины. В отличие от классического подхода моделирования автомобилей с помощью работы с эпюром, моделирование по фотограмметрии получается проще и быстрее. Сразу можно увидеть примерный результат в трехмерном пространстве и определить, в какой точке пространства должна располагаться та или иная вершина. Для оптимизации процесса корректировки поверхностей объектов применялись два основных модификатора: Mirror и Subdivision. Первый модификатор применялся ввиду симметрии автомобиля вдоль кузова, а второй для достижения гладкой и плавной поверхности.

При моделировании колеса и покрышки автомобиля использована технология запекания карт нормалей и высот для уменьшения количества вершин.

Следует отметить, что стандартный набор шейдеров не содержит в себе шейдер стекла, который был бы прозрачным при визуализации кадра графическим движком Eevee. Для получения подобного эффекта была составлена следующая схема шейдера, представленная на рис. 4.



Рис. 3. Скан автомобиля

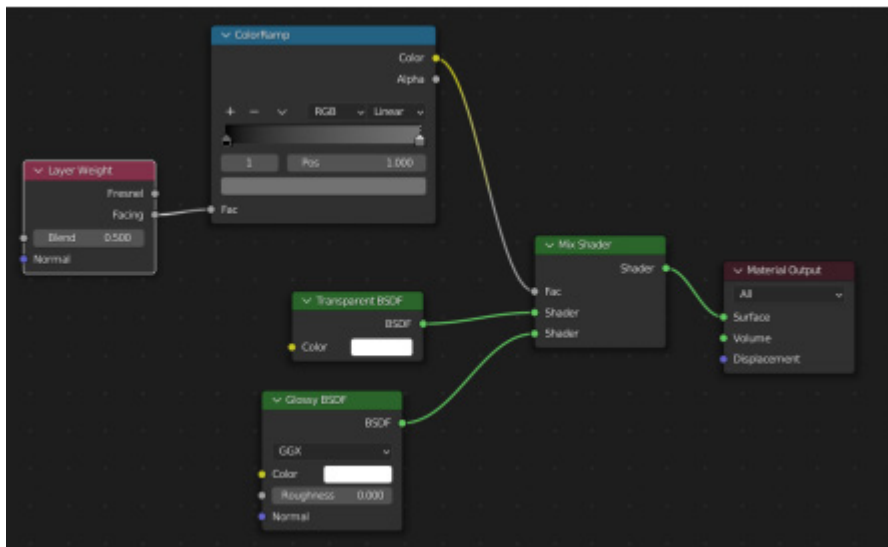


Рис. 4. Схема шейдера стекла

Результат моделирования автомобиля и визуализации сцены представлен на рис. 5.

В заключение следует отметить, что фотограмметрия с помощью мобильного устройства делает возможным быстрый сбор данных и облегчает обработку, поскольку от пользователей не требуется какой-либо специальной подготовки. Наконец, фотограмметрия создает фотографическую текстурированную и наглядную полигональную сетку, которую, в дальнейшем, проще анализировать и обрабатывать с помощью 3D-редактора, так как она содержит реальную форму объекта.

На основе сканирования фотограмметрии была создана 3D-модель автомобиля Kia Рио-

Икс и выполнена визуализация автомобиля с помощью графического движка Cycles редактора Blender. Кроме того, использование уже запеченных текстур и карт нормалей, существенно снижает время на обработку 3D-модели при анимации и в интерактивном режиме.

Для использования модели автомобиля в проекте Unity и дальнейшей ее интеграции в Метавселенную ГУАП, выполнен экспорт модели в формате*.fbx, размер которого составляет 8973 Кб. При таком объеме, анимированная 3D-модель автомобиля будет использовать небольшое количество системных ресурсов с сохранением высокой степени реалистичности внешнего вида.



Рис. 5. Результат 3D-моделирования и визуализации автомобиля

Список источников

1. Краснопевцев Б. В. Фотограмметрия. М.: Ре-прография, 2008. 160 с.
2. Козин Е. В., Карманов А. Г., Карманова Н. А. Фотограмметрия: учеб. пособие. СПб.: ИТМО, 2019. 142 с.
3. Polycam. 3D-сканер и редактор. URL: <https://trashbox.ru/link/polycam-android> (дата обращения: 01.12.2023).
4. Blender. Официальный сайт. URL: https://docs.blender.org/manual/en/dev/sculpt_paint/html (дата обращения: 01.12.2023).

УДК 004.8

DOI: 10.31799/978-5-8088-1899-6-2024-4-207-212

А. М. Сергеев*

кандидат технических наук, доцент

Д. А. Доронин**

магистрант

М. В. Гордеев*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Университет ИТМО

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ШКОЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ РАБОТ

Рассматривается решение задачи автоматизации проверки тестовых работ для снижения нагрузки на преподавателей школ, которое строится в виде программной системы на основе использования компьютерного зрения и машинного обучения. Приводятся результаты обучения и работы системы при проверке школьных тестов.

Ключевые слова: машинное обучение, распознавание текста, автоматизация проверки текста, проверка тестовых работ.

A. M. Sergeev*

PhD Sc. Tech., Associate Professor

D. A. Doronin**

Postgraduate Student

M. V. Gordeev*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**University ITMO

MACHINE LEARNING AS THE BASIS FOR AUTOMATING THE VERIFICATION OF SCHOOL TEST PAPERS

The solution of the problem of automating the verification of test papers to reduce the burden on school teachers is considered. The solution is built in the form of a software system based on the use of computer vision and machine learning. The results of training and operation of the system when checking school tests are presented.

Keywords: machine learning, text recognition, text verification automation, test work verification.

Введение

Тестирование – одна из важнейших составляющих процесса обучения. С его использованием определяются степень усвоения материала обучающимися и направления коррекции учебного процесса. Однако проверка тестов занимает у преподавателей значительное время, которое можно существенно сократить за счет автоматизации процесса тестирования.

Известны системы проверки работ с использованием общей визуальной оценки изображений без извлечения отдельных их участков и обработки текста [1], [2]. Такие решения не предполагают высокой точности и подходят лишь для предварительного этапа проверки и отсеивания испорченных бланков тестов.

Наиболее популярными в настоящее время являются решения, основанные на автоматической проверке и использующие оптическое сканирование меток с последующим сравнением извлеченного изображения с заранее заготовленным шаблоном. Однако такой подход применим только для заданий с выбором из нескольких вариантов и требует наличия у пользователей высокоточного оборудования сканирования изображений [3].

Существующие решения, способные обрабатывать изображения, полученные с непрофессионального оборудования, позволяют использовать только шаблонные бланки заданий [4].

Многие из существующих решений, реализующих указанные выше подходы, не имеют открытого исходного кода. Это делает невоз-

можной их адаптацию и интеграцию в работу учебных заведений.

В настоящей статье предлагается решение с использованием машинного обучения в виде программной системы на основе цифровой обработки тестовых работ как изображений, их анализа и распознавания символов.

Составляющие системы распознавания

Исходя из общих принципов построения систем распознавания образов [5] работа с текстами тестов состоит из нескольких этапов с учетом специфики поставленной задачи, отраженных блоками на рис. 1.

Процесс начинается с генерации теста с использованием базы вопросов. Тест представляется в определенном формате для обеспечения его корректной обработки при проверке. Тест печатается на бумажном носителе определенного формата – как правило А4.

Распечатанные бланки тестов заполняются учащимися соответствующими ответами. Собранные заполненные бланки тестов сканируются или фотографируются. На полученных изображениях заполненных бланков тестов определяются участки текста и осуществляется их распознавание. Наконец, система проверяет ответы (сравнивает с эталоном) и формирует на их основе результаты тестирования.

Источник данных. Для эффективной работы системы проверки тестовых работ с использованием машинного обучения необходимо использовать единый формат заданий. Для этого используются задания с выбором из нескольких вариантов ответов, а также задания с коротким ответом. Тестовые работы генерируются из заготовленного банка заданий. Это позволяет создавать тесты быстро и эффективно, а также обеспечивает широкий выбор вариантов для учащихся.

Исходный dataset выполненных тестовых работ был получен на основании соглашения с администрацией школы «Учимся Вместе» Санкт-Петербурга на проведение тестирования. Соглашение предусматривает обеспечение конфиденциальности тестируемых обучающихся.

После получения обезличенных заполненных бланков тестов они были отсканированы и сфотографированы с помощью смартфона Sony Xperia 1 III. Это позволило иметь для эксперимента изображения разного качества. Примеры сфотографированного и отсканированного изображений представлены на рис. 2.

Предварительная обработка изображения. Изображение заполненного бланка теста может иметь ряд дефектов, влияющих на качество распознавания и результат оценки теста обучающегося, в целом. Так, полученное сканированием или фотографированием под углом, изображение требует предварительной корректировки перспективы и устранения искажений. Поскольку система подразумевает использование в школах, нельзя также исключить вероятность различных физических искажений документа (сгибов, надрывов, помятостей и др.), что не позволяет использовать базовые методы исправления искажений [6].

В системе используются следующие этапы предварительной обработки изображений:

- исправление перспективы с предварительным определением контура документа на изображении [7];
- повышение различимости изображения путем очистки от шумов и помех усредняющими фильтрами [8],
- повышение контрастности и резкости;
- бинаризация изображения с присвоением пикселям значения 0 или 255 для сокращения объема обрабатываемой информации;
- удаление линий, очерчивающих область ответа для улучшения различимости рукописного текста [9].

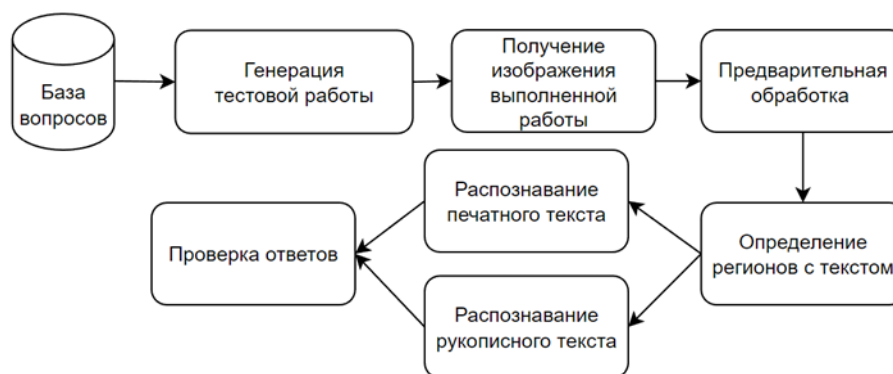


Рис. 1. Этапы работы системы

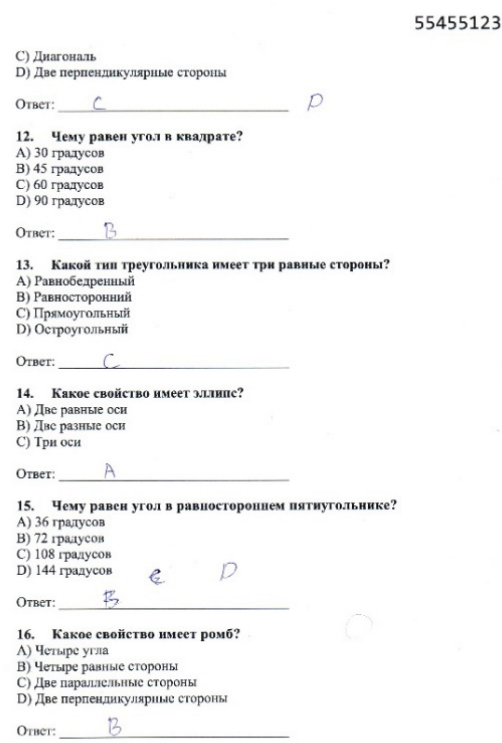
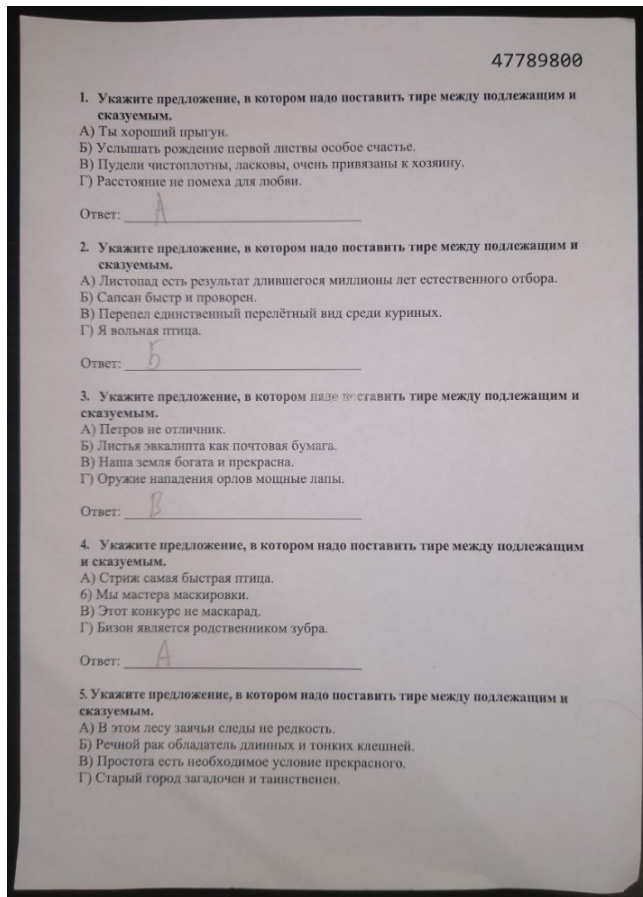


Рис. 2. Образцы сфотографированного и сканированного бланков тестов по предмету «Литература» для учеников 7-го класса

Сегментация. После обработки и бинаризации изображения производится сегментация областей печатного и рукописного текстов, реализуемая с помощью современной нейронной сети YOLOv8 [10], показывающей хорошие результаты при работе с документами.

Главное отличие YOLOv8 от других нейронных сетей, используемых для сегментации изображений, заключается в том, что она использует объектную детекцию для определения границ текстовых областей, а не классификацию пикселей.

После завершения сегментации участков печатного и рукописного текстов, определяются их значение и позиции друг относительно друга. Это позволяет распределить рукописный ответ и заметки ученика.

Для тренировки модели были вручную маркированы регионы изображений, относящиеся к рукописному и печатному тексту (рис. 3). При маркировке изображений для сегментации была использована утилита LabelImg [11], позволяющая экспортировать регионы изображе-

ния в формате, подходящем для обучения нейронной сети YOLOv8.

Распознавание текста

Для распознавания печатного текста использовалась программа Tesseract [12]. Однако для распознавания рукописного текста оказалось более эффективным использование нейросетевых алгоритмов, таких как Трансформер [13], относящийся к классу алгоритмов глубокого обучения, способных обрабатывать последовательности с переменной длиной и быть использованными для различных задач обработки естественного языка, включая распознавание рукописного текста.

После распознавания ключевых печатных слов, обозначающих позицию области ответа, распознанный ответ системой сравнивается с требуемым результатом для определения его правильности.

В качестве dataset для обучения модели, используемой для распознавания рукописного

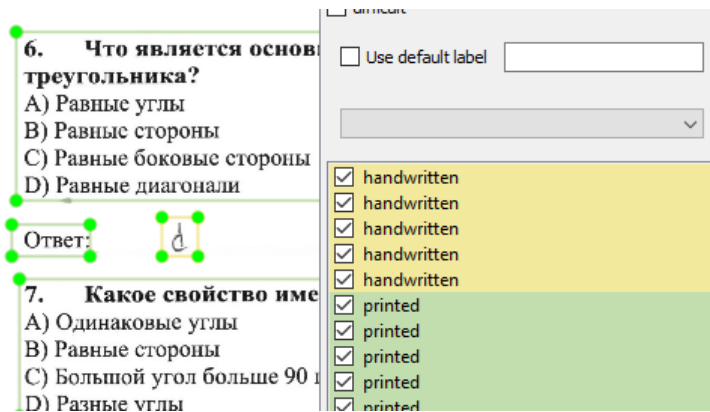


Рис. 3. Пример маркировки изображений с использованием утилиты LabelImg

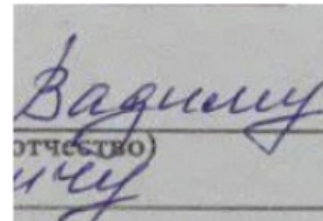


Рис. 4. Пример изображения из dataset «Cyrillic Handwriting Dataset»

текста, был использован dataset «Cyrillic Handwriting Dataset» [14] включающий в себя 73830 сегментов рукописной кириллицы. На рис. 4 приведен пример из использованного dataset.

Практические результаты

Для проведения экспериментов с разработанной программной системой использовался компьютер с процессором Intel® i7-8700k 4. 70 GHz и видеокартой NVIDIA GeForce RTX 3080.

Оценка результатов экспериментов проводилась на основе корректности сегментации регионов рукописного и печатного текстов и определения ответа из этих регионов.

Для определения эффективности предварительной обработки изображения для нейросети YOLOv8 было обучено две модели.

Первая модель обучена на предварительно обработанном dataset с нормализованными изображениями оттенков серого и удаленными линия-

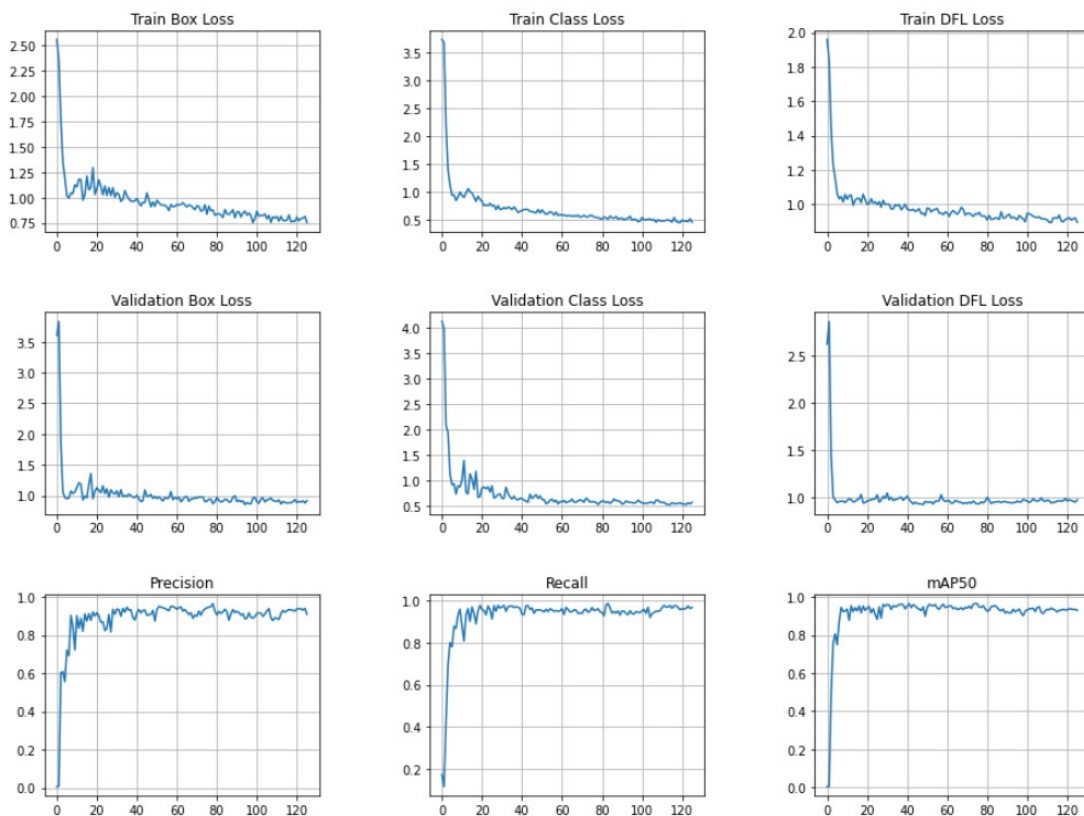


Рис. 5. Результаты обучения YOLOv8

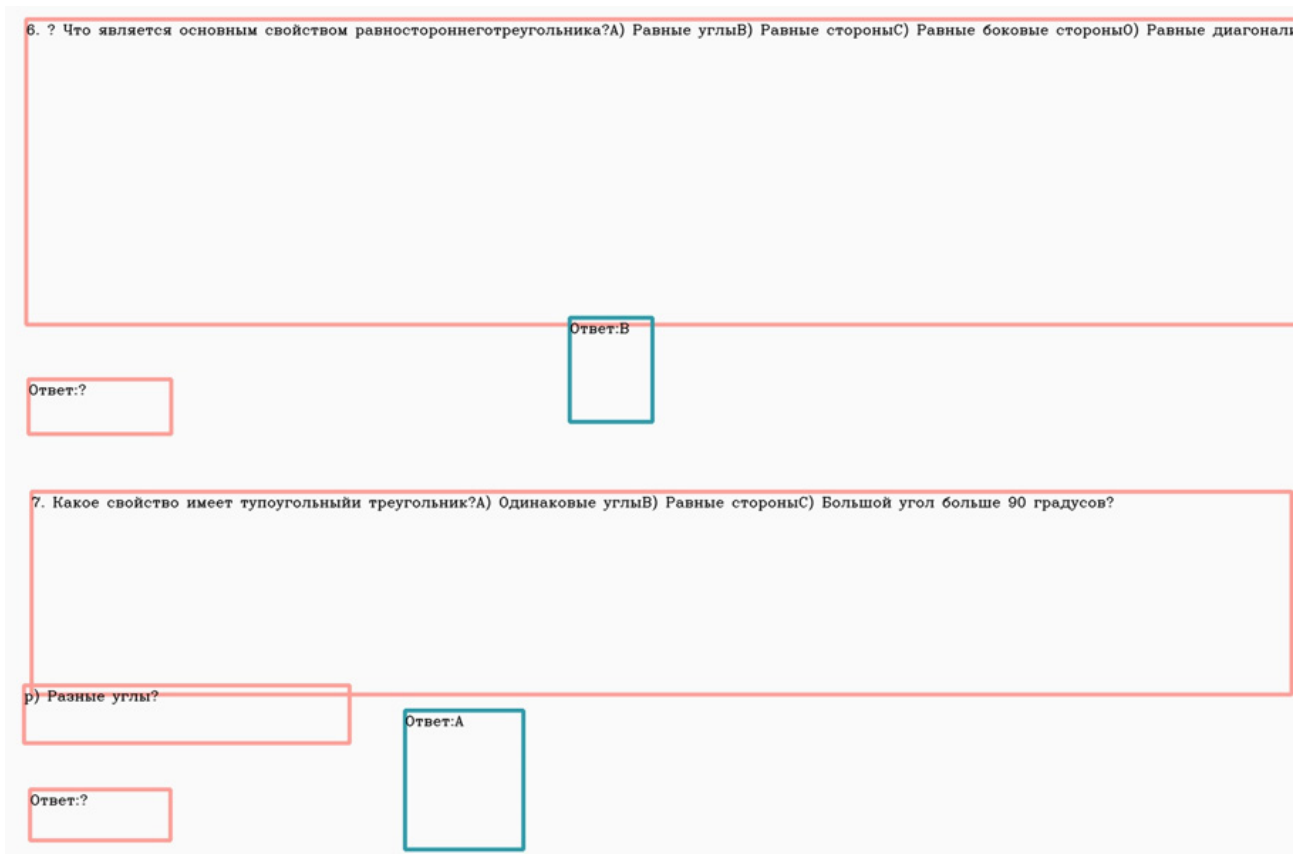


Рис. 6. Пример корректной сегментации YOLOv8

ми. Вторая – на оригинальном dataset с цветными изображениями. В обоих случаях эффективность обучения, как видно на рис. 5, упала после 80 итераций. Было определено, что модель, обученная на предварительно обработанном dataset, достигла высокой средней точности mAP в 98 %. Результат ее работы приведен на рис. 6.

Модель Трансформера, обученная на dataset «Cyrillic Handwriting Dataset» достигла высокого параметра частоты ошибки в слове (WER) в 33 %,

и частотой ошибки в символе (CER) в 8 %, что в теории должно было позволить с высокой точностью определять ответы на тестовые задания с выбором варианта ответа, если была правильно определена область с записанным ответом. Однако из-за того, что в dataset «Cyrillic Handwriting Dataset» было недостаточно одиночных символов, написанных разным почерком, CER достигает всего 33 %. Пример ошибочного определения символа представлен на рис. 7.



handwritten: 2)

Рис. 7. Пример ошибочного определения символа

Заключение

Разработанная программная система показывает перспективность направления автоматизации проверок тестов в школе и других учебных заведениях, приводящий к разгрузке преподавателей от рутинной работы.

Проведенные с разработанной системой эксперименты показали, что несмотря на высокую точность определения областей записи ответов, точность проверки тестов падает из-за достаточно высокой степени ошибок при распознавании самого ответа, обусловленного ошибками распознавания рукописных символов.

Выбранный для обучения dataset рукописной кириллицы «Cyrillic Handwriting Dataset» является недостаточным и для будущих экспериментов предлагается его расширение с целью улучшения распознавания одиночных символов.

Дальнейшим развитием программной системы проверки тестов является поиск возможностей реализации проверки бланков тестов с несколькими вариантами ответа.

Список источников

1. Барская Г. Б., Криводанова А. А., Сбродов С. О. Информационная система распознавания и проверки тестовых заданий // Математическое и информационное моделирование. Материалы Всерос. конф. молодых ученых. Тюмень, 2022. С. 122–131.
2. Фисун Н. Т., Яблонская Е. Ю. Анализ алгоритмов обработки текстовой информации для автоматизированной проверки тестов открытого типа // Вестник Херсонского национального технического университета. 2012. № 1 (44). С. 382–388.
3. Why do scantron-type tests only read #2 pencils? Can other pencils work? URL: howeverythingworks.org/2006/05/29/question-1529 (дата обращения: 21.11.2023).
4. Xiaoshuo Li, Tiezhu Yue, Xuanping Huang, Zhe Yang, Gang Xu. BAGS: An automatic homework grading system using the pictures taken by smart phones. *ArXiv abs/1906.03767* (2019).
5. Tou J., Gonzalez R. Pattern recognition principles. Addison-Wesley Publishing Company, 1977. 377 p.
6. Борисенко Д. И. Методы поиска угловых особенностей на изображениях // Молодой ученый. 2011. № 5 (28). Т. 1. С. 120–123.
7. Востриков А. А., Сергеев А. М., Соловьев Н. В. Введение в сегментацию растровых изображений: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2017. 34 с.
8. Сергеев М. Б., Соловьев Н. В., Стадник А. И. Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеoinформации // Информационно-управляющие системы. 2007. № 1 (26). С. 2–7.
9. Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2005. 152 с.
10. YOLOv8. URL: ultralytics.com/yolov8 (дата обращения: 26.01.2023).
11. LabelImg. URL: github.com/heartexlabs/labelImg (дата обращения: 20.12.2022)
12. Tesseract. URL: github.com/tesseract-ocr/tesseract (дата обращения: 01.02.2023).
13. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. Attention is all you need // Proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017) P. 1–15.
14. Cyrillic Handwriting Dataset. URL: kaggle.com/datasets/constantinwerner/cyrillic-handwriting-dataset (дата обращения: 17.01.2023).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аграновский Андрей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – применение современных информационных технологий.

a_agranovskii@mail.ru

SPIN-код 4699-3390

Акопян Белла Кареновна

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровая обработка сигналов и изображений, современная биомедицинская электроника, математическое моделирование с использованием сред компьютерной алгебры.

akopyan.bella@yandex.ru

SPIN-код 3728-6254

Балезин Леонид Николаевич

инженер 2-й категории кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – разработка аппаратно-программных комплексов.

balezin.l@yandex.ru

SPIN-код 9456-7338

Балонин Николай Алексеевич

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – ортогональные преобразования, методы идентификации, оптимальное управление.

korbendfs@mail.ru

SPIN-код 9841-9805

Балонин Юрий Николаевич

инженер кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – численные методы поиска квазиортогональных матриц.

yuraball@mail.ru

SPIN-код 7368-8387

Боженко Виктория Вячеславовна

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, искусственный интеллект, машинное обучение.

vibozhenko@yandex.ru

SPIN-код 6287-9145

Булгаков Дмитрий Алексеевич

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, искусственный интеллект, машинное обучение, 3D-графика, виртуальная и дополненная реальность, технологии блокчейн.

dmbulg@gmail.com

SPIN-код 6978-2762

Бурыкин Александр Александрович

кандидат военных наук, доцент кафедры прикладной информатики, профессор.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения;

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова».

Область научных интересов – системный анализ, исследование операций, математическое моделирование, принятие решений, системы поддержки принятия решений, искусственный интеллект.

a.a.burykin@mail.ru

SPIN-код 5045-3673

Васильев Павел Евгеньевич

магистрант кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, компьютерная техника.

rav86932@gmail.com

Волкова Анастасия Сергеевна

магистр кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – разработка аппаратно-программных комплексов.

volkova2305@bk.ru

SPIN-код 7792-4927

Востриков Антон Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – ортогональные преобразования изображений, матрицы Адамара, экстремальные матрицы.

vostricov@mail.ru

SPIN-код 5195-4696

Гордеев Александр Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – открытые системы, администрирование компьютерных систем.

ff2avg@gmail.com

SPIN-код 4216-7253

Гордеев Михаил Викторович

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – численные методы, прикладные системы с искусственным интеллектом.

nadgeka2002@gmail.com

SPIN-код 3869-0286

Григорьев Евгений Константинович

старший преподаватель кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровая обработка сигналов, малоуровневые ортогональные матрицы.

ev.grig95@gmail.com

SPIN-код 2847-0464

Григорьева Наталья Никифоровна

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – моделирование процессов в технических системах.

gera_nn@mail.ru

SPIN-код 1659-9120

Гурнов Константин Борисович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – машинное обучение, цифровая обработка сигналов, нейронные сети.

kocta4212@mail.ru

SPIN-код 9569-7946

Давидович Борис Владимирович

ассистент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – машинное обучение, цифровая обработка сигналов, нейронные сети.

davidovichborisvladimir@yandex.ru

SPIN-код 2125-1709

Дехканбаев Дмитрий Саттаркулович

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – управление беспилотными транспортными средствами.

dekhkanbaevds@gmail.com

SPIN-код 6500-7630

Доронин Дмитрий Алексеевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Национальный исследовательский университет ИТМО.

Область научных интересов – прикладные системы с искусственным интеллектом.

aleks.asklab@gmail.com

Душеба Артем Викторович

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – криптография, технологии блокчейна, компьютерная графика.

dushebaa@mail.ru

Жданов Даниил Владиславович

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, нейронные сети, искусственный интеллект, машинное обучение.

legolas-lego@mail.ru

SPIN-код 8535-3385

Зорин Иван Александрович

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – нейронные сети, искусственный интеллект, машинное обучение, информационные технологии.

kozjava555@mail.ru

SPIN-код 3503-1830

Иванов Илья Николаевич

аспирант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование сложных систем, обработка информации в условиях неопределенности.

b-boy431260@yandex.ru

Исаков Виктор Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – радиолокационные и радионавигационные системы.

ivi@guar.ru

SPIN-код 6192-8717

Килимник Вячеслав Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, начальник научно-исследовательского отдела биотехнических проблем.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – микромощная электроника, имплантируемые и биотехнические системы.

kil-aanet@ya.ru

SPIN-код 9606-0931

Кирчевская Полина Вячеславовна

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, искусственный интеллект, машинное обучение.

polyiikon@yandex.ru

Клюканов Виталий Константинович

студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии, искусственный интеллект, машинное обучение.

klukanovv@mail.ru

SPIN-код 7769-9192

Куртяник Даниил Владимирович

старший преподаватель кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – численные методы поиска квазиортогональных матриц.

dvk88@mail.ru

SPIN-код 1261-8071

Кухарь Максим Алексеевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – 3D-моделирование, виртуальная реальность.

maxim.spf@gmail.com

Лапшин Кирилл Владимирович

старший преподаватель базовой кафедры прикладных информационно-управляющих систем АО «Концерн «Гранит-Электрон».

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – системы управления сложными динамическими объектами.

kir_i_k@mail.ru

SPIN-код 1943-7955

Майн Екатерина Евгеньевна

аспирант, преподаватель кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровые реальности, метавселенная.

emajn3dsma@gmail.com

SPIN-код 7556-6730

Миклуш Виктория Александровна

старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – самоорганизующиеся беспроводные сенсорные сети.

miklush-v@yandex.ru

SPIN-код 3471-5767

Никитин Александр Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровые реальности, метавселенная.

guar.nike@mail.ru

SPIN-код 7656-2508

Орлов Алексей Петрович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные датчики технических систем.

ap.orlov1947@yandex.ru

Охтилев Михаил Юрьевич

доктор технических наук, заведующий кафедрой компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии.

oxt@mail.ru

SPIN-код 1782-1556

Охтилев Павел Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии.

pavel.oxt@mail.ru

SPIN-код 5222-2169

Поляк Марк Дмитриевич

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование, синергетические системы нелинейного управления, теория случайных процессов, искусственные нейронные сети.

markpolyak@gmail.com

SPIN-код 2609-1314

Пономаренко Владислав Владимирович

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – современные информационные системы и технологии, информатизация общества.

lampedusa238@gmail.com

Путилова Надежда Владимировна

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизация и управление образованием, автоматизированные информационные системы, системы управления базой данных.

N_V_P_hex@mail.ru

SPIN-код 2529-2107

Раскопина Анастасия Сергеевна

магистр кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – нейронные сети, машинное обучение.

raskopina.nastia@yandex.ru

SPIN-код 2014-1451

Решетникова Нина Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – интерактивная 3D-графика, персонажная анимация.

Reni_07@list.ru

SPIN-код 7756-5001

Рогачев Сергей Александрович

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – геоинформационные системы, анализ данных, исследования Земли из космоса, использование аэрокосмической информации, машинное обучение, искусственные нейронные сети.

rogachev.seal@gmail.com

SPIN-код 4273-1473

Савинов Максим Владимирович

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные датчики технических систем.

negur@list.ru

SPIN-код 9918-5313

Сапунов Денис Валерьевич

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – современные информационные системы и технологии, информатизация общества.

aimazingfeed@gmail.com

SPIN-код 8684-9434

Семененко Татьяна Вячеславовна

старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – синтез нелинейных систем управления.

stv12-02@yandex.ru

SPIN-код 8128-1241

Сергеев Александр Михайлович

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – ортогональные преобразования изображений, маскирование звука, теория симметрий.

aleks.asklab@gmail.com

SPIN-код 7080-4295

Сергеев Михаил Борисович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – ортогональные преобразования, численные методы, системы управления.

mbse@mail.ru

SPIN-код 3913-3652

Ситников Иван Александрович

ведущий программист кафедры вычислительных систем и сетей. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровой двойник, виртуальный двойник, метавселенная, цифровые реальности.

0zxc96@gmail.com

SPIN-код 8439-6993

Скобцов Юрий Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – искусственный интеллект, эволюционные вычисления, техническая диагностика цифровых систем.

ya_skobtsov@list.ru

SPIN-код 4948-4065

Соколова Ксения Дмитриевна

аспирант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – машинное обучение, цифровая обработка сигналов, нейронные сети.

ksusha.so-va@yandex.ru

SPIN-код 7742-9231

Татарникова Татьяна Михайловна

доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – машинное обучение, нейронные сети.

tm-tatarn@yandex.ru

SPIN-код 6226-3012

Толмачев Сергей Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – корреляционный анализ, теория кодирования.

tsg17@yandex.ru

SPIN-код 8821-9119

Турнецкая Елена Леонидовна

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – современные информационные системы и технологии, информатизация общества.

turnetskaya@mail.ru

SPIN-код 2881-3770

Тухватуллин Кирилл Ильдарович

студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии.

kostyalistov@gmail.com

Тюринова Виолетта Александровна

ассистент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование сложных систем, обработка информации в условиях неопределенности.

vilettee@yandex.ru

SPIN-код 8878-3661

Чекменева Анна Александровна

руководитель отдела перспективных разработок.

Общество с ограниченной ответственностью «АМА-Мир».

Область научных интересов – микропроцессорные устройства, датчики газов, датчики физических параметров, цифровая и аналоговая обработка сигналов.

chekmeneva.anna.1999@mail.ru

SPIN-код 3786-5782

Шамрицкая Дарья Сергеевна

инженер отдела перспективных разработок.

Общество с ограниченной ответственностью «АМА-Мир».

Область научных интересов – микропроцессорные устройства, датчики физических параметров, биотехнические системы.

dashacomka@gmail.com

SPIN-код 7788-8328

Шепета Александр Павлович

доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – обработка информации в условиях априорной неопределенности, математическое моделирование стохастических процессов и систем.

shepeta@aanet.ru

SPIN-код 5880-8791

Шепета Дмитрий Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование сложных бортовых технических систем, обработка информации в условиях неопределенности.

dima@shepeta.com

SPIN-код 3897-5721

Щёкин Сергей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии.

svs@aanet.ru

SPIN-код 7841-6846

Юдин Иван Александрович

аспирант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – математическое моделирование сложных систем, обработка информации в условиях неопределенности.

ivan-yudin@mail.ru

SPIN-код 1649-1252

Яковлев Александр Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – анализ речевого сигнала, машинное обучение.

sven-7@mail.ru

SPIN-код 7522-2782

Яковлева Екатерина Арнольдовна

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – технико-экономическое обоснование принятия решений, методы поддержки и принятия оптимальных решений, математические методы и модели.

y_katerina@rambler.ru

SPIN-код 3931-3359

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ.....	3
ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА.....	3
<i>Акопян Б. К.</i> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА, ПРИМЕНИМОГО ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ	3
<i>Боженко В. В., Жданов Д. В., Зорин И. А.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА CRNN АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО И ПЕЧАТНОГО ТЕКСТА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ	8
<i>Боженко В. В., Ключанов В. К.</i> ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВИДЕОПОТОКЕ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	14
<i>Булгаков Д. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ТОКЕНОВ В ИНТЕРАКТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ.....	19
<i>Бурькин А. А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ.....	30
<i>Григорьева Н. Н., Душеба А. В.</i> АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГОСЗАКУПОК НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН.....	35
<i>Гурнов К. Б., Давидович Б. В., Соколова К. Д.</i> ВЛИЯНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА РАБОТУ ОПТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С МАЛОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКОЙ.....	40
<i>Иванов И. Н., Юдин И. А., Шепета А. П.</i> СТАБИЛИЗАЦИЯ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ ТИП «К ИЗ N».....	44
<i>Исаков В. И., Шепета Д. А., Тюринова В. А.</i> РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	49
<i>Килимник В. А., Шамрицкая Д. С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ БИОТЕЛЕМЕТРИИ.....	53
<i>Орлов А. П., Савинов М. В.</i> ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УГЛОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ	57
<i>Татарникова Т. М., Раскопина А. С.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОБУЧЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	59
<i>Татарникова Т. М., Раскопина А. С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ	64
<i>Толмачев С. Г., Лапшин К. В.</i> ВЫБОР МЕТРИКИ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ИХ ПРИЗНАКОВ.....	68
<i>Турнецкая Е. Л., Пономаренко В. В.</i> РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВАКАНСИЙ В ИТ-СФЕРЕ.....	72
<i>Турнецкая Е. Л., Сапунов Д. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ В ФИНАНСОВОЙ СФЕРЕ	79
<i>Чекменева А. А.</i> СТЕНД ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ С ЗАДААННЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ	83
<i>Чекменева А. А., Килимник В. А.</i> ПРИБОР ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	86
<i>Яковлев А. В.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО РЕЧИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ	89
<i>Яковлев А. В., Волкова А. С., Балезин Л. Н.</i> РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧИ ЧЕЛОВЕКА В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ....	95
<i>Яковлева Е. А., Кирчевская П. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ИТ-СФЕРЕ.....	101

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ	105
<i>Аграновский А. В., Васильев П. Е.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ IOT ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЕРСОНАЛА И ТЕХНИКИ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ	105
<i>Миклуш В. А.</i> ВЫБОР МАРШРУТА ДОСТАВКИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ	110
<i>Семененко Т. В.</i> МЕТОДЫ ЛИНЕАРИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. ПОЛИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ	117
<i>Ушаков В. А.</i> ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПЛАТФОРМА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ENGEE	120
<i>Ушаков В. А.</i> ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ ГАНТА С ПОМОЩЬЮ БИБЛИОТЕКИ PLOTLY.JS	123
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ	125
<i>Богданов Д. В., Ивлева А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ REACT.JS В РАЗРАБОТКЕ ЛИЧНОГО БЛОГА	125
<i>Коромысличенко В. Н., Непша Д. Д.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОПИЛОТИРУЕМОГО АВТОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	132
<i>Охтилев М. Ю., Охтилев П. А., Тухватуллин К. И.</i> РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ	135
<i>Поляк М. Д., Сениченкова Я. О., Бояркин М. И.</i> ДЕТЕКЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕЛЕГАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	141
<i>Поляк М. Д., Щеголева А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ СИСТЕМ «ХИЩНИК-ЖЕРТВА»	145
<i>Попов А. А., Белов А. И.</i> ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ	149
<i>Путилова Н. В., Туманова А. В.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ВУЗА С УЧЕТОМ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	155
<i>Рогачев С. А.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ	160
<i>Скобцов Ю. А.</i> КВАНТОВО-ВДОХНОВЛЕННЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ	164
<i>Щёкин С. В.</i> ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ С ОТКРЫТЫМИ ИСХОДНЫМИ ТЕКСТАМИ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	169
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ	174
<i>Балонин Н. А., Балонин Ю. Н., Востриков А. А., Сергеев А. М., Сергеев М. Б.</i> К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕНОМЕНА ОРТОГОНАЛЬНОГО ГИПЕРОБЪЕКТА	174
<i>Балонин Н. А., Сергеев М. Б.</i> СРАВНЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ALU ДНК СО СЛУЧАЙНЫМИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ОРТОГОНАЛЬНЫМИ СУБПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ	177
<i>Гордеев А. В.</i> ОБ ОПЫТЕ И ПРОБЛЕМАХ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПРОДУКТАМ И ТЕХНОЛОГИЯМ ГК «АСТРА»	184
<i>Григорьев Е. К.</i> ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА МАСКИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ	187
<i>Дехканбаев Д. С., Куртяник Д. В., Сергеев М. Б.</i> ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ОБНОВЛЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ТАБЛИЦ ПОИСКА С ПРИЛОЖЕНИЕМ К СИСТЕМЕ ПРОДОЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ	192

Никитин А. В., Майн Е. Е., Ситников И. А. ВИРТУАЛЬНЫЕ ДВОЙНИКИ И МЕТАВСЕЛЕННАЯ	196
Решетникова Н. Н., Кухарь М. А. 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ФОТОГРАММЕТРИИ	203
Сергеев А. М., Доронин Д. А., Гордеев М. В. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ШКОЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ РАБОТ	207
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	213

Научное издание

ОБРАБОТКА, ПЕРЕДАЧА И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ '24

Четвертая Международная научная конференция
8–15 апреля 2024 г.

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-1899-6



9 785808 818996

Ответственный за выпуск:

Б. К. Акопян

Редакторская подготовка *Е. В. Тороповой*
Компьютерная верстка *С. Б. Мацапуры*

Подписано к печати 25.03.2024. Дата выхода в свет: 04.04.2024. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 26,3. Уч.-изд. л. 28,6. Тираж 150 экз. Заказ № 13.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Распространяется бесплатно