

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

*Посвящается
Всемирному дню авиации и космонавтики*

ОБРАБОТКА, ПЕРЕДАЧА И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Пятая Международная научная конференция
7–18 апреля 2025 г.

Сборник докладов



Санкт-Петербург
2025

УДК 001
ББК 72
О-23

О-23 Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Пятая
Международ. науч. конф. (СПб., 7–18 апреля 2025): сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2025. –
248 с.
ISBN 978-5-8088-2022-7
DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5

В апреле 2025 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 и 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 978-5-8088-2022-7
DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2025

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 004.032.26

В. В. Боженко*

старший преподаватель

И. А. Зорин*

студент

Д. В. Жданов*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ
В ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Обоснована необходимость нормализации данных в нейронных сетях, рассмотрены основные методы нормализации, которые применяются в генеративно-состязательной нейронной сети, такие как нормализация экземпляра, слоя, пакетная и групповая нормализация. Для каждого метода приводятся формулы подсчета статистических показателей, описываются их различия, преимущества и эффективность каждого метода. Также проведен сравнительный анализ методов нормализации для конкретной архитектуры нейронной сети, используемой при генерации пиксельных анимаций.

Ключевые слова: нейронные сети, нормализация, генеративно-состязательная нейронная сеть, генерация данных.

V. V. Bozhenko*

Senior Lecturer

I. A. Zorin*

Student

D. V. Zhdanov*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**APPLICATION OF NORMALIZATION METHODS
IN A GENERATIVE-ADVERSARIAL NEURAL NETWORK**

The need for data normalization in neural networks is substantiated, the main normalization methods that are used in a generative-adversarial neural network, such as instance, layer, batch and group normalization, are considered. For each method, formulas for calculating statistical indicators are given, their differences, advantages and effectiveness are described. A comparative analysis of normalization methods for a specific neural network architecture used to generate pixel animations is also carried out.

Keywords: neural networks, normalization, generative-adversarial neural network, data generation.

Введение

Одним из наиболее инновационных направлений машинного обучения является генерация новых данных – создание реалистичных примеров, основанных на изучении существующих закономерностей в исходном распределении [1]. Это полезно как для расширения возможностей и улучшения качества обучения моделей за счет восполнения недостатка реальных данных, так и для решения прикладных задач – создания нового уникального контента,

восстановления поврежденных изображений и т. д.

Генеративно-состязательные нейронные сети (GAN) относятся к современным генеративным моделям и позволяют создавать новые данные. Они состоят из двух моделей, первая – генератор, который создает данные, вторая – дискриминатор, определяющий, насколько сгенерированные данные похожи на реальные [1]. В настоящее время GAN является важной частью глубокого обучения и представляет собой мощный, активно развивающийся и по-

пулярный инструмент для генерации синтетических данных. GAN позволяет добиться хорошего качества генерации, при этом обучение таких сетей – сложная задача из-за нестабильности, которая вызвана состязательной природой генератора и дискриминатора. Одним из самых распространенных методов для стабилизации и ускорения обучения является нормализация данных на скрытых слоях модели [2].

Основные методы нормализации

Основная задача слоев нормализации – уменьшение внутреннего ковариационного сдвига. Такой сдвиг возникает, когда значения статистических величин (математическое ожидание и дисперсия) для одних и тех же данных изменяются внутри сети от слоя к слою, из-за чего получается, что модель на каждом слое адаптируется к данным, которые слишком сильно отличаются от тех, что подавались на предыдущем слое, поэтому этап обучения модели сильно усложняется и замедляется, ведь модель постоянно переучивается на различных представлениях данных, что в конечном счете вводит определенные ограничения на параметры обучения и понижает вероятность схождения модели [2].

Слои нормализации позволяют уменьшить внутренний ковариационный сдвиг путем приведения математического ожидания к нулю и дисперсии к единице. При этом преобразование данных происходит следующим образом: на каждый нейрон поступает сумма произведе-

$$\text{ния весов и значений нейронов } V_k = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

с предыдущих слоев, и для каждого объекта, подаваемого на вход модели, формируется вектор из таких сумм $V = [v_k^1, v_k^2, v_k^3, v_k^4 \dots v_k^m]$, где m – число объектов на входе [2; 3]. Для полученного вектора вычисляются математическое ожидание и дисперсия по следующим формулам:

$$\begin{aligned} m_v &= M\{V\} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_k^i, \\ \delta_v^2 &= M\{(V - m_v)^2\} = \\ &= \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (v_k^i - m_v)^2 \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (v_k^i - m_v)^2, \end{aligned}$$

где μ – математическое ожидание, δ – дисперсия.

Затем для получения нулевого математического ожидания и единичной дисперсии векто-

ра V каждое значение преобразуется по формуле

$$z_k^i = \frac{v_k^i - m_v}{\sqrt{\delta_v^2 + \varepsilon}},$$

где ε – положительное небольшое число.

Таким образом, вектор $Z = [z_k^1, z_k^2, z_k^3, z_k^4 \dots z_k^m]$ будет нормализован. Однако данное преобразование уменьшает значимость определенных признаков, которыми обладают данные, и лишает некоторые функции активации характеристики нелинейности, что ухудшит работу сети. В связи с этим после нормировки происходят масштабирование и смещение данных по следующей формуле:

$$y_k^i = \gamma z_k^i + \beta,$$

где γ и β – параметры, изменяемые во время обучения модели, с начальными значениями 1 и 0.

Существует несколько методов нормализации данных, которые применяются в скрытых слоях GAN:

- 1) нормализация экземпляра (IN – Instance Normalization) [4],
- 2) нормализация слоя (LN – Layer Normalization) [5],
- 3) нормализация пакета (BN – Batch Normalization) [2; 6],
- 4) нормализация группы (GN – Group Normalization) [3].

Обрабатываемые данные представляют собой четырехмерные тензоры $x \in [N, C, H, W]$, где N – количество примеров в пакете данных, C – количество каналов изображений, H, W – размеры изображений.

Для нормализации экземпляра используется только одна карта признаков одного примера из пакета данных, поэтому тензор для нормализации имеет вид $x \in [1, 1, H, W]$. Из-за обработки единичного объекта вектор V для данного метода не формируется, а сразу же начинается вычисление статистических величин для карты признаков [3]. Формулы для вычислений этих величин учитывают высоту и ширину изображения:

$$\mu_{ni} = \frac{1}{HW} \sum_{l=1}^W \sum_{m=1}^H x_{nilm},$$

$$\delta_{ni}^2 = \frac{1}{HW} \sum_{l=1}^W \sum_{m=1}^H (x_{nilm} - \mu_{ni})^2.$$

Далее на основе полученных величин вычисляется нормализованное значение тензора по формуле

$$y_{ijk} = \frac{x_{ijk} - \mu_{ni}}{\sqrt{\delta_{ni}^2 + \varepsilon}},$$

где ε – положительное небольшое число для более стабильного обучения.

И для сохранения значимости признаков полученное значение преобразуется по формуле

$$\hat{Y}_{ijk} = \gamma \cdot y_{ijk} + \beta.$$

Нормализация слоев вычисляет математическое ожидание и дисперсию на основе слоев изображения, при этом тензор $x \in [1, C, H, W]$, т. е. для каждого примера из пакета выбираются все признаки и затем вычисляются необходимые величины [4].

При этом в общем виде формулы выглядят следующим образом:

$$\mu_i = \frac{1}{CHW} \sum_{c=1}^C \sum_{w=1}^W \sum_{h=1}^H x_{cwh},$$

$$\delta_i = \frac{1}{CHW} \sum_{c=1}^C \sum_{w=1}^W \sum_{h=1}^H (x_{cwh} - \mu_i)^2.$$

В пакетной нормализации статистические величины вычисляются для всех данных в подаваемом пакете, из-за чего помимо суммирования значений для каждого пикселя карты признаков, тензор, на основе которого проводятся вычисления, имеет размер $x \in [N, 1, H, W]$, так как суммирование происходит только по одной карте признаков для каждого объекта пакета данных, C равен единице [3]. Формулы для подсчета статистических параметров:

$$\mu_i = \frac{1}{NHW} \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M x_{nlm},$$

$$\delta_i^2 = \frac{1}{NHW} \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M (x_{nlm} - \mu_i)^2.$$

После этого производятся нормализация и масштабирование со смещением. Получается, если сравнивать нормализацию экземпляра, в которой преобразуется одна обучающая выборка, в пакетной нормализации это преобразование происходит для всего пакета.

Основной смысл групповой нормализации заключается в работе с группой карт признаков, а не со всеми, как это происходит в нормализации слоев, или с одной, как это реализовано в нормализации экземпляра. Каналы изображения делятся на группы заданного размера, для полученных групп вычисляются статистические величины и производится нормализация, поэтому тензор для нормализации имеет размеры $x \in [1, C/G, H, W]$, где G – размер групп, на которые разделяются карты признаков. Формулы для вычисления статистических величин принимают следующий вид:

$$\mu_i = \frac{1}{\frac{C}{G}HW} \sum_{c=1}^{\frac{C}{G}} \sum_{w=1}^W \sum_{h=1}^H x_{cwh},$$

$$\delta_i^2 = \frac{1}{\frac{C}{G}HW} \sum_{c=1}^{\frac{C}{G}} \sum_{w=1}^W \sum_{h=1}^H (x_{cwh} - \mu_i)^2.$$

Формулы для масштабирования и нормализации такие же, как в пакетной нормализации [3; 6].

На рис. 1 показано наглядное представление различных методов нормализации. Каждый столбец куба – один канал изображения. В нормализации экземпляра нормализуются пиксели одного канала, в нормализации слоя нормализация производится по всем каналам одного экземпляра данных, в пакетной нормализации

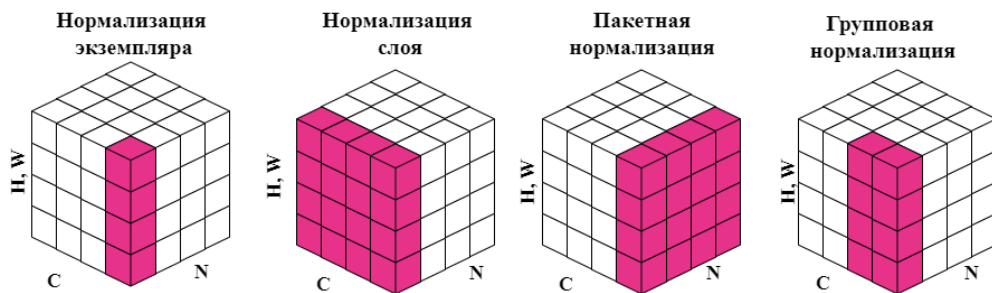


Рис. 1. Наглядное представление различных видов нормализации

ции – по одному каналу всех экземпляров данных, в групповой нормализации – по заданному заранее количеству каналов одного экземпляра данных [3].

Итоговый выбор метода нормализации данных часто зависит от характеристик и структуры этих данных, требований модели и конкретных задач, так как нормализация позволит ускорить обучение и улучшить производительность модели.

Сравнение методов нормализации

С целью практического сравнения эффективности работы описанных видов нормализации реализуется генеративно-состязательная нейронная сеть для синтеза пиксельных анимаций, которые характеризуются низким разрешением и четко определенными границами пикселей. В качестве генератора выступает модель с U-net архитектурой, которая на

вход получает скрытое представление входного изображения, понижает размерность данного представления в 16 раз, после чего восстанавливает его до исходных размеров. Архитектура генератора показана на рис. 2 [7].

В модели используются Res-блоки, архитектура которых показана на рис. 3. Res-блоки сначала понижают или повышают дискретизацию карт признаков, потом уменьшенное изображение передается в подблоки, в которых производится нормализация карт признаков, нормализованные данные обрабатываются с помощью трех слоев свертки, далее блок канального внимания формирует веса для карт признаков и перемножает карты признаков с полученными весами, взвешенные признаки суммируются с нормализованными вначале признаками и передаются либо на выход блока, либо на вход следующего подблока [7].

Для генерации пиксельных анимаций при создании модели необходимо сохранить струк-

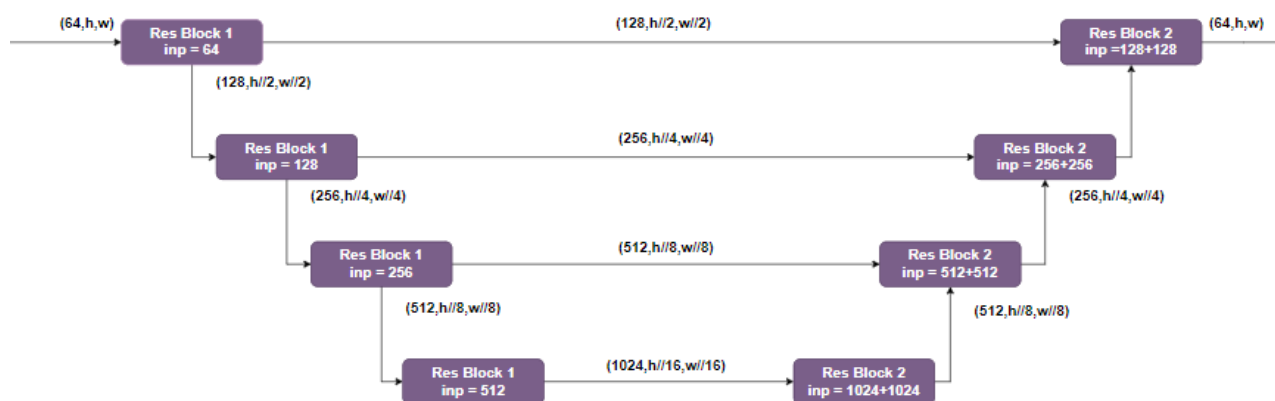


Рис. 2. Архитектура генератора

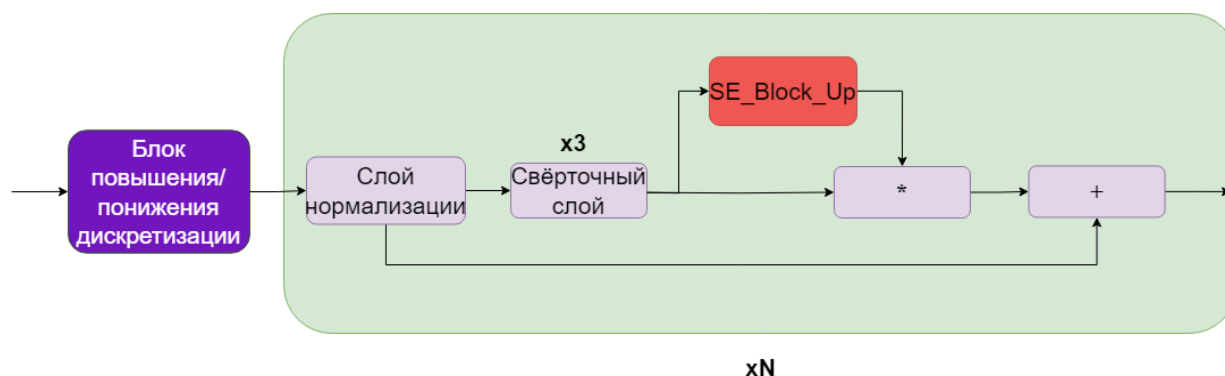


Рис. 3. Архитектура Res-блока

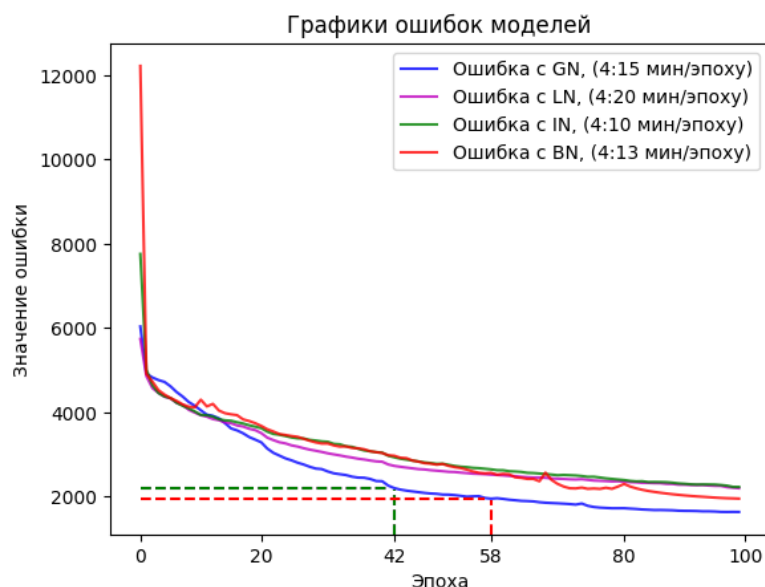


Рис. 4. Графики изменения ошибки моделей на тестовых данных

туру пикселей, согласованность кадров, а также стабильность обучения. Для этого используются методы нормализации. В рамках данной работы были обучены модели с четырьмя типами слоев нормализации: групповая нормализация, нормализация слоев, пакетная нормализация и нормализация экземпляров; результаты обучения проанализированы с целью выбора наиболее подходящего метода нормализации для используемой модели нейронной сети.

Обучение производилось на 2000 кадрах различных анимаций на 100 эпохах. В качестве ошибки использовалась составная функция из нескольких средних абсолютных ошибок (MAE), поэтому значение ошибки на графиках и в таблице можно интерпретировать как 110·MAE от всего изображения. Результаты обучения показаны на рис. 4 и в таблице. На рис. 4 синим цветом показана модель с групповой нормализацией (GN), фиолетовым – с нормализацией слоев (LN), зеленым – с нормализацией экземпляра (IN) и красным – с пакетной нормализацией (BN).

Из таблицы и рис. 4 видно, что в экспериментах групповая нормализация продемонстрировала наилучшие результаты. Ошибка на тестовых данных составила 1629,08 ед., что в пересчете в среднюю абсолютную ошибку составляет 14,81 ед. и для задачи генерации изображений является хорошим показателем. Среднее время обучения модели на одной эпохе у всех моделей изменяется меньше, чем на 10 с, поэто-

Результаты обучения моделей

Тип нормализации	Минимальная ошибка	Эпоха достижения минимальной ошибки	Медианное время обучения на одной эпохе (мин/эпоха)
Групповая нормализация	1629,08	100	4:15
Нормализация слоев	2192,30	100	4:20
Нормализация экземпляра	2224,29	100	4:10
Пакетная нормализация	1944,22	100	4:13

му по данному параметру невозможно определить, какая вариация приоритетнее.

Для более полного сравнения эффективности групповой нормализации с остальными на рис. 4 пунктирными линиями показаны эпохи, на которых модель с групповой нормализацией достигала минимальных значений остальных моделей. Group Normalization на 42-й эпохе достигла результатов нормализации слоев и экземпляра, что в 2,38 раза быстрее, а результатов пакетной нормализации в 1,72 раза быстрее, на 58-й эпохе.

Так как групповая нормализация работает независимо с несколькими непересекающимися подвыборками каналов признаков, количество информации, хранящейся в данных подвыборках остается больше в сравнении с нормализацией всех слоев, поэтому групповая нормализация показала себя лучше нормализации

слоев. При нормализации экземпляра количество хранимой информации избыточно, поэтому модели сложнее подстраиваться под подаваемые ей данные, в связи с этим данная нормализация показала результаты хуже или на уровне остальных реализаций.

Из-за больших размеров нейронной сети и ограниченных вычислительных мощностей размер пакета для датасета был слишком маленьким (два экземпляра), а при малых размерах пакетов Batch Normalization работает хуже, чем при больших, поэтому она показала удовлетворительный результат. При этом на групповую нормализацию ни одно из описанных ограничений не влияет, поэтому данный вид нормализации продемонстрировал наиболее высокие показатели качества [3].

Правильная нормализация ускоряет сходимость модели, что позволяет достигать лучших результатов за меньшее количество эпох. В целом методы нормализации являются неотъемлемой частью обучения генеративно-сопоставительных нейронных сетей, играют важную роль в стабилизации процесса обучения, улучшении качества генерации и обеспечении устойчивости моделей. При этом выбор подходящего метода обычно зависит от конкретной архитектуры GAN и задач, которые она решает.

Библиографический список

1. Применение генеративно-сопоставительных нейросетей для генерации изображений / Е. В. Ильинская, Е. Н. Голышева, А. А. Медведев, Н. С. Масалитин // Научный результат. Информационные технологии. 2024. Т. 9, № 1.
2. Batch-normalization. URL: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Batch-normalization> <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Batch-normalization> (дата обращения: 15.11.2024).
3. Group Normalization. URL: https://openaccess.thecvf.com/content_ECCV_2018/papers/Yuxin_Wu_Group_Normalization_ECCV_2018_paper.pdf (дата обращения: 21.11.2024).
4. Instance Normalization. URL: <https://www.baeldung.com/cs/instance-vs-batch-normalization> (дата обращения: 21.11.2024).
5. Layer Normalization. URL: <https://www.cs.utoronto.ca/~hinton/absps/LayerNormalization.pdf> (дата обращения: 21.11.2024).
6. Ioffe S., Szegedy C. Batch normalization: accelerating deep network training by reducing internal covariate shift // ICML. 2015. P. 448–456.
7. ResNet. URL: <https://proproprogs.ru/tensorflow/keras-resnet-revolyuuciya-glubokogo-obucheniya-ischezayushchie-vzryvayushchiesya-gradienty> (дата обращения: 11.11.2024).

УДК 004.921

Д. А. Булгаков

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И РАЗБИЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СЕТОК

Рассматриваются способы разбиения и разрушения полигональных сеток для получения нового геометрического представления. Сюда входят классический способ предварительного ручного разбиения на основе ячеек Вороного и предлагаемый способ автоматического разбиения на основе тесселяции треугольной поверхности по фактору 2 с дальнейшим перестроением треугольников, генерацией новых 3D-объектов и применением физической модели для детектирования коллизий и моделирования столкновений в реальном времени с использованием игрового движка Unity.

Ключевые слова: полигон, сетка, разбиение, Unity, тесселяция, Вороной.

D. A. Bulgakov

Senior Lecturer

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

POLYGON MESHES DYNAMIC GENERATION AND FRACTURING

The article discusses methods of partitioning and subdividing polygonal meshes to get a new geometry representation. These include the classical method of preliminary manual fractioning based on Voronoi cells and the proposed method of automatic fractioning based on tessellation of triangular surface by factor 2 with further rearrangement of triangles, generation of new 3D objects and application of physical model for collision detection and collision modeling using Unity game engine.

Keywords: polygon, mesh, fracturing, Unity, tessellation, Voronoi.

1. Разбиение полигональных объектов

Классический подход к решению задачи разбиения объектов заключается в предварительной (часто ручной) модификации полигональных сеток объектов в 3D-редакторе. Для каждого объекта необходимо сначала создать линии разлома, т. е. фактически, разбить полигоны на большее их количество, а затем разделить сам объект на желаемое количество составных частей (независимых полигональных сеток). Работа довольно трудоемкая, поэтому для упрощения процесса в редакторе Blender можно воспользоваться расширением Cell Fracture [1]. Алгоритм создает разбиения поверхности на основе ячеек Вороного [2] с заданным уровнем зашумления. Используя инструмент Annotation pencil (карандаш для пометок), можно вручную нарисовать на исходной модели области более подробного разбиения. Так можно создавать имитации повреждений, например от столкновения или удара (рис. 1).

Чтобы разрушить разбитый на части объект, необходимо перенести его в игровой движок и применить ко всем отдельным элементам компонент физики твердого тела (Rigidbody) и кол-

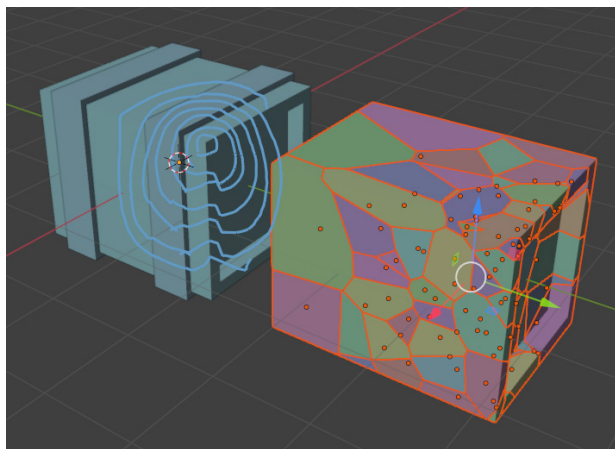


Рис. 1. Оригинальный объект (слева) и результат процедурного разбиения на ячейки Вороного с учетом вспомогательных линий (справа)



Рис. 2. Пример разрушения объекта по ячейкам Вороного в Unity

лайдер, повторяющий полигональную сетку (Mesh Collider). После запуска игры объект разрушится под действием гравитации и импульсов от столкновений (рис. 2). В определенный момент, когда объект получает повреждение, например в результате удара или столкновения, производится подмена оригинальной (целой) модели на разрушенную (разбитую).

Такой подход к разбиению не лишен недостатков:

1) для каждого объекта необходимо вручную создавать разбиения с учетом характера и места повреждения;

2) все варианты разбиений необходимо хранить в памяти, чтобы динамически заменять исходную модель объекта на одну из разбитых при определенных физических воздействиях (ударе, выстреле, взрыве и т. п.);

3) разбитый объект содержит гораздо больше треугольников, чем исходный, поэтому его просчет негативно влияет на производительность;

4) для корректного просчета физики частей разбитого объекта приходится использовать ресурсоемкий Mesh Collider (коллайдер, повторяющий полигональную сетку), что также приводит к снижению производительности системы;

5) разбиение на основе ячеек Вороного не отражает реальный характер повреждений, которые объект может получить при физическом воздействии.

2. Использование библиотек для динамического разбиения объектов

Для движка Unity существует несколько сторонних библиотек, позволяющих в реальном времени просчитывать разбиение полигональных сеток: RayFire, OpenFracture, DestroyIt и DinoFracture. Только один из них, OpenFracture, является бесплатным и облада-

ет открытым исходным кодом [3]. Этот пакет содержит три отдельных компонента:

– **Fracture** – разбивает поверхности на части в процессе выполнения игры;

– **Prefracture** – используется для предварительного разбиения поверхностей в редакторе. Созданные фрагменты можно затем сохранить в виде префаба;

– **Slice** – режет поверхности в реальном времени.

К сожалению, перечисленные плагины либо являются платными, либо уже не поддерживаются в актуальных версиях редактора Unity. Поэтому вместо использования готовых решений рассмотрим способ и алгоритм для создания простого разбиения полигональной поверхности в реальном времени.

3. Тесселяция

Чтобы объект можно было разбить на меньшие элементы, необходимо увеличить количество треугольников полигональной сетки. Но повышение числа полигонов заранее при моделировании в 3D-редакторе слишком усложнит объект и сцену. Поэтому для оптимизации производительности правильнее будет реализовать динамическое разбиение на большее число полигонов – тесселяцию [4].

Степень разбиения каждого треугольника определяется как 2^n , где n – фактор тесселяции. Наиболее простой алгоритм тесселяции предполагает разбиение каждого треугольника на 4 меньших путем добавления новых вершин на середины ребер (рис. 3).

Поскольку Unity обладает поддержкой графического API DirectX 11, в коде шейдера можно реализовать аппаратное разбиение объекта на треугольники при помощи шейдеров оболочки (Hull Shader), домена (Domain Shader) и тесселяции (Tessellation Shader) [5]. Однако тесселяция, выполняемая на уровне шейдера, происходит на графическом процессоре (GPU) и применяется только для рендеринга. Она не изменяет исходную сетку объекта и не передает данные о новой геометрии обратно центральному процессо-

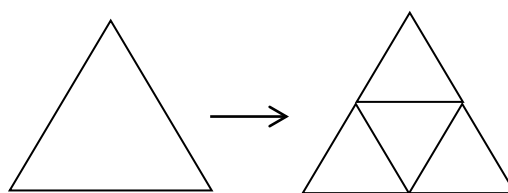


Рис. 3. Пример тесселяции треугольника с фактором 2

ру. В Unity существует класс Mesh, который позволяет создавать и редактировать полигональные сетки, но он работает исключительно с оригинальной геометрией, определенной центральным процессором, и не имеет доступа к тесселированным треугольникам, созданным при помощи шейдеров конвейера DirectX 11 [6].

Альтернативный вариант – управлять вершинами через C#-скрипт с обработкой логики центральным процессором. В общем случае для этого понадобится выполнить три шага:

- 1) получить вершины,
- 2) изменить вершины,
- 3) включить новые вершины в сетку.

Середина каждого ребра должна вычисляться лишь единожды, поэтому понадобится кэшировать уже посчитанные середины путем записи их в словарь во избежание повторения вычислений. Также полезным будет упорядочить индексы вершин, чтобы программа понимала, что АВ и ВА – это один отрезок. Пример скрипта, отвечающего за поиск положения серединной точки и добавление ее к ребру, приведен ниже:

```
int GetMidpoint(int indexA, int indexB)
{
    if (indexA > indexB) // Упорядочивание индексов
        (indexA, indexB) = (indexB, indexA);
    var edgeKey = (indexA, indexB);
    if (midpointCache.TryGetValue(edgeKey, out int midpointIndex))
    {
        return midpointIndex;
    }
    // Создание новой вершины и сохранение ее в кэш
    Vector3 midpoint = (vertices[indexA] + vertices[indexB])
        * 0.5f;
    midpointIndex = newVertices.Count;
    newVertices.Add(midpoint);
    midpointCache[edgeKey] = midpointIndex;
    return midpointIndex;
}
```

Далее можно начать добавлять в триангуляцию группы по 4 новых треугольника путем соединения вершин исходных треугольников с серединными точками. Для этого циклически перебираются все исходные треугольники, для каждого из которых строятся новые отрезки (ab, bc, ca). Три ребра образуют новый треугольник. Пример кода:

```
// Перебор всех исходных треугольников
for (int i = 0; i < triangles.Length; i += 3)
{
    int a = triangles[i];
    int b = triangles[i + 1];
    int c = triangles[i + 2];
```

```
// Новые точки на серединах ребер
int ab = GetMidpoint(a, b);
int bc = GetMidpoint(b, c);
int ca = GetMidpoint(c, a);

// Создание четырех новых треугольников
newTriangles.Add(a); newTriangles.Add(ab); newTriangles.
Add(ca);
newTriangles.Add(ab); newTriangles.Add(b); newTriangles.
Add(bc);
newTriangles.Add(bc); newTriangles.Add(c); newTriangles.
Add(ca);
newTriangles.Add(ab); newTriangles.Add(bc);
newTriangles.Add(ca);
}
```

Процедура обновления полигональной сетки включает очистку всех данных о вершинах и индексах треугольников при помощи метода Clear(), добавление новых вершин и треугольников в массив и перерасчет нормалей для корректного определения лицевых граней. Для визуализации новых полигонов можно воспользоваться отладочными линиями Unity, которые будут видны в сцене при активации рендеринга гизмо (Gizmos) в редакторе. Вызов метода Debug.DrawLine(), отвечающего за рисование линий, необходимо выполнять на каждом кадре, поскольку Unity очищает все види-

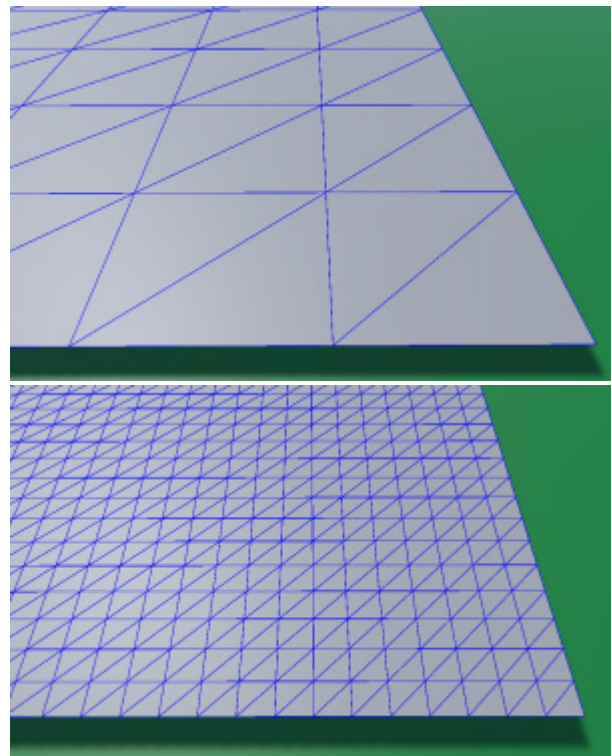


Рис. 4. Полигональная сетка объекта до и после тесселяции

мые гизмо после отображения очередного кадра (рис. 4).

4. Визуализация

По умолчанию в Unity работает механизм отсекающих обратных граней (Backface Culling), из-за чего полигон визуализируется только с лицевой стороны, которая определяется направлением вектора нормали [7]. Чтобы заставить движок рендеринга применять материал к обратной стороне полигона, потребуется внести изменения в код шейдера.

При использовании встроенного конвейера рендеринга (Built-in Render Pipeline) потребуется дополнительно установить пакет Shader Graph – это нодовый редактор шейдеров для Unity. Для отключения механизма отсекающих граней достаточно создать новый шейдер типа Standard Surface и добавить в его код внутри блока SubShader строчку Cull Off [8]. После этого код шейдера необходимо скомпилировать, а сам шейдер применить к материалу 3D-объекта. Теперь тесселируемая поверхность будет отображаться с обеих сторон.

5. Алгоритм разбиения плоскости

Пусть плоскость Plane – это объект, который будет разбиваться при столкновении с другим объектом (в данном примере это будет мяч). Стандартный примитив Plane в Unity имеет размерность 10×10 сегментов, что дает 200 треугольников. Благодаря вспомогательным линиям их можно наблюдать сразу после запуска сцены (рис. 5).

Первым делом необходимо задать минимальный импульс столкновения мяча с пло-

скостью, при достижении которого будут запускаться все дальнейшие действия. Если магнитуа удара больше 10, то запускается метод триангуляции Triangulate(). Его задача – найти и записать в массив координаты всех вершин всех треугольников исходной плоскости, после чего запустить метод CreateTriangle(), отвечающий за создание новых треугольников. Пример кода для генерации треугольников:

```
private void Triangulate()
{
    Vector3[] vertices = originalMesh.vertices;
    int[] triangleArray = originalMesh.triangles;
    for (int i = 0; i < triangleArray.Length; i += 3)
    {
        Vector3 v1 = transform.TransformPoint(vertices[triangleArray[i]]);
        Vector3 v2 = transform.TransformPoint(vertices[triangleArray[i + 1]]);
        Vector3 v3 = transform.TransformPoint(vertices[triangleArray[i + 2]]);
        GameObject triangle = CreateTriangle(v1, v2, v3);
        triangles.Add(triangle);
    }
}
```

В тех местах, где находятся полигоны плоскости, алгоритм создает новые треугольники. Для каждого треугольника применяются следующие компоненты:

- Mesh Filter и Mesh Renderer – для определения полигональной сетки и ее визуализации;
- двусторонний материал и случайный цвет – для наглядного отображения результата;
- выпуклый Mesh Collider – для придания треугольнику физической оболочки;

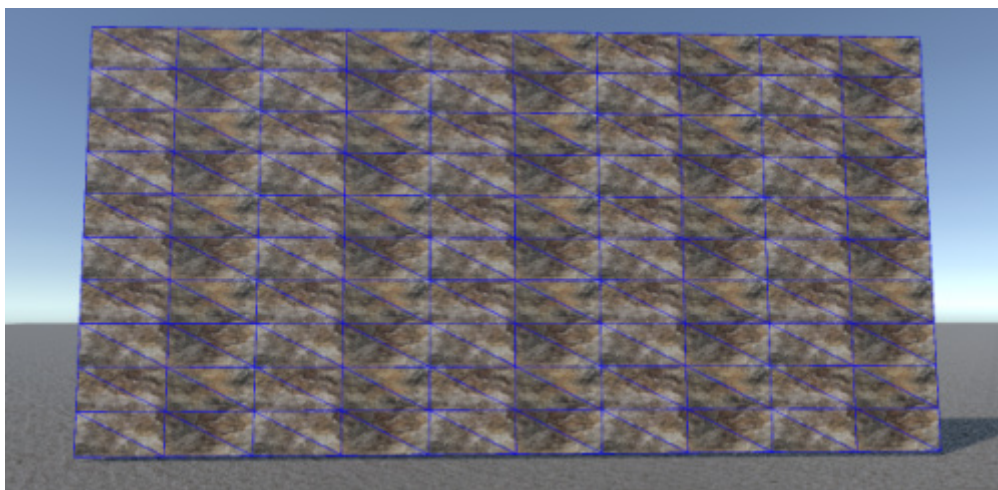


Рис. 5. Исходная плоскость для разбиения



Рис. 6. Результаты разбиения тесселированной плоскости

– Rigidbody – для симуляции физики твердого тела. Также здесь указывается масса каждого треугольника и активируется кинематический режим (isKinematic), чтобы треугольники не «рассыпались» раньше времени;

– скрипт TrianglePhysics, который выключает кинематический режим, что активирует расчеты физики столкновений для треугольника.

Метод возвращает треугольники новой сетки. После обработки всех треугольников оригинальная плоскость удаляется, поскольку она больше не нужна. В результате получается поверхность, состоящая из отдельных треугольников, обладающих коллайдерами. Все треугольники помечаются специальным тегом Triangle. При контакте мяча с объектом, имеющим этот тэг (т. е. при детектировании коллизии), выполняется проверка на импульс удара. Если импульс оказывается больше порогового значения, у подверженных столкновению треугольников активируется физическая модель, и они «осыпаются». Не затронутые столкновением треугольники остаются на своих местах. Результат многократных столкновений мяча с плоскостью можно наблюдать на рис. 6.

6. Технологические ограничения и дальнейшие оптимизации

Поскольку полигон не имеет толщины, описанный способ разбиения подойдет только для плоских поверхностей. Например, для таких задач, как имитация разбивания закаленного стекла или пробитие отверстия в тонкой стенке. Также можно заметить, что отверстия получаются

исключительно прямоугольные или треугольные – согласно форме используемых полигонов.

Обработкой алгоритма создания новых треугольников (в частности, исполнением кода класса Mesh) занимается центральный процессор. При запуске скрипта разбиения возникает проблема: если треугольников слишком много, то в момент детектирования коллизии и построения новых треугольников сцена зависает на мгновение. Это происходит из-за того, что весь код выполняется на основном потоке. Справиться с этим можно при помощи асинхронного режима, т. е. переноса части «тяжелой» логики на отдельный поток. Unity не поддерживает многопоточность для таких операций, как создание и трансформация объектов, – они всегда должны выполняться в основном потоке. С другой стороны, вычисления, связанные с генерацией данных вершин и индексов для треугольников, можно исполнять параллельно.

Библиографический список

1. Документация по использованию расширения Cell Fracture. URL: https://docs.blender.org/manual/nb/3.6/addons/object/edit_linked_library.html (дата обращения: 10.11.2024).
2. Ebeida M., Mitchell S. Uniform Random Voronoi Meshes // Proceedings of the 20th International Meshing Roundtable, IMR 2011. P. 7–15.
3. Документация по использованию библиотек OpenFracture. URL: <https://github.com/dgreenheck/OpenFracture/blob/main/Documentation~/GettingStarted.md> (дата обращения: 10.11.2024).

4. *Guthe M., Balázs Á., Klein R.* GPU-based trimming and tessellation of NURBS and T-Spline surfaces // *ACM Transactions on Graphics*. 2005. Vol. 24. P. 1016–1023.

5. Tessellation Stages. Документация по использованию тесселяции на графическом конвейере версии DirectX 11. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/direct3d11/direct3d-11-advanced-stages-tessellation> (дата обращения: 10.11.2024).

6. Официальная документация Unity, описание класса Mesh. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Mesh.html> (дата обращения: 10.11.2024).

7. Interactive non-photorealistic rendering / R. Alrousan, M. Sh. Sunar, H. Kolivand, H. Alhajhamad // *Jurnal Teknologi*. 2015. Vol. 75.

8. Команды декларативного языка ShaderLab (из документации Unity). URL: <https://docs.unity3d.com/2021.2/Documentation/Manual/SL-Cull.html> (дата обращения: 10.11.2024).

УДК 519.852.33:004.94

Н. Н. Григорьева*

старший преподаватель

Я. Р. Сибатова*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Рассмотрены подходы к формированию оценок стоимостей перевозок в многокритериальных логистических задачах различных типов, использующих матричную модель. Приводится исследование применения различных методов формирования показателей с использованием специально разработанных программных средств.

Ключевые слова: логистическая задача, многокритериальная оптимизация, транспортная модель, определение оптимального решения транспортной задачи.

N. N. Grigoryeva*

Senior Lecturer

Ya. R. Sibatova*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

RESEARCH OF METHODS OF ASSESSMENT FORMING OF THE QUALITY OF TRANSPORTATION PROBLEMS OPTIMUM SOLUTION

Approaches to forming of transportation costs estimates in multiple criteria logistical problems of various types and based on matrix model are considered. The research of application of various methods of criteria forming based on specifically developed software is given.

Keywords: logistical problem, multiple criteria optimization, transportation model, determining of transportation problems optimum solution.

Одной из наиболее распространенных моделей в области логистических задач – от задач организации перевозок и планирования трафика до выработки решений по эффективному распределению каких-либо ресурсов – является модель так называемой транспортной задачи (ТЗ). Методология ее решения в классической постановке опирается на модель в виде транспортной таблицы и имеет проработанные алгоритмы решения, которые включают этапы формирования опорного плана перевозок и его последующей оптимизации [1; 2]. Несмотря на кажущуюся тривиальность классических транспортных задач и проработанность методик их представления и решения в аналитической, матричной и в сетевой формах, широта классов охватываемых данными моделями практических задач делает актуальным исследование разнообразных вариантов ТЗ и приемов их решения [1; 3].

В простейшей постановке ТЗ в качестве целевой функции, описывающей качество найденно-

го решения (плана перевозок) предполагается использование суммарной стоимости перевозок. На практике же оптимальный план перевозок может формироваться на основе существенно большего количества критериев, например времени, затрачиваемого на транспортировку, качества сервиса, надежности поставки, минимизации рисков, выгоды от использования доставленного продукта и т. д. [3]. Таким образом, возникает вопрос о поиске решения в условиях, когда имеется множество частных целевых функций, описывающих различные показатели качества.

Принятая методология решения многокритериальных задач оптимизации предполагает использование одного из типов методов:

- лексикографические (в частности, выделение главного критерия или метод последовательных уступок),
- метод идеальной точки,
- методы свертки (линейная, максиминная, амплитудная) [1; 4].

Лексикографические методы подразумевают в первую очередь предварительный качественный анализ значимости оценок и их ранжирование. Результат оптимизации при таком подходе к решению задачи особенно чувствителен к субъективно установленному порядку значимости критериев. Основанный на таком подходе способ решения многокомпонентной транспортной задачи был представлен С. В. Ивановым и С. В. Никитиным [5]. В рассмотренном примере наиболее значимым критерием был принят показатель качества перевозки (полученный на основе субъективных предпочтений пользователей): в первую очередь полностью загружался канал, который имеет наивысший показатель качества, начиная с наиболее дешевых по стоимости ячеек, причем между равнозначными по стоимости ячейками перевозки распределялись фактически поровну. Затем строится план перевозок для второго по качеству канала и т. д. Как видно, решение в этом случае во многом зависит не только от первоначального волюнтаристского распределения перевозок для первого канала, при этом слабо учитывается стоимостный аспект. Данный метод плохо автоматизируется, у него нет однозначного алгоритма. Проведенное в [6] исследование показало, что получаемая при таком подходе стоимость плана перевозок существенно выше, чем при использовании способа модифицированных оценок.

Более перспективны для определения оптимального плана перевозок методы совмещения критериев, построенные на принципе скаляризации (к ним может быть отнесен и упомянутый способ модифицированных оценок). Рассмотрим порядок формирования обобщенного критерия на примере s -критериальной задачи. Обозначим показатель каждого критерия как f_l при $l = 1, s$.

Начнем со скаляризации методом амплитудной свертки. Для каждого из показателей вводится коэффициент k_l , соответствующий значимости этого показателя при формировании оптимального плана. Как правило, принимает-

ся $\sum_{l=1}^s k_l = 1$ (взвешенное суммирование). Соответственно, обобщенный критерий при линейной свертке имеет вид:

$$f_{\text{Л}} = \sum_{l=1}^s k_l f_l \rightarrow \min. \quad (1)$$

Наиболее гибким и точным методом скаляризации считается метод амплитудной свертки. В этом случае учитывается не только зна-

чимость показателя, но и диапазон его изменения – от $f_{l\min}$ до $f_{l\max}$. При расчете обобщенного критерия f_A так же, как и в методе линейной свертки, могут использоваться коэффициенты значимости k_l , и тогда выражение для расчета принимает вид:

$$f_A = \sum_{l=1}^s k_l \frac{f_l - f_{l\min}}{f_{l\max} - f_{l\min}} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для оптимизации многокритериальных задач применимы методы, основанные на понятии идеальной точки [7]. В нашем случае (двухкритериальная транспортная задача) под идеальной точкой понимается решение, которому соответствуют минимально возможные значения как стоимости плана перевозок, так и времени реализации этого плана. В практических задачах, как правило, подобное состояние (минимум всех показателей) недостижимо. Обобщенным критерием качества решения в этом случае может быть евклидово расстояние от этого решения до идеальной точки. Постольку показатели качества в транспортных задачах имеют различную физическую природу и различный численный масштаб, их следует подвергать нормировке или масштабированию (по аналогии с амплитудной сверткой). При минимизации получаем нормированные значения показателей:

$$f_{lH} = \frac{f_l}{f_l^*}, l = \overline{1, s},$$

где f_l^* – идеальное (в нашем случае минимальное) значение соответствующего показателя; соответственно, в идеальной точке все s показателей f_{lH} равны единице.

После нормализации может быть определен обобщающий критерий $f_{\text{И}}$:

$$f_{\text{И}} = \sqrt{\sum_{l=1}^s (f_{lH} - f_l^*)^2}. \quad (3)$$

Как и в предыдущих случаях скаляризации, при использовании метода идеальной точки могут быть учтены весовые коэффициенты (коэффициенты значимости) различных критериев k_l . В этом случае обобщающий критерий $f_{\text{ИМ}}$ примет вид:

$$f_{\text{ИМ}} = \sqrt{\sum_{l=1}^s k_l^2 (f_{lH} - 1)^2}. \quad (4)$$

Для метода идеальной точки введение коэффициентов значимости позволит избежать неопределенности по существующей области равнозначных результатов – области Парето, вво-

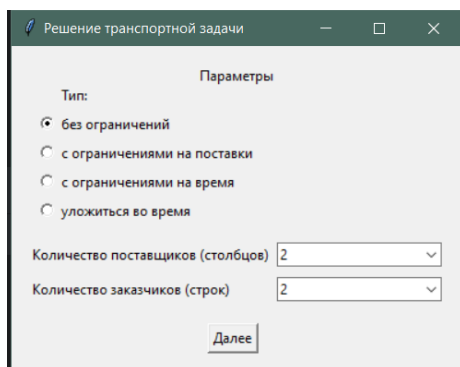


Рис. 1. Стартовое окно (задание параметров транспортной таблицы и типа задачи)

для сравнение с учетом весов при возникновении ситуации равной значимости собственно нормированных показателей.

Для проведения исследования качества формируемых комплексных оценок и создаваемых на их основе решений ТЗ было разработано про-

граммное средство, которое позволяет пользователю задавать не только размер матрицы транспортной таблицы $m \times n$ и стоимости c_{ij} доставки груза из пункта a_i в b_j ($i = 1, m; j = 1, n$). В первую очередь пользователю предлагается возможность выбрать тип задачи и вид ограничений (интерфейс программы представлен на рис. 1).

После этого пользователь может ввести в транспортную таблицу (пример – на рис. 2) необходимые параметры задачи и выбрать необходимые действия.

Для пользователя платформы проверка данных на соответствие действительности должна происходить автоматически. Программа осуществляет контроль введенных данных, при необходимости индицируя соответствующие диагностические сообщения (рис. 3).

Программа позволяет как определить стоимость введенного пользователем плана, так и составить опорный план перевозок и оптимизировать его (пример – на рис. 4).

		B1		B2		S	
A1		0	0	0	0	0	
A2		0	0	0	0	0	
S		0		0			

Рис. 2. Пример сформированной по запросу транспортной таблицы

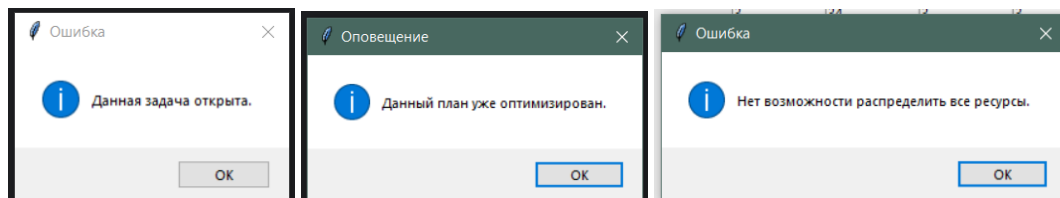


Рис. 3. Примеры уведомлений по результатам проверки вводимых данных

		B1		B2		B3		B4		S	
A1		30	34	3	3	12	74	12	74	57	
A2		34	5	45	67	26	12	64	76	32	
A3		64	11	90	29	68	61	22	26	90	
A4		74	89	64	22	26	90	62	26	9	
S		67		87		22		12			

Рис. 4. Опорный и оптимизированный планы перевозок для задачи с ограничениями на пропускную способность

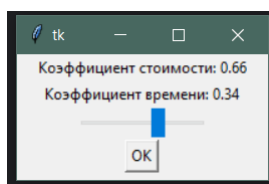


Рис. 5. Настройка коэффициентов значимости оценок

Для проведения экспериментов на моделях ТЗ, использующих два критерия, предусмотрена возможность устанавливать коэффициенты значимости используемых оценок (как это показано на рис. 5).

С использованием описанного программного средства были проведены генерация случайных транспортных таблиц различной размерности и исследование влияния выбранного метода получения комплексной оценки перевозок на качество полученного решения. Анализируются модели сбалансированных ТЗ без ограничений, в которых требовалось учитывать два критерия оценки – стоимость и время перевозки (оба показателя минимизируются). Рассматривались следующие методы формирования комплексных оценок качества:

- линейная свертка (1),
- амплитудная свертка с масштабированием (2),

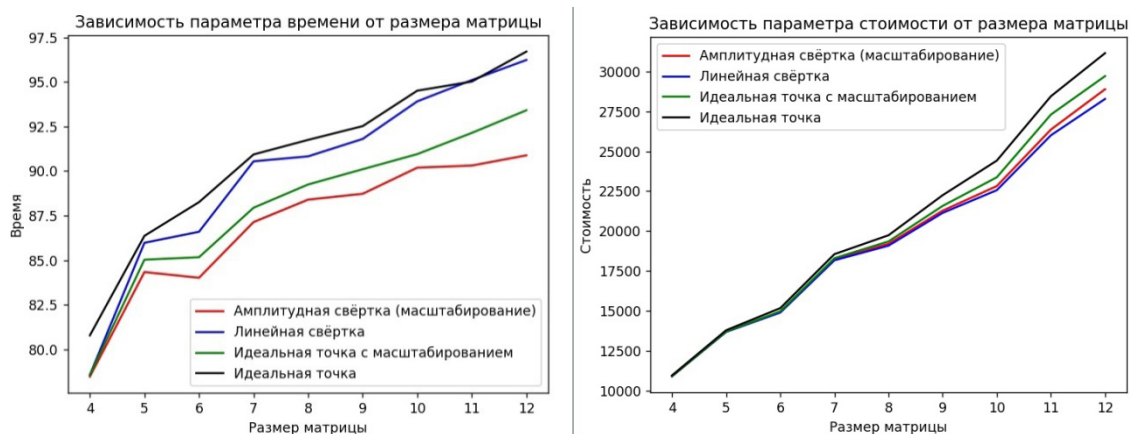


Рис. 6. Влияние метода формирования оценки на качество решения по параметру времени и по параметру стоимости

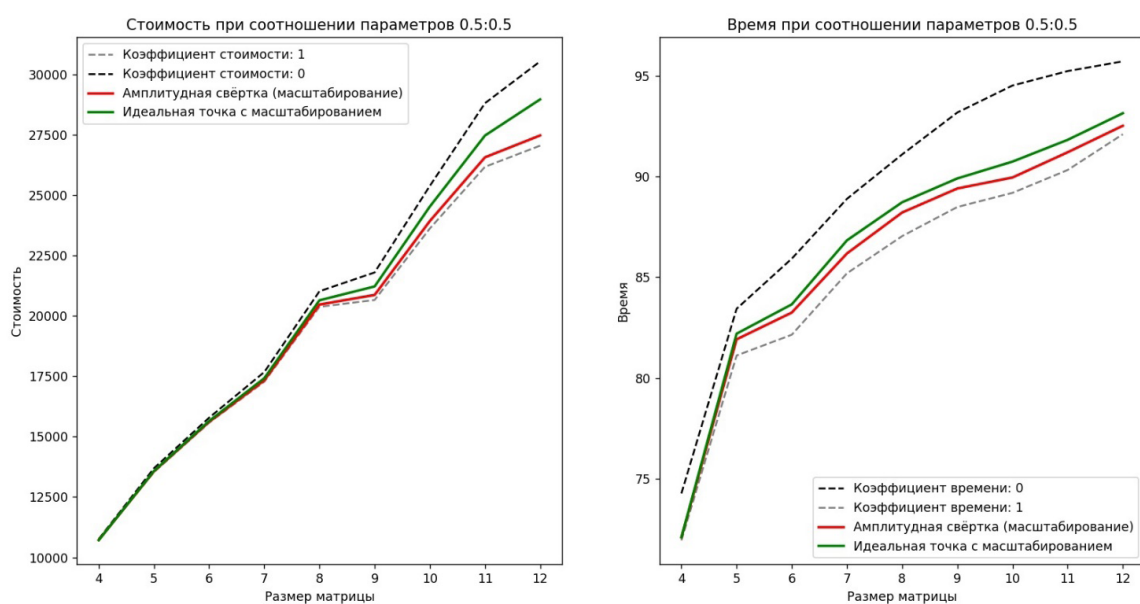


Рис. 7. Влияние коэффициентов значимости показателей на качество решения по параметру стоимости и по параметру времени

- метод идеальной точки (3),
- метод идеальной точки с масштабированием (4).

Полученные результаты частично представлены на рис. 6–8.

Как видно по графикам на рис. 6, использование обобщенной оценки, полученной методом идеальной точки, дает худшие результаты при решении задачи оптимизации транспортной таблицы. По параметру времени выполнения плана перевозок наибольший интерес представляют методы амплитудной свертки с масштабированием и идеальной точки с масштабированием. Для этих методов были получены графики, с помощью которых можно оценить влияние коэффициентов значимости на полученные результаты оптимизации (рис. 7).

В результате анализа графиков, приведенных на рис. 7, можно сделать вывод о том, что в случае равноценности коэффициентов значимости частных показателей ($k_1 = k_2 = 0,5$) результаты оптимизации лучше при использовании амплитудной свертки с масштабированием, причем эти результаты даже при $k = 0,5$ близки к результату, получаемому без учета второго фактора.

Была также проведена оценка времени, затрачиваемого на оптимизацию исходной транспортной таблицы различными методами, соответствующие результаты приведены на рис. 8.

Как видно, для рассмотренных относительно небольших транспортных таблиц время решения задачи оптимизации не принципиально отличается при использовании изучаемых методов, но с учетом того, что полученные характеристики имеют характер показательной функции, следует сделать вывод о том, что для

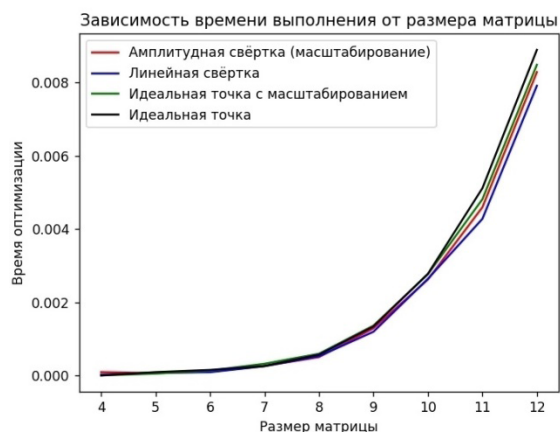


Рис. 8. Влияние метода формирования оценки и размерности транспортной таблицы на время расчета оптимизированного плана

Рейтинги методов по исследованным показателям

Метод формирования оценки / показатели	Линейная скаляризация	Амплитудная свертка с масштабированием	Метод идеальной точки	Метод идеальной точки с масштабированием
Время выполнения оптимального плана	3	1	4	2
Стоимость оптимального плана	1	2	4	3
Время, затрачиваемое на оптимизацию	1	2	4	3
Оценка f_L при равенстве k_i	1,67	1,67	4	2,67

ТЗ большой размерности меньших временных затрат требуют методы линейной и амплитудной свертки.

Полученные в результате компьютерного эксперимента показатели в свою очередь могут быть оценены с использованием описанных методов. Представим результаты в таблице, указав для каждого из методов место в рейтинге по каждому из показателей.

Для сравнения качества методов, с учетом того, что диапазон оценок по всем показателям один и тот же, можно использовать простейший метод линейной скаляризации. Если все показатели для нас равнозначны, т. е. $k_1 = k_2 = k_3 = 1/3$, можно сделать вывод, что лучшими методами формирования обобщенных оценок являются метод линейной скаляризации и амплитудной свертки с масштабированием. Если временные затраты не существенны, лучшие результаты при оптимизации дает метод амплитудной свертки с масштабированием.

Библиографический список

1. Таха Хемди А. Исследование операций: пер. с англ. 10-е изд. СПб.: Диалектика, 2018. 1056 с.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Дрофа, 2004. 208 с.
3. Габасов Р., Кириллова Ф. М. Методы линейного программирования. Ч. 2: Транспортные задачи. М.: ЛИБРОКОМ, 2018. 240 с.
4. Гармаш А. Н., Орлова И. В., Федосеев В. В. Экономико-математические методы и прикладные модели / под ред. В. В. Федосеева. М.: Юрайт, 2014. 328 с.

5. *Иванов С. В., Никитин С. В.* Двухкомпонентная логистическая модель интегральной транспортной задачи // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2010. № 2 (12). С. 66–76.

6. *Клычкова Е. А.* Анализ многокомпонентной транспортной задачи // Семьдесят вторая международная студенческая научная конференция ГУАП:

сб. докл.: в 4 ч. Ч. 2. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2019. С. 125–128.

7. *Журавлев В. А.* Применение метода «идеальной точки» и учет рисков при выборе лучших проектов. URL: <https://interactive-plus.ru/e-articles/512/Action512-474744.pdf> (дата обращения 29.11.2024).

УДК 599.53

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-21-27

Н. А. Данилов

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АВТОНОМНЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БИОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В связи с развитием технологий подводной связи широкое распространение получили способы широкополосного наблюдения акустических сигналов в водной среде. Цель данного исследования – разработка новых гидроакустических методов наблюдения эхолокации и коммуникации с помощью разработанного автономного широкополосного многоканального усилителя с цифровым управлением. Управление устройством реализовано на базе встраиваемого мини-ПК по USB-каналу и с помощью удаленного компьютера.

Ключевые слова: малошумящий широкополосный усилитель гидроакустических сигналов, программное управление, сигналы эхолокации, гидробионт.

N. A. Danilov

PhD, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

OFF-LINE MULTI-CHANNEL AMPLIFIER WITH DIGITAL CONTROL FOR BIO-ACOUSTIC SIGNAL RECORDING

Due to the development of underwater communications technologies, broadband methods for observing acoustic signals in the aquatic environment have become widely available. The aim of this study is to develop new hydroacoustic methods of echolocation observation and communication using a developed autonomous broadband multi-channel amplifier with digital control. The control of the device is realized on the basis of a built-in mini PC via USB channel and with the help of a remote computer.

Keywords: low-noise broadband amplifier of hydroacoustic signals, software control, echolocation signals, hydrobiont.

Введение

Широкополосные системы пассивного акустического мониторинга необходимы для исследования биоакустической активности животных в различных районах мирового океана с возможностью идентификации по видовому и внутривидовому разнообразию [1; 2]. В настоящее время исследование коммуникационных способностей морских млекопитающих требует разработки специального оборудования: гидрофонов, многоканальных усилителей и систем длительной регистрации биоакустических сигналов. Предварительные исследования показывают, что эхолокационные и коммуникационные сигналы морских животных [1] могут располагаться в полосе частот от десятков Герц и до 200 кГц, а возможно и более.

В [3] рассматривается лабораторный экземпляр трехканальной системы регистрации с верхней границей полосы пропускания более 200 кГц. Опыт эксплуатации такой системы показал, что информация о коммуникативных сигналах морских животных может быть искаженной вследствие ограниченной полосы пропускания сверху и довольно высокого уровня шума в области низких частот. Результаты предварительных изысканий – примеры ультракоротких широкополосных импульсов гидробионтов во временной и частотной областях – представлены на рис. 1.

Поэтому основными целями разработки усилителя являются: обеспечить усиление сигнала в диапазоне от 0 до 60 дБ при минимальном уровне выходных шумов и нелинейных искажений в широкой полосе частот, но не более 1 МГц; работа всей системы регистрации биоакустиче-

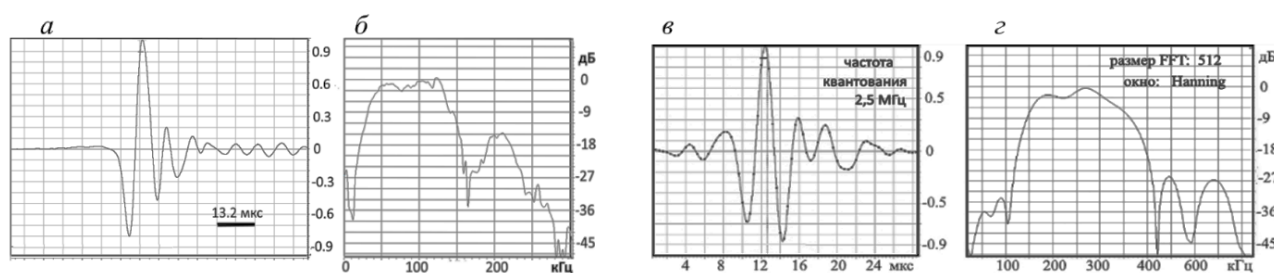


Рис. 1. Осциллограмма и спектральная плотность биполярных ультракоротких широкополосных импульсов дельфинов: а – временная структура импульса афалины; б – спектральная плотность мощности импульса афалины; в – временная структура импульса белухи; г – спектральная плотность мощности импульса белухи

ских сигналов должна производиться автономно.

Материалы и методы

Автономность обеспечивается за счет применения в схеме питания системы аккумуляторных батарей и установки параметров усиления (коэффициент усиления и полоса пропускания) удаленно по радиоканалу. Качество биоакустических сигналов (отсутствие подводных шумов, искажений) может оцениваться на слух с использованием стандартной беспроводной колонки или наушников Bluetooth. Структурная схема усилителя представлена на рис. 2.

Входной каскад выполнен с применением метода дифференциального усиления сигнала с использованием двух операционных усилителей (ОУ). В него добавлена схема вычитания постоянной составляющей входного сигнала. Далее следует каскад ослабления сигнала (АТТ), он может быть полезен в случае, если амплитуда входного сигнала слишком велика. Величина ослабления устанавливается дискретно и может принимать одно из 8 значений. Следующим каскадом является основной каскад уси-

ления сигнала (Ос.Ус). Он выполнен на ОУ с высокой скоростью нарастания выходного сигнала ($80 \div 100$ В/мкс), имеет дискретный ряд установки коэффициента усиления из четырех значений. После основного усилителя сигнал поступает на фильтр высоких частот (ФВЧ) второго порядка. ФВЧ имеет четыре дискретных входа для установки нижнего значения полосы пропускания устройства. Далее сигнал поступает на дополнительный каскад усиления (До.Ус.), реализованный на ОУ с дискретным переключением коэффициента усиления, который может принимать одно из 8 значений. Максимальное суммарное усиление двух каскадов достигает величины 60 дБ. После усиления сигнал проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ) второго порядка. ФНЧ имеет дискретный вход для установки одной из четырех возможных величин верхней границы полосы пропускания устройства.

Для согласования по напряжению со входом модуля АЦП аналого-цифрового преобразователя (АЦП) предусмотрен выходной каскад (Вых.Каск.). В работе был использован модуль АЦП E20-10 компании L-CARD и были выполнены рекомендации по согласованию вхо-

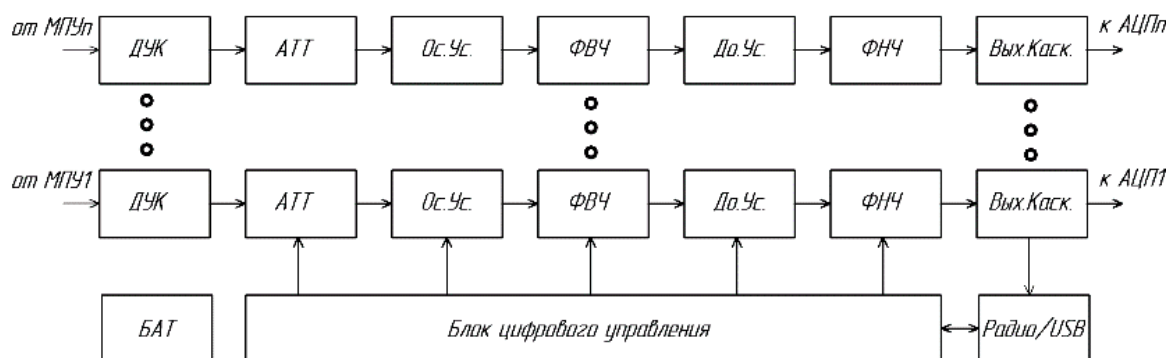


Рис. 2. Структурная схема усилителя

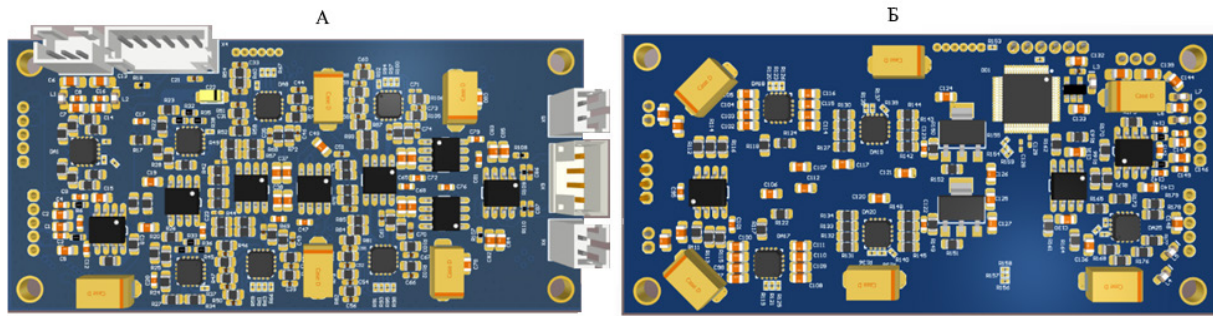


Рис. 3. Модель печатного узла двухканального усилителя: А – верхний слой с установленными компонентами, Б – нижний слой с установленными компонентами

да АЦП с выходом целевого устройства, приведенные в [4]. Кроме этого, сигнал с выхода через повторитель напряжения подается на звуковой вход специализированного радиомодуля с поддержкой протокола беспроводной связи Bluetooth. Стек A2DP протокола Bluetooth позволяет передавать высококачественный стереозвук на расстояние до 30 м. Блок цифрового управления (БЦУ) принимает команды через шину USB или по беспроводному интерфейсу с использованием стека RFCOMM протокола Bluetooth. В соответствии с принятой командой выполняется установка параметров работы блока в структурной схеме на рис. 2.

Элементарным модулем для построения многоканального широкополосного усилителя является двухканальный усилитель. Этому способствует наличие двух беспроводных каналов для передачи стереозвука, наличие широко распространенных сдвоенных интегральных микросхем (ИМС) ОУ, приемлемые размеры печатной платы (80×40 мм) и, соответственно, печатного узла электронного технического изделия. Элементарный двухканальный усилительный модуль реализован на отдельной пе-

чатной плате. Модуль может быть отдельным двухканальным усилителем или входить наравне с другими такими же модулями в многоканальный усилитель. Многоканальный широкополосный усилитель реализуется посредством набора и соединения заданного количества двухканальных модулей в одном корпусе. Такое решение позволяет упростить технологию сборки и отладки конечных устройств. Печатная плата элементарного модуля выполнена с использованием техники проектирования малощумящих усилительных цепей. Трехмерная модель двухканального печатного узла усилителя представлена на рис. 3.

С целью управления параметрами усилителя разработано специальное приложение для работы в удаленном режиме с ОС Windows: включение/выключение усилителя, контроль источников питания, контроль и управление коэффициентом усиления каждого канала, управление частотными характеристиками каждого канала в отдельности, контроль прослушивания среды работает с удаленным динамиком по каналу Bluetooth. Одновременно можно прослушивать один или два любых канала (рис. 4).

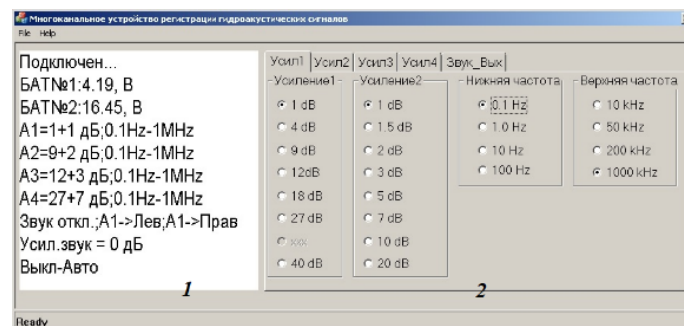


Рис. 4. Окно приложения управления параметрами усилителя: 1 – отображение текущих параметров работы усилителя; 2 – страница параметров для установки коэффициента усиления и полосы пропускания

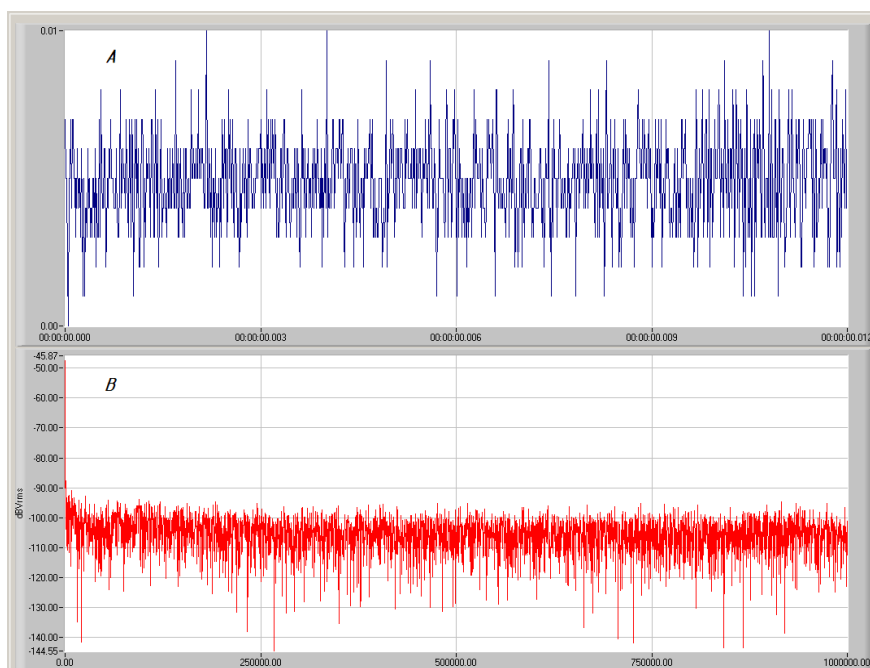


Рис. 5. Выходной сигнал усилителя при минимальном усилении (2 дБ) и при короткозамкнутом входе: А – форма сигнала на выходе во временной области; В – спектр выходного сигнала, частота дискретизации АЦП 5 МГц

Информация обо всех установленных параметрах усилителя считывается и обновляется на экране каждые 500 мс.

В результате работы был разработан 4-канальный усилитель со следующими параметрами: входное сопротивление 50 кОм, вход-

ная емкость не более 4 пФ, нижняя частота полосы пропускания не более 1 Гц, верхняя частота полосы пропускания не менее 750 кГц, максимальное усиление не менее 60 дБ.

На рис. 5 представлен выходной сигнал (во временной и частотной областях) усилителя,

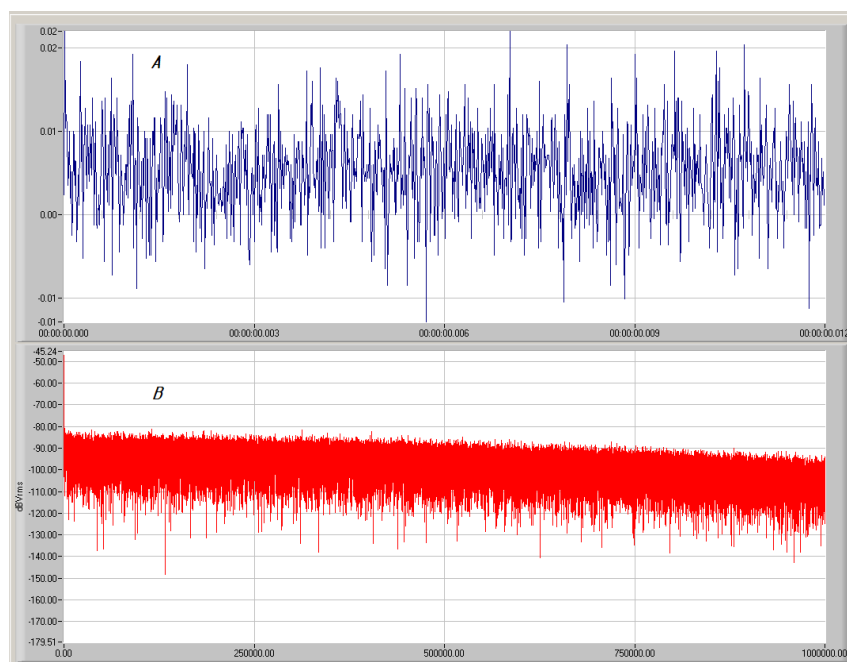


Рис. 6. Выходной сигнал усилителя при максимальном усилении (60 дБ) и при короткозамкнутом входе: А – форма сигнала на выходе во временной области; В – спектр выходного сигнала, частота дискретизации АЦП 5 МГц

оцифрованный АЦП E20-10 при минимальном усилении 2 дБ. В соответствии с рис. 5 совместная оценка уровня шума АЦП и усилителя приблизительно равна -100 dBVrms. В соответствии с рис. 6 совместная оценка уровня шума АЦП и усилителя составляет -85 dBVrms.

Сравнение рис. 5 и 6 показывает, что усилитель может использоваться для работы с данным АЦП, так как шум усилителя, приведенный ко входу (во всей полосе рабочих частот), не выше собственного шума АЦП E20-10. Оценка нелинейных искажений на частоте 100 кГц при амплитуде входного сигнала 1 В (2 В от пика до пика) составляет -70 дБ. Оценка проникновения сигнала с канала на канал при амплитуде входного сигнала 3 В (6 В от пика до пика) находится ниже уровня -72 дБ.

Для согласования высокого выходного сопротивления пьезокерамического первичного преобразователя (датчика) с относительно низким входным сопротивлением усилителя дополнительно используется предусилитель. Типовая принципиальная схема предусилителя представлена на рис. 7. Данная схема рекомендована производителем ИМС LT1113 для проектирования маломощных устройств [5].

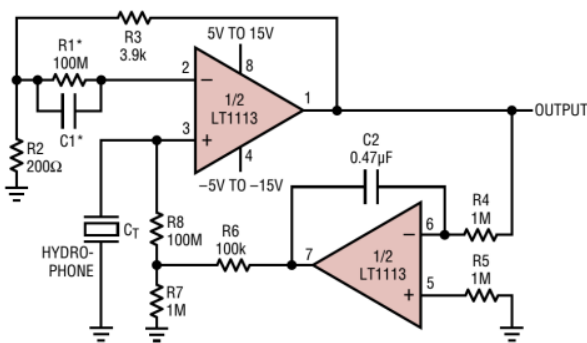


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема предусилителя

Входное сопротивление предусилителя не менее 100 МОМ; входная емкость не более 100 пф (подбирается под конкретный первичный преобразователь); коэффициент усиления равен 26 дБ; напряжение питания составляет ± 7 В, что позволяет полностью использовать динамический диапазон АЦП E20-10 ± 3 В.

Выходной каскад предусилителя реализован по схеме с дифференциальным выходом по аналогии с выходом маломощного гидрофона TC4032 компании Teledyne Reson [6]. Значения емкостей в выходном каскаде предусилителя совместно с входным сопротивлением усилителя позволяют получить нижнюю границу полосы пропускания на уровне 0,5 Гц.

Обсуждение

Как показали контрольные измерения регистрирующего тракта, полоса частот шириной 200 кГц недостаточно полно отображает сигналы гидробионтов. Контрольные измерения в условиях открытой воды, проведенные на ките белухе, показали это достаточно убедительно (рис. 8). Спектр сигналов при ширине тракта записи не более 200 кГц теряет высокочастотные составляющие [7], что приводит к трудностям в трактовке результатов экспериментов.

В качестве примера приведем осциллограмму последовательности импульсов кита (рис. 8), записанной с помощью полевого варианта комплекса регистрации. Средняя величина интервала между импульсами составляет 20 ± 2 мс (рис. 8, а). График изменения интервала между экстремумами в зависимости от номера импульса по порядку представлен на рис. 8, б. Максимальный интервал составляет 2,9 мкс, импульс № 19, а минимальный интервал – 2,3 мкс, импульс № 11 (рис. 8, б), что соответствует максимуму спектральной плотности мощности на частоте 172 кГц и ширине основ-

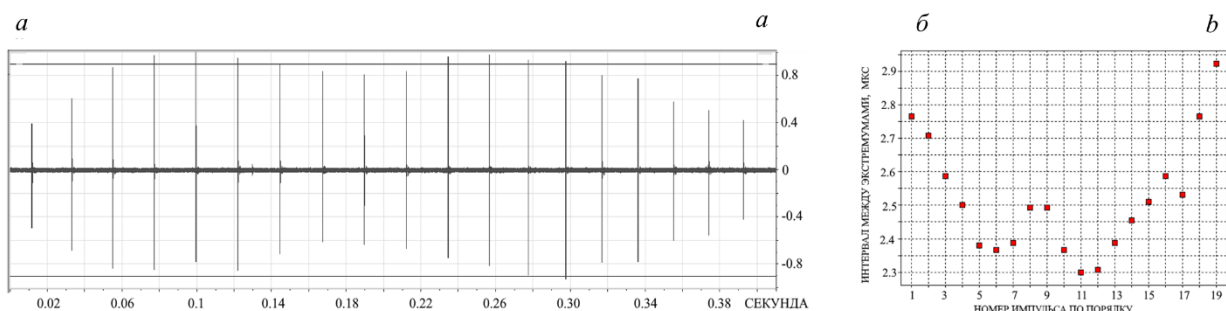


Рис. 8. Осциллограмма последовательности 19 импульсов белухи; а – осциллограмма длительностью 400 мс; б – зависимость интервала между экстремумами от номера импульса по порядку, мкс

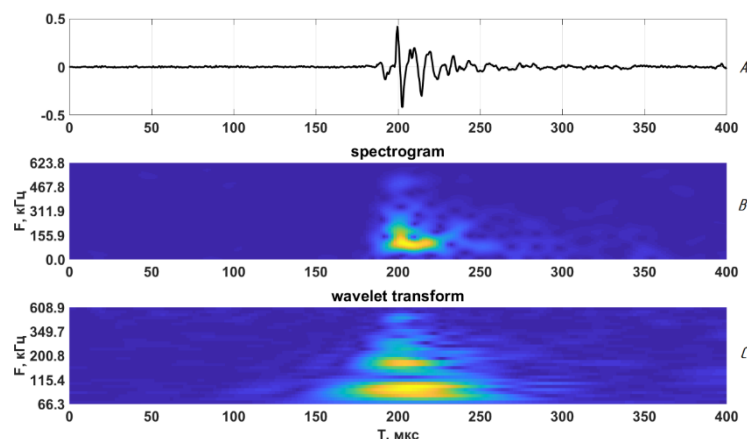


Рис. 9. Частотно-временное представление для импульса № 19:
А – форма во временной области, В – спектрограмма, С – вейвлет-преобразование

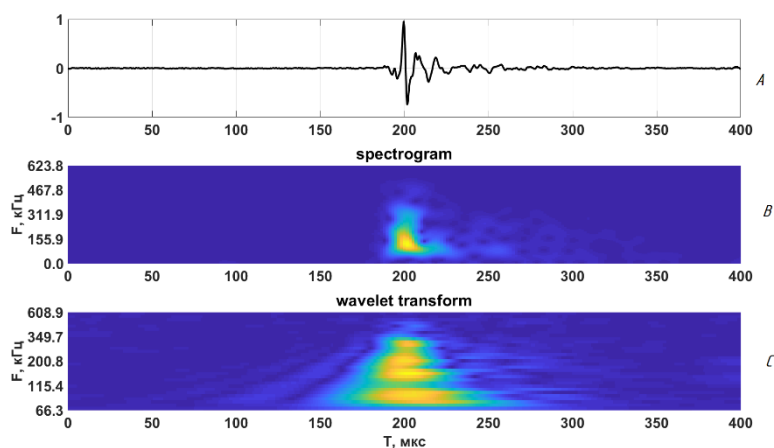


Рис. 10. Частотно-временное представление для импульса № 11:
А – форма во временной области, В – спектрограмма, С – вейвлет-преобразование

ного лепестка 234 кГц, а также 217 кГц и ширине 434 кГц соответственно. На рис. 9 и 10 представлены подробная форма во временной области, спектрограмма и вейвлет-преобразование соответственно для импульсов № 19 и 11.

Анализ графиков в дополнение к анализу расстояния между экстремумами (в особенности вейвлет-преобразования) на рис. 9, 10 показывает, что верхняя граница частотного диапазона гидробионта также может находиться выше частоты 200 кГц. Так, на рис. 10 видно, что максимальная частота находится в окрестности 350 кГц, а минимальная – в районе 80 кГц. В то же время для большинства сигналов [1; 2] при регистрации всеми исследователями в полосе до 200 кГц интервал между экстремумами составляет 5 мкс, что соответствует максимуму спектральной плотности мощно-

сти на частоте 100 кГц и ширине основного лепестка 200 кГц, т. е. ширина основного лепестка спектральной плотности мощности соответствует ширине полосы частот тракта регистрации. Таким образом, несоответствие между шириной полосы излучаемых сигналов гидробионтов и шириной полосы тракта регистрации приводит к искажению регистрируемых сигналов, а соответственно и трактовки результатов измерений. Поэтому разработанный автономный широкополосный многоканальный усилитель позволит регистрировать биоакустические сигналы с минимальными искажениями для последующего качественного анализа. При регистрации протокола измерений запись голоса оператора проводится либо на один из каналов АЦП, либо на мини-ПК через микрофонный/линейный вход с пе-

редачей данных по каналу Bluetooth. Частота квантования АЦП зависит от количества включенных каналов. Например, при частоте 10 МГц обслуживается 1 канал, а при включении 4 каналов частота квантования снижается до 2,5 МГц на канал. Сбор информации происходит на цифровой носитель, а управление усилителем происходит удаленно с помощью установленного программного обеспечения на встроеном мини-ПК (платформе) типа fit-PC или Intel NUC. Таким образом, комплекс (гидрофоны, усилитель, АЦП и мини-ПК) является автономным устройством, обладает отсутствием внешних переключателей и разъемов, кроме разъемов на предусилители, источник питания и управления параметрами – USB.

Заключение

Широкая полоса частот сквозного тракта делает этот комплекс идеально подходящим для регистрации сигналов гидробионтов, а многоканальность позволяет идентифицировать объект эхолокации и/или коммуникации. Длительность регистрации зависит от емкости аккумуляторов, частоты квантования, емкости устройства хранения информации, количества задействованных каналов, количества включенных приборов АЦП. Каждый канал усилителя и АЦП имеет независимую регулировку параметров. При использовании функции внешней синхронизации приборов E20-10 (АЦП) количество каналов регистрации увеличивается, а их расположение, разнесенное по пространству

наблюдения с широкополосными усилительными каналами, становится более выгодным и реализуемым для регистрации сигналов гидробионтов в естественной среде обитания.

Библиографический список

1. Listening in the Ocean / eds.: W.W.L. Au, M. O. Lammers. N. Y.: Springer, 2016. 416 p.
2. Indo-Pacific humpback dolphin occurrence north of Lantau Island, Hong Kong based on year-round passive acoustic monitoring / L. M. Munger, M. O. Lammers, M. Cifuentes [et al.] // J. Acoust. Soc. Am. 2016. Vol. 140. P. 2754–2765.
3. Аprobация лабораторного макета регистрации сигналов дельфинов с расширенной полосой частот сквозного тракта / М. П. Иванов, С. Н. Бутов, Л. Е. Леонова [и др.] // Акустический журнал. 2019. Т. 65, № 5. С. 699–707.
4. E20-10 быстродействующий внешний модуль ввода-вывода на шину USB 2.0. URL: <https://www.lcard.ru/products/external/e20-10> (дата обращения 23.11.2024).
5. LT1113 datasheet. URL: <https://www.analog.com/en/products/lt1113.html> (дата обращения 01.02.2022).
6. RESON Hydrophones. URL: <http://www.teledynemarine.com/reson-tc-4032?ProductLineID=48> (дата обращения 01.02.2022).
7. Иванов М. П., Родионов А. А., Стефанов В. Е. Возможности сверхширокополосных систем наблюдения на примере исследования природного сонара зубатых китов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. № 13(4). С. 100–120.

УДК 004.4

М. В. Загураева*

старший преподаватель

Д. Н. Сигачева*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ЭМПАТИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНОЙ СТУДИИ ГУАП

Рассмотрен процесс создания карты эмпатии для пользователей веб-приложения творческой студии МУЗГУАП на основе результатов опроса фокус-группы, которая включает руководителей, администраторов, кураторов направлений, студентов студии и аудиторию творческого объединения. На основании проведенного опроса разработана карта эмпатии, состоящая из четырех квадрантов, в каждом из которых зафиксированы ожидания пользователей при использовании веб-приложения.

Ключевые слова: карта эмпатии, портрет пользователя, дизайн-мышление, UX-дизайн.

M. V. Zaguraeva*

Senior Lecturer

D. N. Sigacheva*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

BUILDING AN EMPATHY MAP TO CREATE AN INTERFACE FOR A WEB APPLICATION FOR THE SUAI MUSIC STUDIO

The article discusses the process of creating an empathy map for users of the web application of the creative studio MUZGUAP based on the results of a focus group survey, which includes managers, administrators, curators of directions, students of the studio and the audience of the creative association. Based on the survey, an empathy map was developed, consisting of four quadrants, each of which records user expectations when using a web application.

Keywords: empathy map, user portrait, design thinking, UX design.

Введение

Создание специализированного веб-приложения для творческой студии МУЗГУАП является актуальной задачей, поскольку на данный момент отсутствуют эффективные решения для отображения информации о репетициях студийцев, фото- и видеоконтент размещен на разных площадках, хранение нотных материалов предусмотрено только на бумажных носителях. Сохранение архивов имеющихся документов, перевод их в цифровой вид и создание нового цифрового контента, доступ к которому будет осуществлен посредством интернета, повысят привлекательность музыкальной студии. Проектирование интерфейса и определение функционала веб-приложения необходимо проводить на основе UX-дизайна (User Experience) и UX-исследований [1].

Методы UX-исследований

Рассмотрим методы UX-исследований, которые помогают понять и выявить потребности пользователей при взаимодействии с веб-приложением.

1. Персоны (User Personas) – вымышленные профили, основанные на данных исследования пользователей. Персоны представляют собой типичных пользователей и описывают их демографические характеристики, цели, потребности, поведение, предпочтения и мотивацию [2]. Для использования метода исследователь анализирует данные из интервью, опросов и фокус-групп. Собранные сведения обобщаются в виде профиля с фотографией, именем, биографией и основными характеристиками. Метод удобен для визуализации целевой аудитории и помогает разработчикам сосредоточиться на конкретных группах пользователей. Но он

ограничивает разнообразие персон, представляя обобщенный образ, а также при недостаточности данных может основываться на предположениях и стереотипах.

2. Карты пользовательских путей (Customer Journey Map) – визуальное представление шагов, которые проходит пользователь при взаимодействии с продуктом или услугой. Показывают возможные формы контакта пользователя с цифровым продуктом, выявляет болевые точки и возможности для улучшения продукта. Создание карты пользовательских путей включает анализ действий пользователей, информацию о которых получают на основе интервью и наблюдений [3]. Карты помогают выявить точки проблем в процессе взаимодействия и позволяют увидеть опыт пользователя целиком с фокусировкой на когнитивных и эмоциональных аспектах.

3. Контекстное наблюдение (Contextual Inquiry) – метод исследования, при котором исследователь наблюдает за пользователем и взаимодействует с ним для получения данных о поведении и предпочтениях. Позволяет получить реальные данные о поведении пользователей, выявляет скрытые потребности и проблемы, которые пользователи могут не осознавать [4].

4. Карта эмпатии (Empathy Map) – метод, используемый для более глубокого понимания потребностей, ощущений, целей и проблем пользователей, применение которого позволяет разрабатывать веб-приложения, ориентированные на группу пользователей. Это визуальное представление данных о пользователе, которое помогает разработчикам понять эмоциональные и когнитивные аспекты взаимодействия пользователей с продуктом [5].

Карта эмпатии состоит из четырех квадрантов, каждый из которых отражает отдельный аспект опыта пользователя: «что думает и чувствует», «что видит», «что слышит», «что говорит и делает». Для ее создания собирают качественные данные на основе результатов интервью, опросов фокус-группы или анкетирования целевой аудитории. На основе этих данных составляются заметки, которые группируются по темам, что позволяет глубже понять и синтезировать потребности и ожидания пользователей при использовании веб-приложения.

Выбор карты эмпатии как основного инструмента анализа в данном исследовании обусловлен тем, что она позволяет глубже понять мысли, чувства, мотивацию группы пользователей. Это особенно важно при разработке веб-приложения для творческой студии МУЗГУАП, где важную роль играют эмоции и субъективное восприятие пользователями информации и функционала сайта.

Описание фокус-группы

Для анализа потребностей целевой аудитории веб-приложения студии МУЗГУАП была сформирована фокус-группа, включающая различные категории пользователей.

Руководители – сотрудники, принимающие ключевые решения, координирующие работу студии и обеспечивающие взаимодействие с университетом и партнерами.

Администраторы – лица, отвечающие за планирование мероприятий, составление расписания, документацию и техническую поддержку.

Кураторы направления – лица, курирующие отдельные музыкальные направления, отвеча-



Рис. 1. Результаты опроса фокус-группы по формированию информационной структуры веб-приложения

ющие за набор первокурсников и проведение мастер-классов.

Студенты студии – учащиеся, активно участвующие в творческой жизни студии, концертах и конкурсах.

Аудитория – зрители мероприятий студии, включая студентов и внешних гостей.

Выпускники – бывшие студенты, поддерживающие связь со студией и делящиеся опытом с текущими участниками.

В опросе приняли участие 34 чел. из всех выделенных категорий, которые помогли сформировать требования к разработке веб-программы. Результаты одного из вопросов опроса показаны на рис. 1.

Построение карты эмпатии пользователей студии МУЗГУАП

На основе данных, полученных в ходе опроса фокус-группы, была составлена карта эмпатии, в которой представлены ожидания пользователей от использования интерфейса и функционала веб-приложения творческой студии (рис. 2). Далее проведена группировка результатов опроса по 4 квадрантам.

Первый квадрант. Что думает и чувствует.

1. Потребность в удобстве и доступности: пользователи хотят, чтобы приложение было

удобным и обеспечивало легкий доступ к актуальной информации.

2. Чувство вовлеченности: они стремятся быть частью студии, чувствовать себя частью творческой и образовательной среды.

3. Ценность времени: особенно для администраторов и руководителей важно экономить время и оптимизировать процессы управления и организации мероприятий.

Второй квадрант. Что видит.

1. Информация о студии: ожидается наличие таких разделов, как структура студии, расписание занятий и информация о предстоящих мероприятиях.

2. Фото- и видеоконтент: наличие галереи с фото- и видеоматериалами студии также – один из востребованных разделов для всех категорий пользователей.

3. Внеучебная жизнь: пользователи хотят видеть информацию о творческой жизни студии за пределами стандартных занятий.

Третий квадрант. Что слышит.

1. Отзывы и рекомендации от участников: администраторы и кураторы получают обратную связь о мероприятиях и учебных процессах от участников студии.

2. Интерес к новым проектам: зрители и студенты обсуждают предстоящие концерты и мероприятия, делятся впечатлениями и новостями.



Рис. 2. Карта эмпатии

3. Требования руководителей: руководители студии передают информацию об ожиданиях и новых задачах, что актуально для администраторов и кураторов.

Четвертый квадрант. Что говорит и делает.

1. Обсуждение графика мероприятий: администраторы активно обсуждают расписание репетиций, концертов и других мероприятий.

2. Поддержка студии и нововведений: руководители и кураторы выражают заинтересованность в улучшении работы студии, тогда как студийцы активно обсуждают внеучебные проекты и творческие планы.

3. Потребность в обратной связи: студийцы и кураторы хотят иметь возможность оставлять отзывы и комментарии, обсуждать творческое развитие и получать поддержку от других участников.

Заключение

Карта эмпатии, созданная на основе опроса фокус-группы, показывает ключевые потребности и ожидания целевой аудитории веб-приложения творческой студии МУЗГУАП. Благодаря этому инструменту дизайн-мышления определены важные для пользователей разделы информационной структуры веб-

приложения. На основе результатов исследования будет спроектирован пользовательский интерфейс веб-приложения, реализованы функциональное наполнение и решены задачи, способствующие улучшению организации творческой деятельности студии и доступа к информации о ее деятельности.

Библиографический список

1. Волков И. И. Эффективность использования карты эмпатии при поиске целевой аудитории. Ч. 1. Ставрополь: Параграф, 2022. С. 392–396.
2. Броян И. В., Огнева Н. Ф. Инструменты эмпатии дизайн-мышления // Бизнес. Образование. Право. 2022. № 2(59). С. 82–87.
3. Божук С. Г., Юн Е. Л., Огородникова П. Н. Построение карты пользовательского пути с учетом факторов поведения потребителей // Экономика и предпринимательство. 2017. № 12-1(89). С. 555–558.
4. Медведева Ю. О. Использование социальных сетей для определения психологического портрета личности. М.: Интернаука, 2020. Т. 5. С. 85–88.
5. Gibbons S. Empathy Mapping: The First Step in Design Thinking // Nielsen Norman Group. URL: <https://www.nngroup.com/articles/empathy-mapping/> (дата обращения: 05.11.2024).

УДК 621.317.353

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-32-35

В. И. Исаков*

кандидат технических наук, доцент

Р. А. Коваленко*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

КОНТИНУАЛИЗАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены алгоритмы обработки радиолокационных сигналов, отраженных от земной поверхности, позволяющие повысить качество радиолокационных изображений местности за счет сплайновой аппроксимации мощностей принимаемых эхосигналов.

Ключевые слова: земная поверхность, зондирующий сигнал, эхосигнал, малогабаритная бортовая РЛС, сплайн-аппроксимация.

V. I. Isakov*

PhD, Tech., Associate Professor

R. A. Kovalenko*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CONTINUITY OF RADAR DIGITAL IMAGES OF THE EARTH'S SURFACE

Algorithms for processing radar signals reflected from the earth's surface are considered, which make it possible to improve the quality of radar images of the terrain due to spline approximation of the power of received echo signals.

Keywords: ground surface, sounding signal, echo signal, small-sized airborne radar, spline approximation.

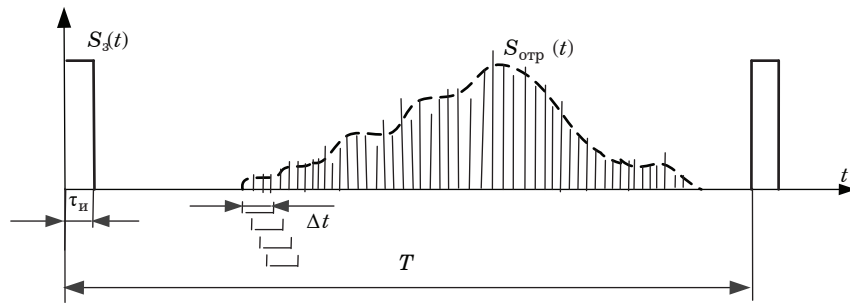
Картографирование земной поверхности радиолокационными средствами с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных малогабаритными РЛС, позволяет полностью автоматизировать процесс получения цифровых карт местности. Кроме того, подобное картографирование практически не зависит от погодных условий, что делает его фактически универсальным методом получения цифровых карт. Однако, как отмечено в работе [1], этот метод имеет и недостатки, заключающиеся в том, что точность воспроизведения карт в сильной степени зависит от разрешающей способности бортовой аппаратуры БПЛА, которая может оказаться недостаточной для детализации изображений.

Рассмотрим возможности повышения качества радиолокационных изображений местности за счет усложнения алгоритмов обработки принимаемых эхосигналов. Отметим, что повышение качества изображений земной поверхности при недостаточной разрешающей способности бортовой РЛС БПЛА, может быть достигнуто только за счет аппроксимации принимаемых

сигналов, которая в данном случае фактически сводится к континуализации принимаемых отсчетов огибающей. При этом, естественно, всегда присутствует ошибка аппроксимации, которую, собственно, и надо минимизировать [2].

На рис. 1 схематически изображен зондирующий сигнал $S_z(t)$ в виде импульсов длительностью τ_n , следующих с периодом T – тактовой частотой бортовой РЛС, сигнал $S_{отр}(t)$, отраженный от подстилающей поверхности, и элемент разрешения по дальности Δl , который при малых углах скольжения, характерных при картографировании, можно считать равным $\Delta l = c\tau_n/2$ [3].

При притме сигнала $S_{отр}(t)$, который соответствует мощности радиолокационного сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, происходит суммирование мощности электромагнитных волн в пределах элемента разрешения Δl бортовой РЛС, так как электромагнитные волны в пределах элемента Δl отражаются одновременно. Происходит как бы скольжение «окна» размером Δl вдоль засвечиваемого участка поверхности и в этом окне суммиру-


 Рис. 1. Сигнал, отраженный от подстилающей поверхности, $S_{отр}(t)$

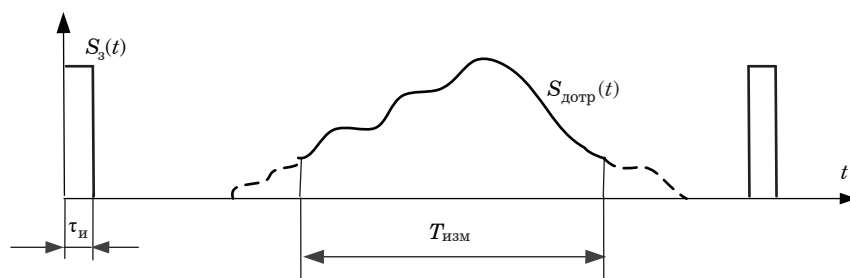
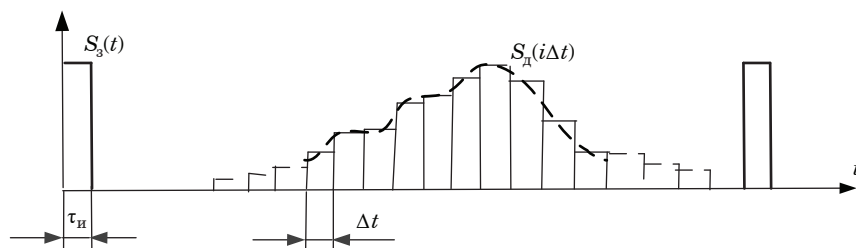
ются мощности от всех элементарных отражателей, находящихся на этом участке.

В силу этого принимаемый аналоговый сигнал $S_{дотр}(t)$ оказывается сглаженным на участке, который подлежит анализу, что схематично показано на рис. 2. Если считать, что предполагается в большинстве работ по этой тематике, что отражающие элементы поверхности на анализируемом участке независимы, то нормированная корреляционная функция сигнала $S_{дотр}(t)$ является линейной на участке $[0, \Delta l]$ и равна нулю на интервалах, превышающих Δl .

После приема сигнала $S_{дотр}(t)$ он распределяется по каналам, соответствующим дорожкам дальности. Выходным сигналом каждого канала является прямоугольный импульс, амплитуда которого пропорциональна мощности зондирующего сигнала, отраженного от соответствующего элемента разрешения. Эти им-

пульсы уже не коррелированы и представляют собой (при оцифровке) цифровую радиолокационную карту анализируемого участка местности, но с точностью, в силу сглаживания сигнала, до элемента разрешения Δl , что схематически представлено на рис. 3.

В силу этого и отсутствует возможность восстановления огибающей отраженного сигнала $S_{отр}(t)$, поскольку в данной ситуации мы можем воспроизвести огибающую только сглаженного сигнала $S_{дотр}(t)$. Однако, используя аппроксимацию огибающей сглаженного сигнала по отсчетам мощности, можно улучшить визуальное восприятие цифровой карты местности [1]. В данной работе мы ограничиваемся рассмотрением возможных подходов к аппроксимации на примере развертки по дальности, а в более общем случае необходимо анализировать возможности аппроксимации и по угловой координа-


 Рис. 2. Сглаженный сигнал $S_{дотр}(t)$, принимаемый на анализируемом участке $T_{изм}$

 Рис. 3. Некоррелированные импульсы $S_d(i \Delta t)$, амплитуды которых пропорциональны мощности эхосигналов дорожек дальности

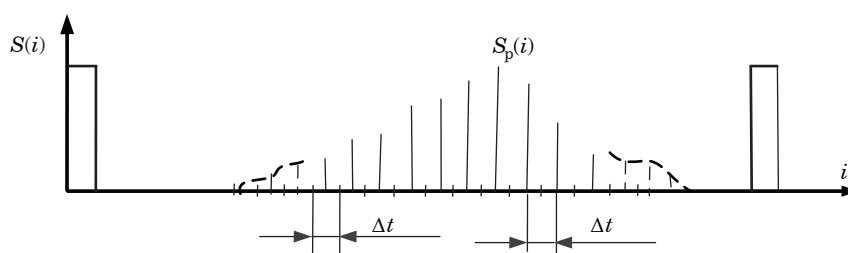


Рис. 4. Математическая модель сигнала $S\delta(i \Delta t)$ в виде решетчатого случайного процесса $S_p(i)$

те, т. е. рассматривать аппроксимацию поверхностей. Эта задача, конечно, более сложная, но подходы к ней аналогичны тем подходам, которые рассмотрены в настоящей работе.

Так же как и в [1], в качестве математической модели процесса $S_\delta(i \Delta t)$ примем математическую модель решетчатого процесса $S_p(i)$, представленную на рис. 4.

В данном случае решетчатый процесс $S_p(i)$ представляет собой реализацию случайного процесса, которую можно рассматривать как детерминированную функцию. Поэтому когда речь идет о восстановлении исходного аналогового процесса $S_{\text{дотр}}(t)$, то можно использовать теорему Котельникова и аппроксимировать исходный аналоговый процесс функциями $\sin(x - x_i)/(x - x_i)$. В этом случае, так как исходный аналоговый процесс имеет конечную энергию, а его спектр можно полагать финитным и ограниченным некоторой полосой $\Delta\omega$, условия теоремы Котельникова выполнены и поэтому можно использовать интерполяционную формулу [4]

$$S_{\text{дотр}}(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} S_{\text{дотр}}\left(t \frac{k\pi}{\Delta\omega}\right) \cdot \frac{\sin(t\Delta\omega - k\pi)}{t\Delta\omega - k\pi}. \quad (1)$$

Для бесконечного во времени аналогового сигнала с финитным спектром, ограниченным полосой $\Delta\omega$, выражение (1) позволяет точно воспроизвести процесс $S_{\text{дотр}}(t)$, если частота дискретизации процесса $S_{\text{дотр}}(t)$, превосходит удвоенную частоту Найквиста. Фактически выражение (1) представляет собой разложение сигнала $S_{\text{дотр}}(t)$ на интервале времени $(-\infty, +\infty)$ в ортогональном базисе [2]:

$$\varphi_k(t) = \frac{\sin(t\Delta\omega - k\pi)}{t\Delta\omega - k\pi}, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

Однако при практическом использовании формулы (1), особенно в нашем случае, возникают определенные проблемы. Во-первых, наш сигнал $S_{\text{дотр}}(t)$ конечен во времени, поэтому его спектр не может быть ограниченным.

Во-вторых, отсчеты сигнала $S_{\text{дотр}}(t)$ поступают последовательно во времени, в то время как, что следует из выражения (1), для аппроксимации (континуализации) нашего процесса нужно знать все отсчеты одновременно, поскольку «хвосты» ортогональных функций $\varphi_k(t)$ будущих отсчетов влияют на значения восстанавливаемого процесса в прошлые моменты времени.

Первую проблему с практической стороны можно преодолеть следующим образом. Количество отсчетов процесса $S_{\text{дотр}}(t)$ исчисляется сотнями, а «хвосты» ортогональных функций $\varphi_k(t)$ затухают сравнительно быстро, поэтому основные искажения восстанавливаемого сигнала будут наблюдаться на границах анализируемого участка подстилающей поверхности. Поэтому, как показано на рис. 4, можно к наблюдаемым отсчетам добавить отсчеты до и после анализируемого участка поверхности, уменьшая тем самым искажения при восстановлении сигнала [3].

Относительно частоты дискретизации. Здесь речь идет о пространственной частоте – частоте изменения рельефа поверхности. Частота изменения рельефа поверхности нам неизвестна, а на частоту дискретизации непосредственно мы влиять не можем, поскольку частота дискретизации отсчетов сигнала $S_{\text{дотр}}(t)$ фактически определяется в данном случае длительностью зондирующего импульса. Поэтому здесь необходимо предварительно знать, как изменяется ландшафт, и выбирать соответствующие характеристики бортового оборудования.

Относительно второй проблемы. Аппроксимация по выражению (1) требует запоминания всех отсчетов принимаемого сигнала на протяжении одного периода. Отсюда следует, что использовать такую аппроксимацию, которая должна «хорошо» восстанавливать сигнал, невозможно в реальном масштабе времени. Восстановление цифровой карты возможно только в центре обработки информации после принятия всей последовательности отсчетов.

Для аппроксимации (континуализации) сигнала $S_{\text{дотр}}(t)$ могут быть использованы разложения аналогового сигнала и по другим ортогональным базисам, отличным от базиса, определяемого выражением (2), например можно использовать полиномы Лаггера, Эрмита и некоторые другие базисы [2]. Однако здесь мы столкнемся с теми же проблемами, что и выше, и, кроме того, при переходе от аппроксимации мощностей отраженных сигналов вдоль дорожек дальности к аппроксимации поверхностей эти базисы требуют модификации.

Второй подход к аппроксимации, позволяющий воссоздавать и отображать рельеф местности возможен при использовании сплайнов. В частности, хорошо себя зарекомендовали кубические сплайны. В этом случае минимизируется краевой эффект искажений, и использование сплайнов хоть и не точно воспроизводит сигнал, но достаточно хорошо улучшает визуальное восприятие анализируемой местности. Кроме того, здесь рассмотрен простейший случай аппроксимации отражений на дорожке дальности, а на практике требуется воспроизводство площади. Двумерные сплайны, в отличие от известных аппроксимаций с помощью ортогональных функций, решают эту задачу, и, кроме того, переход к многопозиционной локации позволяет непосредственно использовать двумерные сплайны [4; 5]. Поэтому подобный

подход представляется наиболее перспективным.

Библиографический список

1. Коваленко Р. А., Исаков В. И. Повышение качества цифровых изображений земной поверхности // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивановгород, 29 окт. 2024 г. Казань: Бук, 2024. С. 5–10.
2. Левин Б. Р., Шварц В. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления. М.: Радио и связь, 1985. 312 с. (Статистическая теория связи. Вып. 24).
3. Блаунштейн Н. Ш., Сергеев М. Б., Шенета А. П. Прикладные аспекты электродинамики. СПб.: Аграф+, 2016. 272 с.
4. Shepeta D. A., Nenashev V. A., Isakov V. I. Algorithm for modeling location signals reflected from the edge of various underlying surfaces // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems: XXIII International conference (WECONF-2020), 2020. 1–5 June. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9131550> (дата обращения: 01.12.2024).
5. Shepeta A. P., Nenashev V. A. Accuracy Characteristics of Object Location in a Two-Position System of Small Onboard Radars // Information and Control Systems. 2020. № 2(105). P. 31–36.

УДК 621.317.353

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-36-39

В. И. Исаков*

кандидат технических наук, доцент

Р. А. Коваленко*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ ЛОГАРИФМИЧЕСКИ-НОРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Приведены аналитические выражения и расчетные зависимости спектральных плотностей логарифмически-нормальных процессов, формируемых из нормальных процессов с заданными спектральными плотностями после нелинейного безынерционного функционального преобразования нормальных процессов.

Ключевые слова: спектральная плотность, нормальный процесс, логарифмически-нормальный процесс, нелинейное преобразование.

V. I. Isakov*

PhD, Tech., Associate Professor

R. A. Kovalenko*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SPECTRAL DENSITIES OF LOGARITHMICALLY NORMAL PROCESSES

The paper presents analytical expressions and calculated dependencies of spectral densities of logarithmically normal processes formed from normal processes with given spectral densities after a nonlinear inertia-free functional transformation of normal processes.

Keywords: spectral density, normal process, logarithmic normal process, nonlinear transformation.

Моделирование логарифмически-нормального процесса с требуемой спектральной плотностью осуществляется с помощью нелинейного безынерционного преобразования нормального процесса, который часто называют порождающим процессом, с заданной спектральной плотностью. При этом после соответствующего нелинейного преобразования меняется не только плотность распределения отсчетов формируемого процесса, но и его корреляционно-спектральные характеристики, в частности для стационарного процесса его спектральная плотность.

В данной работе приводятся спектральные плотности марковских порождающих нормальных и моделируемых марковских логарифмически-нормальных процессов и анализируются преобразования спектральных плотностей моделируемых процессов после нелинейного безынерционного преобразования порождающего процесса.

При моделировании случайных процессов с логарифмически-нормальным распределением за основание берется порождающий нормальный процесс с заданной корреляционной

функцией $R_N(\tau)$. Тогда нормированная корреляционная функция логарифмически-нормального процесса $R_{LN}(\tau)$ определяется по известной [1] формуле

$$R_{LN}(\tau) = \frac{1}{K^2} \left[(1 + K^2)^{R_N(\tau)} - 1 \right], \quad (1)$$

где K – коэффициент вариации логарифмически-нормального процесса, отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию.

Использование Марковских процессов малой связности позволяет повысить быстродействие алгоритмов моделирования случайных процессов с заданной корреляционной функцией. Во многих работах [2–5] при моделировании случайных процессов для упрощения используются одно- и двухсвязные Марковские процессы с корреляционными функциями вида

$$\begin{cases} R_{Ne}(\tau / \alpha) = e^{-\alpha\tau}, \\ R_{Nc}(\tau / \alpha, \omega) = e^{-\alpha\tau} \cos(\omega\tau), \end{cases} \quad (2)$$

где α и ω – параметры нормированных корреляционных функций. В выражении (2) в силу симметричности корреляционных функций приведены только правые ветви корреляционных функций для $\tau > 0$.

На рис. 1 показаны графики [6; 7] вида корреляционных функций нормальных порождающих процессов с экспоненциальной корреляционной функцией R_{Ne} и с косинусообразной с экспоненциально убывающей амплитудой R_{Nc} . Графики построены для параметров $\alpha = 1,5$ и $\omega = 2,0$.

Из зависимостей (1) и (2) выводятся выражения для нормированных корреляционных функций логарифмически-нормальных марковских процессов той же связности, что и порождающие их нормальные процессы:

$$\begin{cases} R_{LNe}(\tau/\alpha, K) = \frac{1}{K^2} \left[(1 + K^2)^{R_{Ne}(\tau/\alpha)} - 1 \right], \\ R_{LNc}(\tau/\alpha, \omega, K) = \frac{1}{K^2} \left[(1 + K^2)^{R_{Nc}(\tau/\alpha, \omega)} - 1 \right]. \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 2 приведены графики вида корреляционных функций нормального порождающего процесса с экспоненциальной корреляционной функцией R_{Ne} и логарифмически-нормальных процессов $R_{LNe}(\tau/\alpha, \omega, K_1)$ и $R_{LNe}(\tau/\alpha, \omega, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно, рассчитанные по формулам (3). Графики построены для параметров $\alpha = 1,5$ и $\omega = 2,0$.

Аналогично на рис. 3 приведены графики вида корреляционных функций порождающего нормального процесса с косинусообразной экспоненциально-убывающей амплитудой $R_{Nc}(\tau/\alpha)$ и логарифмически-нормальных процессов с косинусообразной экспоненциально-убывающей

амплитудой $R_{LNe}(\tau/\alpha, K_1)$ и $R_{LNe}(\tau/\alpha, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно [8; 9].

В соответствии с теоремой Винера – Хинчина, спектральная плотность мощности стационарного в широком смысле случайного процесса является преобразованием Фурье соответствующей автокорреляционной функции:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau,$$

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega,$$

где $S(\omega)$ – спектральная плотность мощности случайного стационарного процесса.

Используя результаты вычисления корреляционных функций нормального и логарифми-

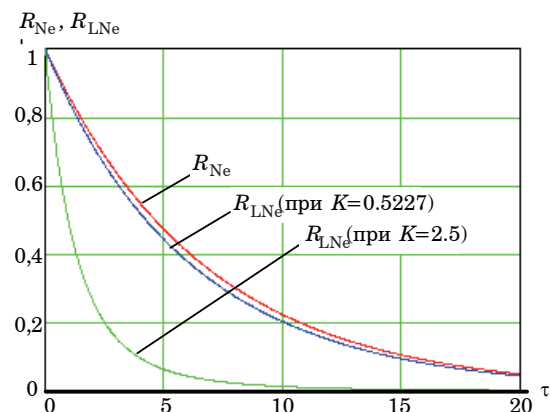


Рис. 2. Вид экспоненциальных корреляционных функций нормального $R_{Ne}(\tau/\alpha)$ и логарифмически-нормальных процессов $R_{LNe}(\tau/\alpha, \omega, K_1)$ и $R_{LNe}(\tau/\alpha, \omega, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно

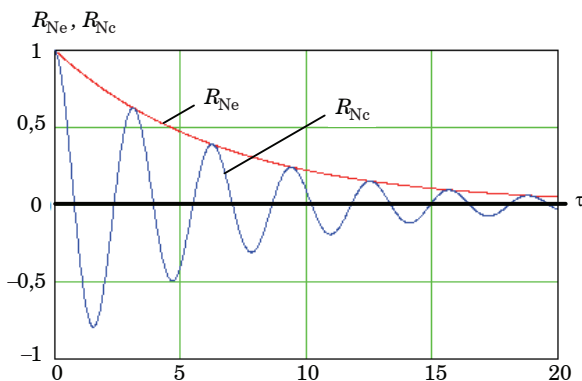


Рис. 1. Вид корреляционных функций нормального порождающего случайного процесса: R_{Ne} – экспоненциальная; R_{Nc} – косинусообразная с экспоненциально убывающей амплитудой

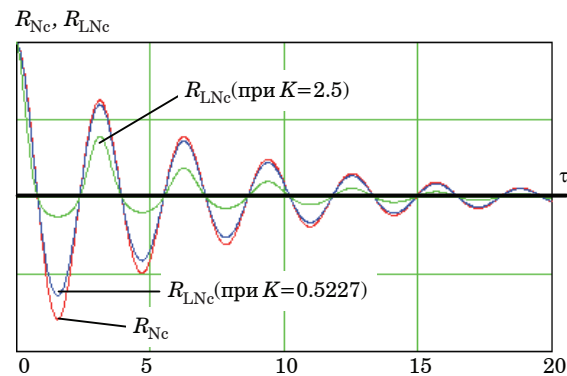


Рис. 3. Вид косинусообразных с экспоненциально-убывающей амплитудой корреляционных функций нормального $R_{Nc}(\tau/\alpha)$ и логарифмически-нормальных процессов $R_{LNc}(\tau/\alpha, K_1)$ и $R_{LNc}(\tau/\alpha, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно

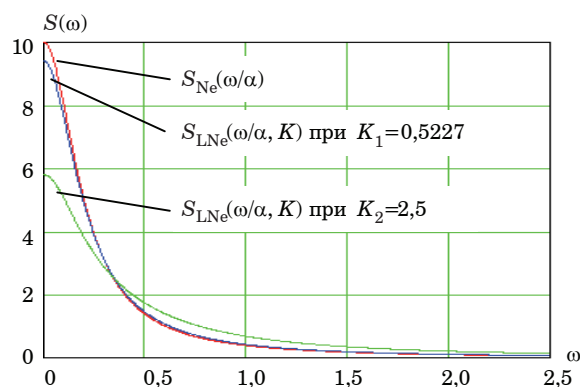


Рис. 4. Графики спектральной плотности мощности для порождающего нормального случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией $S_{Ne}(\omega/\alpha)$ и соответствующего ему логарифмически-нормального случайного процесса $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_1)$ и $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно

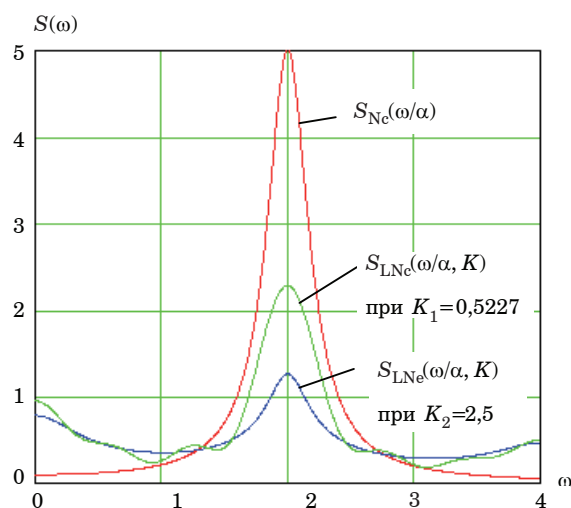


Рис. 5. Графики спектральной плотности мощности для порождающего нормального случайного процесса с косинусообразной экспоненциально-убывающей амплитудой корреляционной функции $S_{Ne}(\omega/\alpha)$ и соответствующего ему логарифмически-нормального случайного процесса $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_1)$ и $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно

чески-нормального случайных процессов, рассчитаем, в соответствии с теоремой Винера – Хинчина, вид графиков спектральной плотности мощности для этих процессов.

На рис. 4 приведены графики спектральной плотности мощности нормального случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией $S_{Ne}(\omega/\alpha)$ и соответствующего нормально-логарифмического случайного процесса $S_{LNe}(\omega/\alpha, K)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно.

Из графиков видно, что спектральные составляющие спектральной плотности мощности логарифмически-нормального случайного процесса имеют большие значения на более высоких частотах, чем у нормального случайного процесса.

На рис. 5 приведены графики спектральной плотности мощности для порождающего нормального случайного процесса с косинусообразной экспоненциально-убывающей амплитудой корреляционной функции $S_{Ne}(\omega/\alpha)$ и соответствующего ему логарифмически-нормального случайного процесса $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_1)$ и $S_{LNe}(\tau/\alpha, K_2)$ при $\alpha = 0,15$ и $K_1 = 0,5227$, $K_2 = 2,5$ соответственно. Из рисунка видно, что спектры логарифмически-нормального случайного процесса не симметричны относительно центральной гармоники.

Библиографический список

1. Шепета Д. А. Разработка математических моделей и синтез алгоритмов моделирования входных сигналов бортовых систем обработки информации и управления: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2000.
2. Исаков В. И., Шепета Д. А. Моделирование локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // Информационно-управляющие системы. 2017. № 5(90). С. 89–94.
3. Шепета Д. А., Исаков В. И., Тюринова В. А. Прямой метод моделирования логарифмически-нормального распределения // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сб. ст. XXV Междунар. науч. конф.: в 3 ч. СПб., 2022. С. 135–139.
4. Подопрёкин Ю. Ф., Шепета Д. А., Иванов И. Н. Моделирование анизотропного стохастического логарифмически нормального пространственного поля // Морская радиоэлектроника. 2024. № 1(87). С. 34–39.
5. Подопрёкин Ю. Ф., Шепета Д. А., Иванов И. Н. Моделирование анизотропного стохастического пространственного поля, распределенного по закону Вейбулла // Морская радиоэлектроника. 2024. № 3(89). С. 56–59.
6. Ivanova M. S., Isakov V. I., Shepeta D. A. Simulation models of input signals of information processing systems synthesized from empirical data // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems: XXIII International conference, 1–5 June 2020 (WECONF-2020). St. Petersburg, 2020. P. 6–11.
7. Isakov V. I., Shepeta D. A. Simulation of location signals when determining a coastal edge // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), 2021. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9470671> (дата обращения: 01.12.2024).

8. *Шепета А. П., Исаков В. И.* Корреляционные функции случайных процессов, распределенных по закону Вейбулла // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивановгород, 29 окт. 2024 г. Казань: Бук, 2024. С. 23–28.

9. *Исаков В. И., Шепета А. П.* Корреляционные функции логарифмически-нормальных процессов // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивановгород, 29 окт. 2024 г. Казань: Бук, 2024. С. 29–33.

УДК 004.4

В. А. Кузнецова*

студент

М. В. Загураева*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПЕРЕХОД ОТ ИНКЛЮЗИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ К МАССОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Рассмотрены примеры технологий, разработанных в рамках инклюзивного дизайна для людей с особенностями здоровья, которые в настоящее время стали неотъемлемой частью стандартного функционала приложений. К ним относят предиктивный набор текста, swipe, субтитры, голосовые помощники, адаптивную настройку интерфейса в зависимости от предпочтений пользователя: шрифт, цвет экрана, межстрочный интервал, контрастность. Показано, что разработка адаптивных интерфейсов с учетом принципов инклюзии повышает конкурентоспособность программной веб-системы.

Ключевые слова: инклюзия, веб-дизайн, адаптивный интерфейс.

V. A. Kuznetsova*

Student

M. V. Zaguraeva*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

MOVING FROM INCLUSIVE SOLUTIONS IN WEB INTERFACE DESIGN TO MAINSTREAM TECHNOLOGIES

The article examines examples of popular technologies developed within the framework of inclusive design for people with disabilities, which have now become an integral part of the standard functionality of applications. These include predictive text input, swipe, subtitles, voice assistants, adaptive interface settings depending on the user's preferences: font, screen color, line spacing, contrast. It is shown that the integration of inclusion principles allows taking into account the diversity of user preferences when creating adaptive interfaces, increasing the competitiveness of the software web system.

Keywords: inclusion, web design, adaptive interface.

Введение

Инклюзивный дизайн – метод проектирования интерфейсов с учетом разнообразия человеческих возможностей, который позволяет делать продукты доступными для как можно большего числа людей, будь то люди с возрастными особенностями, ограниченными возможностями или временными ограничениями [1]. Этот метод становится все популярнее из-за роста осведомленности о необходимости создания более доступных технологий, особенно в эпоху цифровизации, когда множество аспектов повседневной жизни зависит от использования цифровых устройств и онлайн-сервисов. Многие инклюзивные технологии изначально разрабатывались для помощи людям с инвалидностью, однако сегодня они активно используются всеми пользователями, что говорит о том,

что инклюзивный дизайн способствует созданию продуктов, ориентированных на более широкую аудиторию и учитывающих потребности каждого человека [2].

Основная часть

Рассмотрим примеры одних из самых популярных технологий, которые изначально создавались для людей с особенностями здоровья, однако теперь ими пользуются все.

1. Предиктивный набор текста T9.

Создателем данной технологии является Клифф Кашлер. Изначально он создал программу T7 для людей с параличом конечностей, позволяющую набирать текст движением глаз. Это сподвигло его на создание системы T9 (набор на девяти кнопках), у которой была цель – упростить и сделать доступным общение по со-

общениям для людей с инвалидностью. Например, раньше для набора слова «Привет» необходимо было сделать 14 нажатий, с T9 – меньше шести [3].

2. Субтитры.

Изначально субтитры создали для экономии на дубляже: перевести текст дешевле, чем озвучить. Однако далее, в 1970-х гг., эта технология начала активно использоваться на телевидении специально для слабослышащих зрителей. Сейчас огромное количество людей используют субтитры, например для просмотра видео на оригинальном языке, в шумных местах [4].

3. Сенсорные экраны.

Стартап FingerWorks работал над мультитачем для сенсорных экранов. Это позволило снизить нагрузку на кисти рук людей, имевших туннельный синдром запястья из-за частой работы на компьютере [4].

4. Голосовые помощники.

Технологии text-to-speech и speech-to-text берут начало с разработок Курцвейла. С их помощью незрячие люди могли прослушать напечатанный текст. Сейчас на основе TTS и STT работают синтезаторы речи и скринридеры [4].

Массовое распространение таких технологий объясняется их удобством, гибкостью использования и адаптивностью к различным условиям. Пользователи оценили функции, которые изначально были инклюзивными, за их универсальную пользу и применимость в повседневной жизни.

Когда говорят про потребность в доступности, многим кажется, что она есть только у людей с инвалидностью, однако это далеко не так. На самом же деле ограниченные возможности могут быть разными и появляться в жизни каждого человека. Их можно разделить на постоянные, временные и ситуативные ограничения (таблица) [1].

Массовость внедрения инклюзивного дизайна в интерфейсы пользовательских приложений можно оценить по исследованию Яндекса о настройках доступности [5]. Настройки доступ-

ности – это специальные функции в системных настройках телефона, которые помогают адаптировать его под свои особенности и нужды. Результат следующий: 51% пользователей (или более 20 млн чел.), используют хотя бы одну настройку доступности на Android и iOS. В топ-5 настроек доступности, которые включают пользователи, входят следующие:

- 35% (около 14 млн пользователей) – изменение размера шрифта;
- 27% (около 11 млн пользователей) – темная тема;
- 3% (около 1,5 млн пользователей) – монозвук;
- 2% (около 850 тыс. пользователей) – контрастность;
- 2% (около 800 млн пользователей) – субтитры.

С учетом стремительного прогресса в области технологий существует надежда, что инклюзивный дизайн будет развиваться быстрее, открывая новые возможности для создания доступных и удобных решений. К числу подобных инновационных направлений относятся следующие.

– Искусственный интеллект (ИИ). Улучшает доступность через технологии распознавания речи и изображений, поддерживая пользователей с нарушениями зрения и слуха (например, Google Assistant, Siri).

– Виртуальная и дополненная реальность (VR и AR). Создают возможности для обучения и социальной адаптации людей с ограниченными возможностями.

– Инклюзивные устройства и интерфейсы. Инклюзивные решения, такие как Xbox Adaptive Controller, позволяют людям с ограниченными возможностями полноценно взаимодействовать с технологиями.

– Образование. Курсы по инклюзивному дизайну помогают будущим разработчикам интегрировать доступность в проекты.

– Корпоративные инициативы. Компании внедряют инклюзивный дизайн в стратегии со-

Проявление ограниченных возможностей

Критерии	Зрение	Слух	Моторика	Речь	Психологические факторы
Постоянные (сопутствуют человеку всегда)	Отсутствие зрения	Глухота	Отсутствие руки	Немота	Расстройство аутистического спектра
Временные (связаны с болезнью)	Катаракта	Воспаление уха	Перелом	Больное горло	Прием лекарств
Ситуативные (вызваны конкретной ситуацией)	Занятый водитель	Работа в шумном месте	Пакет в руке	Сильный акцент	Сильный стресс

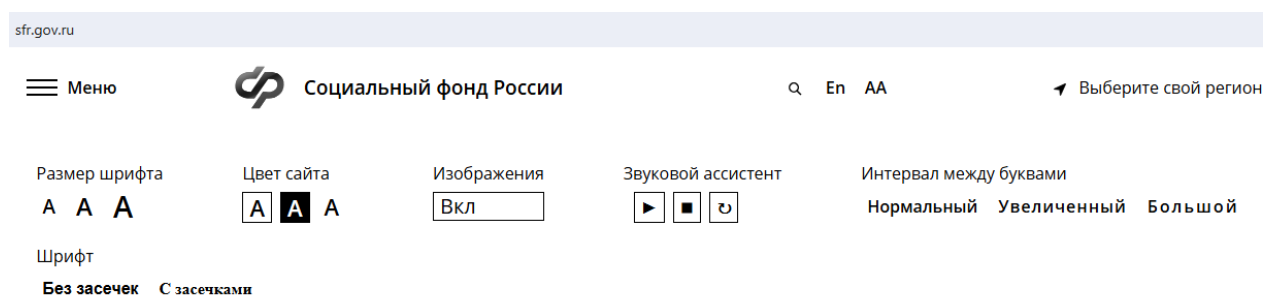


Рис. 1. Инклюзивный дизайн на портале Социального фонда России

циальной ответственности, как в программе Microsoft AI for Accessibility.

– Стандарты и нормативы. Развитие стандартов, таких как WCAG, помогает создавать продукты, соответствующие требованиям доступности [6].

Примеры реализации инклюзивного дизайна

Многие технологии, изначально разработанные в рамках инклюзивного дизайна, сегодня стали неотъемлемой частью стандартно-

го функционала. Примером такой эволюции являются настройки отображения текста в приложениях для чтения. Изначально эти функции создавались для пользователей с особыми потребностями: людям с нарушениями зрения было важно иметь возможность менять размер текста, а для людей с повышенной светочувствительностью были необходимы разные цветовые темы фона. В настоящее время многие официальные веб-приложения (рис. 1) внедрились решения для слабовидящих и незрячих пользователей, в частности Социальный фонд России (<https://sfr.gov.ru/>), официальный сайт

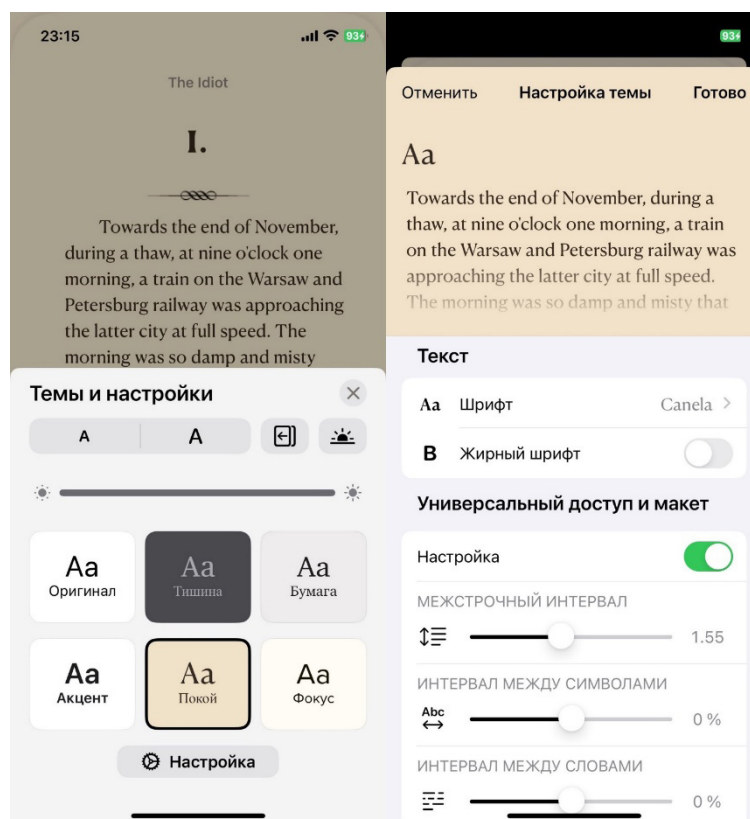


Рис. 2. Адаптация интерфейса по желанию пользователя

ОАО «Российские железные дороги» (<https://rzd.ru>) и др.

Теперь такие функции активно используются всеми пользователями, поскольку они значительно улучшают пользовательский опыт. Например, возможность адаптировать цветовую тему под условия освещения или менять размер текста по своему усмотрению стала стандартом для большинства приложений для чтения.

На рис. 2 представлен пример интерфейса приложения для чтения, где пользователь может:

- настроить яркость экрана;
- выбрать цвет фона, переключаясь между темами, в зависимости от условий освещения;
- изменить размер текста, чтобы сделать его более удобным для восприятия;
- настроить размеры интервалов в тексте и др.

Выводы

Учет принципов инклюзивного дизайна должен быть заложен при создании цифровых интерфейсов. Инклюзивный подход представляет собой не только социальную необходимость, но и эффективную стратегию для оптимизации пользовательского опыта (UX) в целом. В настоящее время при разработке пользовательских интерфейсов внедрены технологии предиктивного набора текста, swipe, субтитров, голосовых помощников, адаптивной настройки интерфейса в зависимости от предпочтений поль-

зователя: шрифт, цвет экрана, межстрочный интервал, контрастность. Интеграция принципов инклюзии позволяет учитывать разнообразие потребностей пользователей, создавая более адаптивные и универсальные интерфейсы, повышая конкурентоспособность программной веб-системы.

Библиографический список

1. Алехина Ю. Что такое инклюзивный дизайн и как его использовать. URL: <https://habr.com/ru/companies/agima/articles/803317/> (дата обращения: 24.11.2024).
2. Зудов К. Что такое инклюзивный дизайн и почему стоит его использовать. URL: <https://vc.ru/design/1347700-chto-takoe-inklyuzivnyi-dizain-i-pochemu-stoit-ego-ispolzovat> (дата обращения: 24.11.2024).
3. От T9 до Swype: технологии людей с инвалидностью, которыми пользуются все. URL: https://t.me/yandex_inclusion/37 (дата обращения: 24.11.2024).
4. Инклюзивность в Яндексe. URL: https://t.me/yandex_inclusion/96 (дата обращения: 24.11.2024).
5. Настройки и исследования инклюзивного дизайна в Яндексe. URL: <https://inclusion.yandex.ru/settingsresearch#group-research-title> (дата обращения: 24.11.2024).
6. Инклюзивность и доступность в Яндексe. URL: https://vk.com/wall-219026751_58 (дата обращения: 24.11.2024).

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-44-46

В. М. Лобанов*

студент

Е. Л. Турнецкая*

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА FEATURE FLAGS В ПРОЦЕСС А/В-ТЕСТИРОВАНИЯ

Традиционные подходы к А/В-тестированию сталкиваются с ограничениями, связанными с необходимостью многократного развертывания и отката кода. Поэтому замедляется скорость разработки веб-приложений и увеличиваются риски проекта. В этом контексте внедрение feature flags (флагов функций) открывает новые направления для А/В-тестирования. Показано, что feature flags позволяют разработчикам включать, отключать или изолированно тестировать функции в приложении без изменения кода функционирующего приложения, не оказывая влияния на стабильность и производительность его работы. В статье показаны специализированные программные инструменты установки feature flags при проведении тестовых мероприятий для оценки вовлеченности пользователей на этапе разработки веб-приложений.

Ключевые слова: feature flags, А/В, тестирование, оптимизация.

V. M. Lobanov*

Student

E. L. Turnetskaya*

PhD, Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

IMPLEMENTING THE FEATURE FLAGS METHOD IN THE A/B TESTING PROCESS

Traditional approaches to A/B testing face limitations due to the need to repeatedly deploy and roll back code. Therefore, the speed of web application development slows down and project risks increase. In this context, the introduction of feature flags opens up new directions for A/B testing. It is shown that feature flags allow developers to enable, disable or test features in an application in isolation without changing the code of the running application, without affecting the stability and performance of its work. The article shows specialized software tools for installing feature flags when conducting test events to assess user involvement at the stage of web application development.

Keywords: feature flags, A/B, testing, optimization.

Введение

А/В-тестирование представляет собой метод, позволяющий сравнивать два или более варианта продукта, чтобы определить, какой из них более эффективен в достижении заданных целей. Этот подход широко используется в разработке программного обеспечения для оптимизации пользовательского опыта, повышения конверсии и улучшения пользовательского опыта использования веб-приложений. С помощью А/В-тестирования компании могут тестировать дизайн страниц или функциональность и на основе полученных данных принимать обоснованные решения о внедрении изменений [1; 2].

Большое количество сервисов предоставляет функционал для сбора данных о результатах

А/В-тестирования, например отечественный онлайн-сервис Varioqub (<https://varioqub.ru/>) от Яндекса для управления цифровым продуктом и проведения А/В-тестов.

Преимущества метода feature flags

В то время как А/В-тестирование фокусируется на сравнении различных вариантов, метод feature flags (фича-флаги) позволяет разработчикам включать или отключать определенные функции в приложении без необходимости развертывания нового кода в рамках тестирования. Это позволяет командам тестировать новые функции на ограниченной аудитории, а также адаптировать приложение к изменяющимся требованиям пользователей. Например, если новая функция вызывает проблемы, ко-

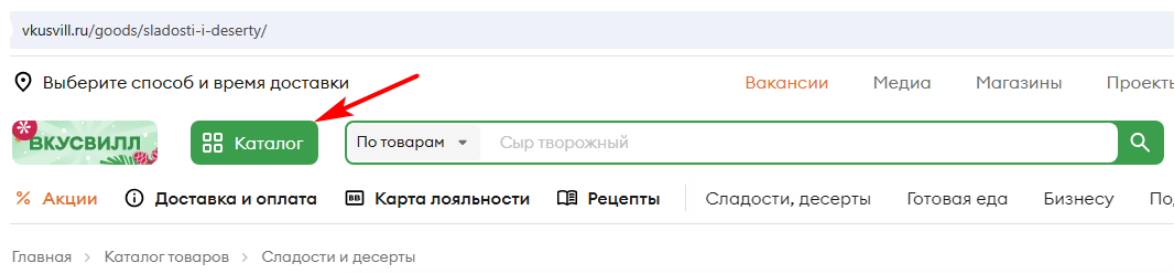


Рис. 1. Название кнопки по результатам А/В-тестирования

манда может быстро отключить ее, минимизируя негативное влияние на пользователей. Кроме того, метод feature flags позволяют проводить А/В-тестирование, в котором группы пользователей могут видеть разные версии функциональности без изменения программного кода существующего приложения. Такой подход позволяет собирать данные о том, как пользователи взаимодействуют с новыми функциями, и принимать обоснованные решения о дальнейшем развитии продукта [3]. Метод feature flags обеспечивает гибкость и контроль над процессом разработки, позволяя командам быстрее реагировать на изменения пользовательских предпочтений для улучшения взаимодействия с веб-приложением [4].

Рассмотрим пример проведения А/В-тестирования с использованием feature flags для приложения «Вкусвилл» (<https://vkusvill.ru/>) с помощью сервиса Varioqub. При исследовании была выдвинута гипотеза если на веб-странице название кнопки «В магазин» изменить на «Каталог» или «На главную», то увеличится количество кликов по кнопке» (рис. 1).

В качестве метрики тестирования выбрано количество кликов по кнопке возврата в каталог товаров.

Срок проведения тестирования составил одну неделю. При сравнении результатов замеров пользовательских предпочтений, проведенных с помощью А/В-тестирования, показано, что кликабельность по кнопке увеличилась на 32,5% при изменении названия кнопки на «Каталог». Таким образом, гипотеза подтверждена и название кнопки возврата в каталог товаров было изменено (рис. 1).

Инструменты для реализации feature flags

На данный момент существует большое количество программных инструментов для внедрения feature flags в приложения. Например, Flagsmith (<https://www.flagsmith.com/>), предоставляет API для внедрения на веб-приложения и отдельную административную панель для установки флагов. Пример интеграции представлен на рис. 2.

Административная панель предоставляет собой список функционала, который может быть в двух состояниях: включен и выключен. Выбранные администратором или пользователем параметры автоматически подтягивают-



Рис. 2. Пример интеграции сервиса FlagSmith и ReactJS

Инструменты для работы с feature flags

Инструменты	Описание
Flagsmith (https://www.flagsmith.com/)	Можно развернуть на собственных серверах или использовать облачное решение, поддерживает различные языки программирования и платформы
Getunleash (https://www.getunleash.io/)	Позволяет настраивать сложные правила для активации флагов. Неопытным разработчикам тяжело работать с системой
Launchdarkly (https://launchdarkly.com/)	Встроенные инструменты для анализа использования флагов. Не предоставляет возможности локального развертывания
Configcat (https://configcat.com/)	Легко подключается к существующим приложениям, но меньше возможностей для анализа данных по сравнению с конкурентами

ся на сервере сервиса. Таким образом, клиентские приложения смогут получать эти параметры сразу после обновления.

Также представлена интеграция непосредственно в коде. После импорта библиотеки происходят инициализация и подключение к облачному сервису. Приложение подгрузит необходимые флаги и будет автоматически включен запрашиваемый разработчиком функционал, например темная тема или чат.

Список сервисов, которые предоставляют API (application programming interface) для получения функционала feature flags, представлен в таблице.

Заключение

Таким образом, внедрение feature flags в процесс разработки программного обеспечения предоставляет командам гибкость, возможность быстрого развертывания и легкость в откате изменений. Эти преимущества делают метод feature flags мощным инструментом для оптимизации разработки и улучшения

пользовательского опыта, позволяя командам веб-разработчиков быстрее и безопаснее тестировать новые идеи и внедрять их в продукт. Для ускорения процесса разработки и тестирования разработаны специализированные программные инструменты для установки feature flags.

Библиографический список

1. Глоссарий тестирования цифровых продуктов. URL: <https://www.optimizely.com/optimization-glossary/ab-testing/> (дата обращения: 24.11.2024).
2. *Cibin K. S.* 11 Apps with The Best User Onboarding Flow. URL: <https://www.wowmakers.com/blog/apps-with-the-best-user-onboarding-flow/> (дата обращения 24.11.2024).
3. *Фаулер М.* Применение feature flags при A/B-тестировании. URL: <https://martinfowler.com/articles/feature-toggles.html> (дата обращения: 24.11.2024).
4. Использование feature flags при фронтенд-разработке. URL: <https://habr.com/ru/companies/docdoc/articles/742962/> (дата обращения: 24.11.2024).

УДК 303.732.4

Н. И. Мирошниченко

ассистент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЗВУКА В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ

Представлен системный анализ различных методов усиления звука, используемых в современных слуховых аппаратах. Основное внимание уделяется линейному, нелинейному, многополосному, адаптивному усилению и компрессии. Для каждого метода рассмотрены принципы работы, их преимущества и недостатки, а также указаны примеры устройств, в которых они находят применение. Проведенный анализ позволяет понять, какие методы наиболее эффективны в зависимости от условий использования слухового аппарата и степени потери слуха у пользователя.

Ключевые слова: методы усиления звука, слуховые аппараты.

N. I. Miroshnichenko

Assistant

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SYSTEMATIC ANALYSIS OF SOUND AMPLIFICATION METHODS IN HEARING AIDS

This article presents a systematic analysis of various sound amplification methods used in modern hearing aids. The focus is on linear, nonlinear, multi-band, adaptive amplification, and compression. For each method, the working principles, advantages, and disadvantages are discussed, along with examples of devices in which they are applied. The analysis provides insights into which methods are most effective depending on the hearing aid's usage conditions and the user's degree of hearing loss.

Keywords: sound amplification methods, hearing aids.

Введение

Улучшение качества жизни и обеспечение комфортного слухового восприятия представляют собой ключевые аспекты для людей с нарушениями слуха. В данной связи современные технологии слуховых аппаратов направлены на оптимизацию комфорта и повышение уровня жизни пользователей, позволяя более эффективно воспринимать звуки окружающей среды и устанавливать полноценные коммуникации.

Современные слуховые аппараты используют разнообразные аудиотехнологии, разработанные для усиления звука, что обеспечивает возможность более точного восприятия речи и звуков в различных акустических условиях. К числу применяемых методов относятся линейное, нелинейное, многополосное и адаптивное усиление, а также компрессия. Каждый из этих подходов обладает уникальными характеристиками и функциональными возможностями, что позволяет компен-

сировать потерю слуха различной степени сложности с различной эффективностью и комфортом.

В данной статье проведен глубокий анализ принципов функционирования, математических моделей и основных свойств указанных методов, а также их практической применимости и существующих ограничений. Исследуется вклад данных технологий в улучшение качества жизни пользователей и возможности их адаптации к индивидуальным потребностям, что имеет существенное значение для оптимизации слухового восприятия.

Линейное усиление

Линейное усиление – один из базовых методов усиления звука, который используется в слуховых аппаратах, особенно в простых моделях. Данный метод увеличивает громкость звукового сигнала на всех частотах одинаковым образом, т. е. сигнал усиливается на фиксированном уровне вне зависимости от частоты

звука. Такой тип усиления можно описать формулой

$$K = 10^{\frac{L_{dB}}{20}}, \quad (1)$$

где K – коэффициент усиления, а L_{dB} – уровень усиления (например, 20 дБ).

Для линейного усиления математически означает, что выходной сигнал $y(t)$ является произведением входного сигнала $x(t)$ на коэффициент усиления:

$$y(t) = K \cdot x(t). \quad (2)$$

Преимущества:

1) простота реализации. Линейное усиление не требует сложной обработки сигнала;

2) устойчивость. Полезно при слабом уровне звука, например для увеличения громкости тихой речи;

3) минимальные задержки. Простота схемы обеспечивает минимальную задержку обработки.

Недостатки:

1) искажение при высоком уровне громкости. Усиление всех частот одинаково, что может вызывать искажения при высоких уровнях громкости;

2) отсутствие адаптивности. Не подстраивается к уровню шума в окружающей среде;

3) неэффективность для различных типов потери слуха. Недостаточно для пользователей с необходимостью избирательного усиления.

Линейное усиление используется в базовых слуховых аппаратах, которые обычно являются цифровыми или аналоговыми. Данный метод применяется для людей с легкой потерей слуха [1].

Нелинейное усиление

Нелинейное усиление – более сложный метод усиления звука, который используется в современных слуховых аппаратах. В отличие от линейного усиления, которое увеличивает все звуки на одном уровне, нелинейное адаптируется к различным уровням громкости, что делает его более эффективным для пользователей с потерей слуха.

Данный метод изменяет уровень усиления в зависимости от интенсивности входного сигнала. Метод основан на компрессии динамического диапазона, обеспечивая различные усиления для различных уровней звука:

$$y(t) = \begin{cases} K \cdot x(t), & \text{если } x \leq x_0 \\ K \cdot x(t)^\gamma, & \text{если } x > x_0 \end{cases}, \quad (3)$$

где x_0 – пороговое значение, x – интенсивность входного сигнала, K – коэффициент усиления, γ – степень нелинейности для высоких уровней сигнала ($\gamma < 1$).

Для слабых звуков используется коэффициент усиления K , который увеличивает их интенсивность. Для громких звуков также применяется тот же коэффициент K , однако с дополнительным применением степени нелинейности γ , которая уменьшает интенсивность громких звуков. Такой подход делает метод особенно эффективным для улучшения восприятия речи в сложных акустических условиях, поскольку позволяет сбалансировать усиление слабых звуков и контролировать громкость сильных звуков, предотвращая перегрузку.

Преимущества:

1) адаптивность. Изменяет усиление в зависимости от окружающего уровня звука, что удобно в шумной среде;

2) минимизация искажений. Снижает усиление для громких звуков, обеспечивая комфортное восприятие;

3) комфорт при изменении уровня звука. Обеспечивает баланс между тихими и громкими звуками.

Недостатки:

1) сложность настройки. Требуется точная калибровка для адаптации к индивидуальным потребностям пользователя;

2) небольшие задержки. Использование сложных алгоритмов может приводить к задержке.

Нелинейное усиление применяется в цифровых слуховых аппаратах для людей с умеренной и тяжелой потерей слуха [2].

Многополосное усиление

Многополосное усиление представляет собой метод обработки звука, который используется в слуховых аппаратах для более точного и эффективного улучшения восприятия звука. Подразумевает разделение звукового сигнала на несколько диапазонов частот, что позволяет использовать разные уровни усиления для каждой полосы.

Предположим, что входной звуковой сигнал разделяется на частотных полос. Каждая из этих полос может быть представлена как $x_i(t)$, где индекс обозначает номер полосы, а N – общее количество полос. Для каждой полосы применяется индивидуальный коэффициент усиления K_i . Тогда выходной сигнал для каждой полосы определяется как

$$y_i(t) = K_i \cdot x_i(t), \quad (4)$$

где $x_i(t)$ – сигнал на i -й полосе, K_i – коэффициент усиления для i -й полосы, $y_i(t)$ – усиленный сигнал для i -й полосы.

После усиления всех полос, выходной сигнал $y(t)$ может быть восстановлен путем суммирования выходных сигналов всех полос. Данный процесс можно выразить следующим образом:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N y_i(t) = \sum_{i=1}^N K_i \cdot x_i(t), \quad (5)$$

где $y(t)$ – итоговый выходной сигнал, N – количество частотных полос.

Общий выходной сигнал $y(t)$ является суммой усиленных сигналов на каждой из полос. Данный подход позволяет эффективно регулировать усиление на разных частотах, что особенно важно для улучшения восприятия речи или других звуковых сигналов в условиях потери слуха на определенных частотах.

Преимущества:

1) индивидуальные настройки. Позволяет усиливать только те частоты, на которых есть потеря слуха;

2) улучшение восприятия речи. Обеспечивает акцент на средние и высокие частоты, что повышает разборчивость речи;

3) устойчивость к шуму. Адаптируется к акустическим условиям, выделяя важные частоты.

Недостатки:

1) сложность алгоритмов. Требуется сложной обработки и калибровки, что усложняет производство;

2) задержки. Обработка по нескольким полосам может вызвать задержки.

Многополосное усиление используется в цифровых слуховых аппаратах для людей с неоднородной потерей слуха (например, потеря слуха на высоких частотах) [3].

Адаптивное усиление

Адаптивное усиление представляет собой метод обработки звука, который широко используется в современных слуховых аппаратах для автоматической настройки уровня усиления звука с учетом акустических условий окружающей среды и индивидуальных потребностей пользователя. Позволяет слуховым аппаратам более эффективно работать в различных звуковых ситуациях.

В адаптивном усилении основная формула усиленного сигнала может быть записана следующим образом:

$$y(t) = K \cdot A(t) \cdot x(t), \quad (6)$$

где K – коэффициент усиления, который определяется уровнем потери слуха пользователя; $A(t)$ – адаптивный коэффициент, изменяющийся во времени в зависимости от уровня шума:

$$A(t) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(N(t) - N_0)}}, \quad (7)$$

где $N(t)$ – текущий уровень фонового шума; N_0 – пороговый уровень шума; α – параметр, определяющий скорость изменения $A(t)$, обычно, варьируется в диапазоне от 0,1 до 10, где низкие значения обеспечивают более плавное усиление, а высокие – более резкие изменения в усилении при изменениях уровня шума.

Преимущества:

1) улучшение разборчивости речи. Позволяет различать речь даже в условиях шума;

2) комфорт для пользователя. Уменьшение усиления в тихой обстановке помогает избежать излишней громкости, делая звук более комфортным.

Недостатки:

1) сложность алгоритмов. Реализация адаптивного усиления требует более мощных процессоров и сложных алгоритмов;

2) возможные задержки. В условиях резкого изменения шума может возникать небольшая задержка в регулировке уровня усиления.

Адаптивное усиление применяется в цифровых слуховых аппаратах для людей с умеренной и тяжелой потерей слуха [4].

Компрессия звука

Компрессия – метод регулирования усиления в слуховых аппаратах, который позволяет улучшить разборчивость звуков и комфорт их восприятия, адаптируя уровень усиления в зависимости от уровня громкости входного сигнала. Целью компрессии является обеспечение усиления тихих звуков и ограничение усиления громких звуков, что помогает адаптировать восприятие для пользователей с нарушениями слуха.

Основные принципы работы компрессии.

1. Линейное усиление для тихих звуков. Для низкоуровневых сигналов, т. е. тихих звуков, используется линейное усиление. До определенного уровня громкости, который называется пороговой точкой компрессии (T_0), слуховой аппарат усиливает звук с коэффициентом усиления, без сжатия, это означает, что такие звуки усиливаются пропорционально и их громкость регулируется пользователем через коэффициент усиления (2).

2. Компрессия для громких звуков. Когда уровень входного звука превышает пороговую точку компрессии (T_0), слуховой аппарат начинает применять режим компрессии. Данный режим снижает коэффициент усиления для громких звуков, чтобы предотвратить дискомфорт и искажения. Компрессия характеризуется коэффициентом сжатия (C_r), который указывает, на сколько снижается усиление при увеличении уровня громкости входного сигнала. C_r задается как фиксированное соотношение, которое выбирается в зависимости от потребностей пользователя и акустических условий. Данное соотношение описывает, насколько уменьшится усиление при увеличении громкости на входе относительно изменения громкости на выходе.

Формулу, описывающую процесс компрессии, продемонстрируем совместно с уравнением для сжатого сигнала:

$$y(t) = \begin{cases} K \cdot x(t), & \text{если } x(t) \leq T_0 \\ K \cdot T_0 + \frac{x(t) - T_0}{C_r}, & \text{если } x(t) > T_0 \end{cases}, \quad (8)$$

где T_0 – пороговая точка компрессии, K – коэффициент усиления, C_r – коэффициент сжатия.

Преимущества:

1) комфортное восприятие громких звуков. Компрессия позволяет сглаживать громкие звуки, предотвращая их резкий рост и делая восприятие более комфортным;

2) разборчивость речи. Благодаря компрессии разборчивость речи часто улучшается, так как звуки становятся сбалансированными по громкости;

3) подстройка под различные уровни слуха. Настройка коэффициентов компрессии позволяет индивидуально подбирать усиление для различных пользователей.

Недостатки:

1) потеря естественности звука. При высоких уровнях сжатия некоторые звуки могут искажаться или терять свою естественную громкость;

2) сложность настройки. Для правильной работы компрессии требуется тонкая настройка параметров под конкретные акустические условия и особенности слуха пользователя

Компрессия используется в цифровых слуховых аппаратах для людей с тяжелой и глубокой потерей слуха [5].

Заключение

В результате проведенного системного анализа различных методов усиления звука в слу-

ховых аппаратах можно сделать несколько ключевых выводов. Линейное усиление, хотя и является простым и эффективным в условиях легкой потери слуха, имеет ограниченную применимость из-за отсутствия адаптивности и склонности к искажениям при высоком уровне громкости. В свою очередь, нелинейное усиление и компрессия предоставляют более гибкие и эффективные решения для пользователей с различными степенями потери слуха, обеспечивая оптимизацию восприятия речи и снижение искажений в шумной среде.

Методы многополосного и адаптивного усиления, ориентированные на индивидуальную настройку и учет изменения акустических условий, позволяют значительно повысить комфорт и точность восприятия звуков. Однако данные технологии требуют сложных алгоритмов обработки и могут вводить задержки, что является их основным недостатком.

Кроме того, можно предложить комбинированное использование различных методов усиления звука, что обеспечит еще большую эффективность. Например, сочетание многополосного и адаптивного усиления позволит более точно настроить слуховой аппарат под индивидуальные потребности пользователя, улучшая восприятие как тихих, так и громких звуков в различных акустических условиях. Такой гибридный подход может снизить недостатки каждого метода и повысить общий комфорт восприятия звуков.

Таким образом, выбор метода усиления в слуховых аппаратах должен зависеть от степени потери слуха пользователя, акустической среды и индивидуальных потребностей. Для людей с легкой потерей слуха подойдут более простые решения, такие как линейное усиление, в то время как для пользователей с более серьезной потерей слуха необходимы сложные и адаптивные системы, такие как нелинейное усиление, многополосное усиление и компрессия. Гибридные подходы, комбинирующие различные методы, могут значительно повысить эффективность работы слухового аппарата, обеспечив более комфортное и естественное восприятие звуков в различных условиях.

Библиографический список

1. ASHA. Hearing Aids: A Review of Past Research on Linear Amplification, Amplitude Compression, and Frequency Lowering. American Speech-Language-Hearing Association, 1979. P. 115.

2. *Клишков А. А., Горгадзе С. Ф.* Метод измерения коэффициента усиления группового сложного сигнала нелинейным усилителем // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2009. – № S1. – С. 76-79.

3. Real-Time Multirate Multiband Amplification for Hearing Aids / A. Sokolova, D. Sengupta, M. Hunt [et al.] // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 54301–54312.

4. *Strasser F., Puder H.* Adaptive Feedback Cancellation for Realistic Hearing Aid Applications // IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2015. Vol. 23, № 12. P. 2322–2333.

5. *Villchur E.* Compression in hearing aids: Why fast multichannel processing systems work well // Hearing Review. 2008. Vol. 15(6). P. 16–28.

УДК 303.732.4

Н. И. Мирошниченко

ассистент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ЗВУКА В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ

Современные слуховые аппараты играют ключевую роль в улучшении качества жизни людей с нарушением слуха, особенно в условиях фонового шума, который мешает восприятию речи. В статье представлен системный анализ методов шумоподавления, применяемых в слуховых аппаратах, включая фильтрацию частот, адаптивные алгоритмы, микрофонные технологии, подавление импульсного шума и использование искусственного интеллекта. Рассматриваются их теоретические основы, математические модели, преимущества, недостатки и области применения. Особое внимание уделено адаптации технологий к индивидуальным потребностям пользователей, а также перспективам интеграции новых цифровых подходов в слуховые устройства.

Ключевые слова: методы шумоподавления звука, слуховые аппараты.

N. I. Miroshnichenko

Assistant

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SYSTEMATIC ANALYSIS OF NOISE SUPPRESSION METHODS IN HEARING AIDS

Modern hearing aids play a crucial role in improving the quality of life for individuals with hearing impairments, particularly in environments with background noise that hinders speech perception. This article presents a systematic analysis of noise reduction methods used in hearing aids, including frequency filtering, adaptive algorithms, microphone technologies, impulse noise suppression, and artificial intelligence. The theoretical foundations, mathematical models, advantages, disadvantages, and areas of application of these methods are examined. Special attention is given to the adaptation of technologies to the individual needs of users, as well as to the prospects for integrating new digital approaches into hearing devices.

Keywords: sound noise reduction methods, hearing aids.

Введение

Улучшение качества жизни и обеспечение комфортного слухового восприятия являются основными задачами для людей с нарушениями слуха. Шум, окружающий людей в повседневной жизни, становится серьезным препятствием для полноценного восприятия звуков и разборчивости речи. Наличие фоновых шумов, таких как разговоры, транспортный гул или шум ветра, значительно усложняет процесс восприятия и может привести к социальной изоляции, эмоциональному дискомфорту и снижению уровня жизни.

Современные технологии слуховых аппаратов нацелены на решение данных проблем, предоставляя пользователям возможность не только слышать, но и разбирать звуки в сложных акустических условиях. Одной из ключевых функций таких устройств является шу-

моподавление, которое играет важную роль в улучшении качества восприятия речи и снижении когнитивной нагрузки. Широкий спектр методов шумоподавления, включая фильтрацию, адаптивные алгоритмы, пространственную обработку звука, подавление импульсного шума и искусственный интеллект, позволяет минимизировать негативное воздействие шума и адаптироваться к индивидуальным потребностям пользователей.

Актуальность проблемы заключается в необходимости глубокого понимания принципов работы и эффективности различных методов шумоподавления для их оптимального применения в слуховых аппаратах. Современные подходы к обработке звука базируются как на традиционных методах усиления, так и на передовых цифровых технологиях, обеспечивая сочетание высокой производительности и адаптивности.

В данной статье выполнен системный анализ современных методов шумоподавления, применяемых в слуховых аппаратах, с акцентом на их теоретические основы, математическое моделирование, анализ преимуществ и недостатков, а также оценку практической применимости и существующих ограничений.

Фильтрация частот

Фильтрация частот – один из базовых методов шумоподавления, направленный на избирательное подавление нежелательных компонентов звука в зависимости от их частотных характеристик. Основная идея метода заключается в том, что фоновые шумы и полезные сигналы (например, речь) имеют различные спектральные свойства. Фильтрация позволяет изолировать и усилить частоты, соответствующие полезному сигналу, одновременно подавляя шумы, лежащие вне этого диапазона.

Различают три основных типа фильтров:

- 1) низкочастотные – пропускают сигналы с частотами ниже заданного порога подавляя высокочастотные компоненты;
- 2) высокочастотные – пропускают сигналы выше заданного порога, подавляя низкочастотные шумы;
- 3) полосовые фильтры – пропускают сигналы в определенном диапазоне частот, подавляя частоты вне этого диапазона.

Фильтрация частот описывается передаточной функцией, определяющей отношение амплитуды выходного сигнала к входному в зависимости от частоты. Для основных типов фильтров формулы имеют следующий математический вид:

низкочастотный

$$H(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_c}}, \quad (1)$$

высокочастотный

$$H(f) = \frac{j \frac{f}{f_c}}{1 + j \frac{f}{f_c}}, \quad (2)$$

полосовой

$$H(f) = \frac{1}{1 + \left(\frac{f - f_0}{B/2}\right)^2}, \quad (3)$$

где f_c – частота среза, j – мнимая единица, f_0 – центральная частота, B – ширина полосы пропускания.

Преимущества:

- 1) простота реализации. Фильтры являются базовой технологией, легко реализуемой как в аналоговых, так и в цифровых слуховых аппаратах;
- 2) эффективность. Удаление шумов за пределами диапазона частот речи (300–3000 Гц) значительно улучшает разборчивость речи;
- 3) низкая вычислительная сложность. В цифровых аппаратах фильтры эффективно реализуются алгоритмами с низкими затратами.

Недостатки:

- 1) ограниченная адаптивность. Статические параметры фильтров не позволяют эффективно справляться с динамически изменяющимися шумами;
- 2) искажение полезного сигнала. Жесткое подавление частот может привести к потере некоторых компонентов речи, особенно в сложных акустических условиях;
- 3) неэффективность для широкополосного шума. Фильтры слабо работают, если шум перекрывается с полезным сигналом по частотам.

Данный метод применяется как в аналоговых, так и в цифровых слуховых аппаратах, подходит для пользователей с различными степенями потери слуха [1].

Адаптивные алгоритмы шумоподавления

Адаптивные алгоритмы шумоподавления ориентированы на динамическую корректировку параметров обработки звукового сигнала в слуховых аппаратах. Основной принцип заключается в различии спектральных характеристик речи и фонового шума. Алгоритмы анализируют входной сигнал в реальном времени, выделяя компоненты, характерные для речи, и подавляя шум, что особенно важно для людей с нарушениями слуха. Это улучшает качество восприятия речи в сложных акустических условиях, например на улице, в общественном транспорте или в шумных помещениях.

Один из ключевых методов реализации адаптивного шумоподавления – использование фильтров, которые динамически подстраиваются под спектральные и временные характеристики сигнала и шума. Адаптивные алгоритмы шумоподавления в слуховых аппаратах часто основаны на фильтре Винера, который минимизирует шум на основе спектрального соотношения сигнала и шума:

$$H(f) = \frac{S_s(f)}{S_s(f) + S_n(f)}, \quad (4)$$

где $S_s(f)$ – спектральная плотность сигнала (речи), $S_n(f)$ – спектральная плотность шума.

Преимущества:

1) гибкость в различных акустических условиях. Слуховые аппараты с данными алгоритмами могут эффективно работать в самых разных условиях, от тихих помещений до шумных улиц;

2) улучшение качества восприятия речи. Алгоритмы выделяют речь на фоне шума, что облегчает общение в сложных акустических средах;

3) адаптация к динамически меняющемуся шуму. При изменении уровня или характера фонового шума аппарат автоматически корректирует свои настройки.

Недостатки:

1) высокие вычислительные затраты. Современные слуховые аппараты оснащаются мощными процессорами, однако такие алгоритмы требуют значительных ресурсов для обработки сигналов в реальном времени;

2) возможность задержки сигнала. При резких изменениях уровня шума или наложении нескольких шумов алгоритм может ошибочно подавить некоторые элементы речи;

3) задержка сигнала. Хотя современные слуховые аппараты минимизируют задержку, все же она может быть заметна в сложных сценариях.

Адаптивные алгоритмы шумоподавления находят применение в цифровых слуховых аппаратах для пользователей с умеренной и тяжелой потерей слуха [2].

Микрофонные технологии шумоподавления

Микрофонные технологии шумоподавления в слуховых аппаратах направлены на улучшение восприятия речи и снижение фоновых шумов за счет использования направленных микрофонов или массивов микрофонов. Основной принцип – пространственная фильтрация, которая позволяет выделять звуки, поступающие с целевого направления, например от собеседника, и подавлять шумы с других углов.

Современные слуховые аппараты используют сочетание различных режимов работы микрофонов:

1) всенаправленный режим для захвата звука со всех направлений, полезный в тихих средах;

2) направленный режим для сосредоточения на источнике звука перед пользователем в шумных условиях.

3) адаптивные системы для автоматического переключения между этими режимами в зависимости от окружающей акустической обстановки.

Эффективность микрофонной технологии выражается через директивность, которая описывается формулой

$$D(\theta) = \frac{P(\theta)}{P}. \quad (5)$$

Массивы микрофонов в слуховых аппаратах используют фазовые и амплитудные различия звуковых волн, поступающих на разные микрофоны, что в свою очередь, позволяет системе определить направление источника звука и эффективно выделять полезный сигнал, подавляя шумы с других направлений.

Преимущества:

1) выделение целевого звука. Позволяют пользователям сосредоточиться на голосе собеседника, даже если вокруг присутствует фоновый шум;

2) подавление фоновых шумов. Шумы, поступающие сбоку или сзади (например, в кафе или на улице), эффективно подавляются;

3) адаптация к акустическим условиям. Микрофонные системы автоматически изменяют свои параметры в зависимости от изменения уровня и направления звука.

Недостатки:

1) ограничения при близком расположении шумового источника. Если шум и голос поступают с одного направления, микрофоны не могут эффективно их различить.

2) артефакты в сложных акустических условиях. В реверберационных помещениях (с множеством отражений) система может некорректно выделять звук, что приводит к искажениям;

3) зависимость от расположения источника. Для достижения максимального эффекта целевой звук должен находиться перед пользователем, что не всегда удобно.

Микрофонные технологии шумоподавления используются в современных цифровых слуховых аппаратах и могут быть полезны для широкого круга пользователей с различными уровнями потери слуха [3].

Подавление импульсного шума

Подавление импульсного шума основано на алгоритмах, которые распознают резкие, кра-

твовременные пики звука, которые характерны для импульсных шумов, и подавляют их, не влияя на более стабильные сигналы, такие как речь. Данные алгоритмы могут использовать различные подходы, например:

1) анализ амплитуды. Алгоритм анализирует интенсивность звука и, если обнаруживает резкое увеличение амплитуды, что характерно для импульсного шума, автоматически снижает уровень громкости на определенное время;

2) время воздействия. Импульсный шум обычно краткосрочен, в отличие от речи. Алгоритм может определить, что звуковой сигнал длится очень короткое время, и автоматически применяет фильтрацию для ослабления или удаления этого шума;

3) темпоральная фильтрация. Данная техника позволяет фильтровать только кратковременные звуковые пики, оставляя долгосрочные, более стабильные звуковые сигналы (например, речь) нетронутыми.

Математическая модель подавления импульсного шума может включать фильтрацию, основанную на анализе амплитуды сигнала и временных характеристик импульсных шумов, которую можно описать простым алгоритмом

$$y(t) = \begin{cases} x(t), & \text{если } |x(t)| \leq T \\ \alpha \cdot x(t), & \text{если } |x(t)| > T \end{cases} \quad (6)$$

где $x(t)$ – входной сигнал, $y(t)$ – выходной сигнал, T – порог для импульсного шума, α – коэффициент ослабления импульсного шума, обычно $\alpha < 1$.

Данный алгоритм фильтрует импульсный шум, уменьшая амплитуду сигналов, которые превышают установленный порог T , и оставляя остальные звуки (например, речь) без изменений.

Преимущества:

1) улучшение восприятия речи. Импульсный шум может мешать восприятию речи, особенно в тихой или умеренно шумной обстановке. Подавление импульсного шума позволяет улучшить восприятие речи;

2) комфорт использования. Меньше неприятных резких звуков, таких как хлопки или удары, что повышает комфорт при использовании слухового аппарата в повседневной жизни;

3) минимизация потери информации. Подавление импульсного шума не влияет на постоянные звуковые сигналы, что минимизирует потерю важной аудиовизуальной информации.

Недостатки:

1) задержка обработки. Подавление импульсного шума может привести к задержке в обработке сигнала, что особенно критично в реаль-

ном времени (например, при беседе). Однако в большинстве случаев задержка минимальна и не влияет на качество общения.

2) невозможность полного подавления в сложных случаях. В некоторых случаях импульсный шум может быть очень похож на речевые звуки или другие важные сигналы, и алгоритм может ошибочно уменьшить их громкость.

3) неэффективность в некоторых акустических средах. Если окружающая среда имеет сильные, постоянные фоновые шумы, такие как шумы от механизмов или непрерывные звуки, система может испытывать трудности с различением между импульсным шумом и другими звуками.

Данный метод используется в большинстве современных цифровых слуховых аппаратов и подходит для пользователей с потерей слуха от легкой до глубокой [4].

Шумоподавление с использованием искусственного интеллекта

Шумоподавление с использованием искусственного интеллекта (ИИ) представляет собой передовую технологию обработки звука, которая позволяет слуховым аппаратам адаптироваться к сложным акустическим средам. Принцип работы основан на обучении моделей ИИ различать речь и шум, анализируя их спектральные и временные характеристики. Данные модели могут выделять полезный сигнал, подавляя фоновый шум даже в условиях, где традиционные методы менее эффективны.

В основе ИИ-методов лежат глубокие нейронные сети, которые обучаются на больших наборах данных, включающих записи речи и шума:

$$y = f(x; \theta), \quad (7)$$

где x – входной сигнал, y – очищенный сигнал, θ – параметры модели, определенные в процессе обучения.

Оптимизация параметров θ достигается с использованием градиентных методов, минимизируя функцию ошибки между выходным сигналом модели и эталонным сигналом:

$$L = \sum_t (s_t - \hat{s}_t)^2, \quad (8)$$

где s_t – эталонный сигнал, $\hat{s}_t$ – выход модели.

Преимущества:

1) высокая точность шумоподавления. ИИ эффективно справляется с выделением речи в сложных акустических средах;

2) адаптивность. Системы на основе ИИ могут обучаться новым шумам, улучшая производительность со временем;

3) индивидуальная настройка. Алгоритмы ИИ могут адаптироваться к конкретным потребностям пользователей.

Недостатки:

1) высокие вычислительные требования. Обработка звука в реальном времени требует мощного аппаратного обеспечения;

2) зависимость от данных. Качество работы модели напрямую связано с качеством и объемом обучающих данных;

3) потребление энергии. Более сложные алгоритмы могут быстрее разряжать батареи слуховых аппаратов.

ИИ-методы шумоподавления используются в премиальных и персонализированных слуховых аппаратах, обеспечивая качественный звук в сложных акустических условиях. Технология подходит для людей с умеренной до глубокой потерей слуха [5].

Заключение

В данной статье был проведен системный анализ основных методов шумоподавления, используемых в современных слуховых аппаратах, включая фильтрацию частот, адаптивные алгоритмы, микрофонные технологии, подавление импульсного шума и искусственный интеллект. Каждый из методов обладает сильными и слабыми сторонами, и их оптимизация является ключевым фактором для улучшения общей эффективности слуховых устройств.

Фильтрация частот использует низкочастотные, высокочастотные и полосовые фильтры для отделения полезных сигналов от шума. Данный метод эффективен для удаления звуков за пределами диапазона речи, но плохо адаптируется к изменениям шума и может искажать сигнал.

Адаптивные алгоритмы, такие как фильтры Винера, подстраиваются под изменения акустической обстановки в реальном времени, хорошо различая речь и шум. Однако требуют больших вычислительных ресурсов и могут вызывать задержки сигнала.

Микрофонные технологии, например направленные микрофоны и массивы микрофонов, фокусируются на звуках с определенных направлений и подавляют фоновый шум. Их эффективность снижается, если источники шума находятся прямо перед пользователем.

Подавление импульсного шума фокусируется на устранении резких кратковременных шумов,

не затрагивая речь. Эффективно в условиях кратковременных шумовых всплесков, но слабо работает при постоянном фоне.

Шумоподавление с использованием искусственного интеллекта, основанное на глубоких нейронных сетях, точно различает речь и шум, обеспечивая высокую адаптивность. Однако такие системы требуют значительных вычислительных мощностей и энергии, что ограничивает их использование в слуховых аппаратах с ограниченным временем работы от батареи.

Будущее слуховых аппаратов связано с интеграцией гибридных алгоритмов, которые объединяют сильные стороны описанных методов. Слияние фильтрации частот, адаптивных алгоритмов, микрофонных технологий и ИИ позволяет слуховым аппаратам более эффективно справляться с разнообразными и изменяющимися акустическими условиями, с которыми сталкиваются пользователи. Гибридный подход предоставляет потенциал для оптимизации работы слухового аппарата в различных шумовых условиях и более гибкой адаптации к индивидуальным потребностям, что обеспечит более персонализированное и эффективное восприятие звуков.

Библиографический список

1. Sebastian A., James T. G. Digital filter bank for hearing aid application using FRM technique // 2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems, SPICES 2015. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7091489> (дата обращения: 20.11.2024).
2. Maj J. B., Wouters J., Moonen M. Noise reduction results of an adaptive filtering technique for dual-microphone behind-the-ear hearing aids // Ear Hear. 2004. Vol. 25(3). P. 215–29.
3. Bentler R. A. (2005). Effectiveness of Directional Microphones and Noise Reduction Schemes in Hearing Aids: A Systematic Review of the Evidence // Journal of the American Academy of Audiology. 2005. Vol. 16(7). P. 473–484.
4. Mäntysalo S., Vuori J. (1984). Effect of impulse noise and continuous steady state noise on hearing // British Journal of Industrial Medicine. 1984. Vol. 41(1). P. 122–132.
5. Sambana B. Noise Reduction Transactions for Biomedical Medical Image Processing Techniques using Artificial Intelligence // Engineering Proceedings. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/366514665_Noise_Reduction_Transactions_for_Biomedical_Medical_Image_Processing_Techniques_using_Artificial_Intelligence (дата обращения: 20.11.2024).

УДК 004.5

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-57-65

Л. Д. Примаков*

магистрант

Е. Л. Турнецкая*

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

КУЛЬТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ

Рассмотрены особенности проектирования интерфейсов веб-ресурсов в контексте локализации для различных стран, акцентируя внимание на аспектах визуального оформления, содержания и функциональных различиях. Проведен сравнительный анализ локализованных версий веб-приложения компании LG для Российской Федерации, Китая, Японии и США.

Ключевые слова: локализация, веб-дизайн, пользовательский опыт, пользовательский интерфейс, UX-исследования.

L. D. Primakov*

Postgraduate Student

E. L. Turnetskaya*

PhD, Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

THE CULTURAL AND FUNCTIONAL DISPARITIES BETWEEN RUSSIAN AND GLOBAL WEB INTERFACES

The features of designing web resource interfaces in the context of localization for different countries are considered, focusing on aspects of visual design, content and functional differences. A comparative analysis of localized versions of the LG website for the Russian Federation, China, Japan and the USA has been carried out.

Keywords: localization, UX, UI, web design, user experience, user interface, UX research.

В эпоху развития цифровых технологий внимание к веб-дизайну значительно возросло как в процессе разработки новых программных продуктов, так и в улучшении целевых показателей существующих систем. Это обусловлено тем, что результаты внедрения различных подходов к веб-дизайну могут оказать положительный эффект или иметь негативные последствия. Например, из-за неудачного редизайна приложения Snapchat его ежедневная посещаемость снизилась на 2%, а доход компании уменьшился на 36% [1]. В противоположность этому обновление UX сайта компании Continental Office увеличило трафик на 103% по сравнению с предыдущим годом до внедрения обновления, а количество новых контактов на 645% [2]. Оба случая демонстрируют ключевую роль UX-дизайна в успехе или провале продукта. Если в первом примере разработчики Snapchat неправильно интерпретировали потребности пользователей, объединив функционал просмотра историй и личную переписку в одном месте

[3], что снизило интерес пользователей и сократило количество рекламных контрактов, то детальная проработка пользовательских историй на сайте компании Continental Office способствовала значительному росту популярности сервиса. Поэтому грамотный подход к проведению UI/UX-исследований на всех этапах работы над продуктом поможет добиться наилучших результатов.

При составлении UX-исследований обычно обращают внимание на следующие аспекты: поведение пользователя, его отношение к продукту, а также пользовательский опыт. Однако не менее важно учитывать культурные особенности разных стран, которые могут существенно влиять на UI/UX-дизайн и конечный продукт в целом. Любое неправильно оцененное или неучтенное обстоятельство в веб-дизайне может существенно повлиять на восприятие продукта пользователями. Исследования в области культурных и функциональных особенностей российских и международных веб-интерфейсов

позволят компаниям создавать более комплексные и информированные UX-исследования, а также помогут определить стратегический вектор развития веб-дизайна для проектирования ИТ-продуктов.

Локализация интерфейса – важный этап при разработке дизайна программного продукта. Эта процедура охватывает не только перевод текстового контента веб-ресурса, но и интеграцию множества факторов, связанных с культурными особенностями различных стран, что способствует повышению привлекательности и удобопонятности интерфейса для пользователей. Одним из таких факторов является цвет. Но в разных странах восприятие одного и того же цвета может существенно варьироваться в зависимости от региона. Например, в некоторых азиатских странах, таких как Япония, Китай, Вьетнам, красный – цвет власти, энергии и жизненной силы [4], тогда как в западных культурах, включая американскую, он чаще воспринимается как индикатор ошибки или акцент [5]. Жители Канады, как правило, предпочитают интерфейсы с преобладанием серых оттенков, в отличие от немцев и японцев. Однако пользователи из Германии более благосклонно относятся к оттенкам синего цвета по сравнению с японцами [6]. В России синий цвет используется в таких ИТ-продуктах, как социальная сеть «ВКонтакте», мессенджер «Телеграм», почтовый сервис Mail.ru, портал государственных услуг «Госуслуги», маркетплейс Ozon и др. Выбор этого цвета может быть основан на том, что он ассоциируется со спокойствием, безмятежностью, доверием и порядком [7]. Тем не менее, согласно исследованию НИУ ВШЭ, было выявлено, что сфере СМИ наилучшие резуль-

таты по доверию пользователей показал не синий, а черно-белые, зеленые и серые схемы [8]. Такие примеры подчеркивают важность выбора цветовой палитры при проектировании веб-интерфейсов.

Восприятие пользователем информации на веб-страницах в разных странах

При проектировании интерфейса веб-страниц особое внимание уделяется структуре и расположению контента, поскольку эти элементы напрямую влияют на восприятие пользователем информации. В своей статье Джонатан Чен рассматривает два варианта макета поисковой системы Yahoo! для американской и японской аудиторий (рис. 1, 2). Интерфейс веб-страницы в Японии разделен на блоки, в которых можно просматривать больше информации на одной странице. Чтобы разделить типографику и направлять пользователей, используются значки и символы, привлекающие внимание к списку категорий сбоку и сверху. С другой стороны, в макете Yahoo! в Америке используется пустое пространство, чтобы отделить разделы информации друг от друга [5].

Объясняя такие различия в подходах к локализации интерфейса для японской аудитории, Джонатан Чен ссылается на работу Джулии Сэйпхан. Она выделяет несколько характерных особенностей веб-дизайна в Японии: недоверие пользователей к новому потенциальному продукту и их высокая потребность к детальному раскрытию информации для повышения лояльности пользователей к товару или услуге [9]. Таким образом, подход к дизайну в Японии



Рис. 1. Макет японской версии Yahoo!
(<https://www.yahoo.co.jp/>, 2024 г.)

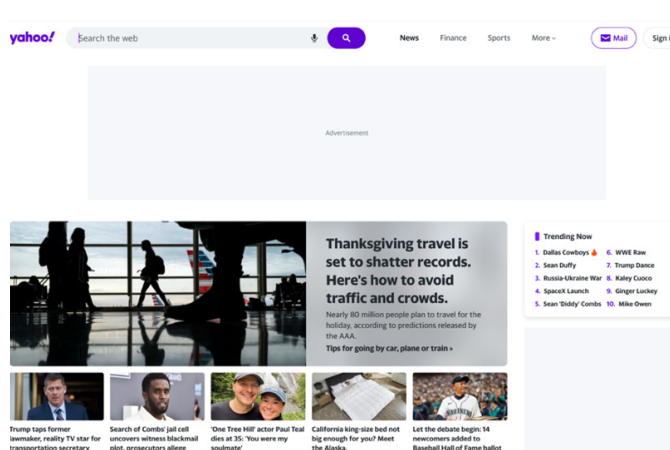


Рис. 2. Макет американской версии Yahoo!
(<https://www.yahoo.com/>, 2024 г.)

ориентирован на предоставление обширной информации, способствующей формированию доверительных отношений с пользователями. Отличие американского интерфейса от японского аналога автор объясняет короткой концентрацией внимания при чтении у пользователей из Америки [5], что в свою очередь предопределяет необходимость в структурированном представлении информации.

Не менее интересными являются особенности веб-дизайна в Китае. Автор статьи «Главные особенности китайского веб-дизайна и их истоки» выделяет несколько общих признаков китайского сайта: перегруженность веб-страниц информацией, большое количество ссылок и рекламы, яркий дизайн, запутанная навигация, блоки с прокручивающимся текстом.

Эти особенности являются следствием ряда факторов, в числе которых исторические особенности «модемного» интернета в Китае. Создатели первых китайских сайтов стремились разместить как можно больше информации и ссылок на главной странице, предоставляя пользователям возможность собрать необходимую информацию за одну загрузку [9].

Тем не менее визуальная эволюция китайских веб-ресурсов также заслуживает внимания. Автор статьи приводит скриншот китайского портала Sohu.com, сделанного в 2013 г. (рис. 3). Сравнивая макет Sohu.com 2013 г. и 2024 г. (рис. 4), можно сделать вывод о том, что количество текста на странице существенно снизилось, нет всплывающих баннеров рекламы (блокировщики рекламы отключены), цветовая палитра стала более сдержанной. Однако на странице отсутствует текст без гипер-

ссылок. Можно выделить акцент на использование ярких элементов в дизайне китайских интерфейсов, что подтверждает опыт проектирования сайтов международной компанией Cuberto [10].

Особенности проектирования интерфейсов веб-приложений в России и странах СНГ

Предприниматель и автор статьи «Дизайн есом-сервисов: как различается подход к UX и UI в странах СНГ и США» Сергей Федоров определил ряд ключевых различий, отражающих культурные и психологические особенности пользователей из стран СНГ по сравнению с американским дизайном [11].

1. Пользователи чаще придают значение визуальному оформлению сайта, тогда как для американских пользователей более важными аспектами являются коммуникация и поддержка на всех этапах взаимодействия с сервисом.

2. Пользователи более требовательны к лаконичной, компактной и структурированной информации. Избыточное количество данных на веб-странице может затруднить навигацию и восприятие, что, в свою очередь, негативно сказывается на пользовательском опыте.

3. Жители стран СНГ, особенно России, восприимчивы к визуальным деталям, иконкам и значкам.

4. Информация о продукте или услуге часто размещается в скрытых подпунктах и вкладах, что противоречит ожиданиям пользователей из США, для которых важной является доступность исчерпывающей информации на главной странице.

Кроме того, стоит отметить, что компания Cuberto указывает на недостаточное развитие визуальной эстетики в российском веб-



Рис. 3. Макет «Sohu.com» 2013 г.



Рис. 4. Макет «Sohu.com» 2024 г.

дизайне. В большинстве своем проектирование ориентировано на уже существующие компании, и создание интерфейсов часто осуществляется с учетом только фирменного стиля. В этом контексте Cuberto также подчеркивает, что российский дизайн характеризуется шаблонными композициями, что может ограничивать степень инноваций и творческого подхода в создании пользовательских интерфейсов [10].

Сравнительный анализ версий веб-интерфейса для разных стран

Для более детального анализа информации рассмотрим версии интерфейса веб-приложения международной компании LG для ранее упомянутых стран: США (<https://www.lg.com/us>), Япония (<https://www.lg.com/jp/>), Китай (<https://www.lg.com/cn>) и РФ (<https://www.lg.com/ru>). Сравним визуальное оформление, функционал и информационное наполнение главной страницы сайта.

Стоит обратить внимание, что каталог товаров в хедере страницы для американской аудитории интегрирован во вкладку Shop, в то время как для остальных стран присутствует несколько основных категорий, например: «Рекомендуемые», «ТВ/Аудио/Видео», «ИТ-продукты», «Бытовая техника» (рис. 5–8).

Также стоит отметить различие вида кнопок при скролле страницы на рис. 9–11.

В американской локализации есть подпись Тор на кнопке возврата страницы. При этом для русской и китайской локализации отсутствует кнопка поддержки. Рассмотрим функционал этой кнопки для Японии и США (рис. 12–14). В японском варианте сайта окно службы поддержки является более содержательным по сравнению с американским аналогом: в нем есть список часто задаваемых вопросов и ссылка на чат поддержки пользователей.

Перейдем к оценке информационного наполнения. На первом экране при открытии веб-приложения представлена универсальная карусель с информацией о продуктах и акциях,



Рис. 5. Хедер сайта для США

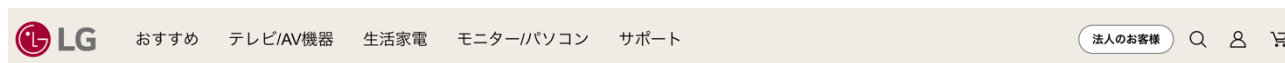


Рис. 6. Хедер сайта для Японии



Рис. 7. Хедер сайта для Китая



Рис. 8. Хедер сайта для РФ

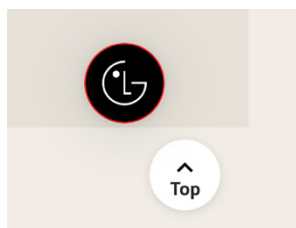


Рис. 9. Американская локализация

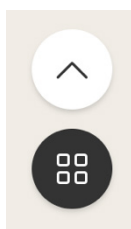


Рис. 10. Японская локализация



Рис. 11. Русская и китайская локализация

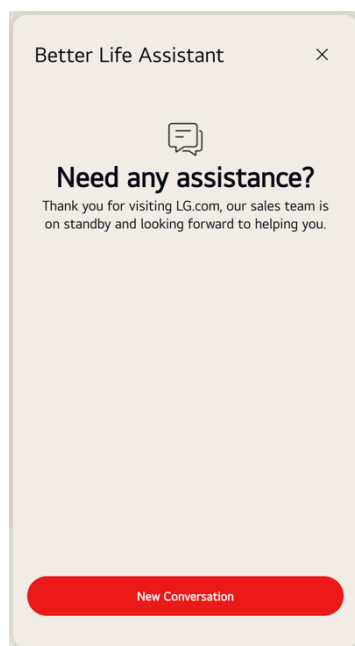


Рис. 12. Американская локализация – служба поддержки

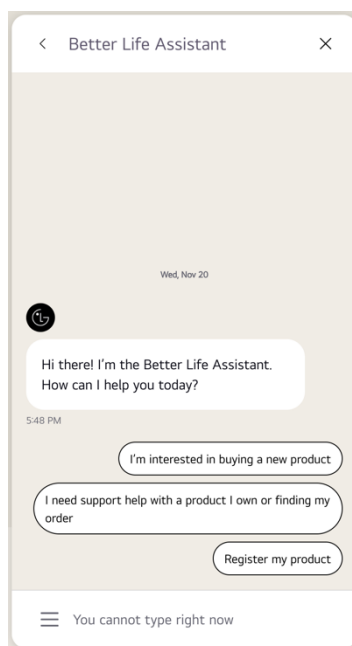


Рис. 13. Американская локализация – окно чата поддержки



Рис. 14. Японская локализация – служба поддержки

Сравнение информационных разделов сайта для локализации в разных странах

Название раздела	США	Япония	Китай	Россия
Акции и распродажи	3	2	0	0
Информация о надежности продуктов компании	2	2	1	0
Тематические подборки	3	0	1	1
Программа лояльности и регистрация в личном кабинете покупателя	2	3	0	0
Новости о компании	3	3	0	0
Сервис, обслуживание и поддержка пользователей	2	3	1	2
Рекомендуемые и популярные товары	3	3	3	3
Ссылки на социальные сети компании	0	3	0	0
Рейтинг и авторитетность компании	0	1	1	3
Статьи об использовании продуктов компании	0	0	3	1
Описание инновационных преимуществ продуктов	3	3	0	3
Интеграция со сторонними продуктами, сервисами или услугами	1	1	0	3

что характерно для всех проверяемых локализаций. Однако по мере пролистывания наблюдаются различия. Так, на втором экране американского сайта представлен блок акций, в японской версии – рекомендуемые товары и их особенности, китайская версия акцентирует внимание на товарах и статьях об их использовании, тогда как русская версия выделяет рейтинг компании и инновационные технологии ее продукции. Таблица иллюстрирует основные информационные разделы и оценивает уровень их интеграции в каждую из локализаций следующим образом:

– 0 – отсутствует информация на главной странице (исключая хедер и футер),

– 1 – минимальное внимание (информационные карточки скрыты или мало заметны пользователю),

– 2 – умеренное внимание (информационные карточки раздела присутствуют и достаточно видны),

– 3 – максимальное внимание (на веб-странице сделан акцент на привлечение внимания посетителей сайта на данном разделе).

На рис. 15–18 визуализированы различия в разделе «Сервис и обслуживание» для каждой

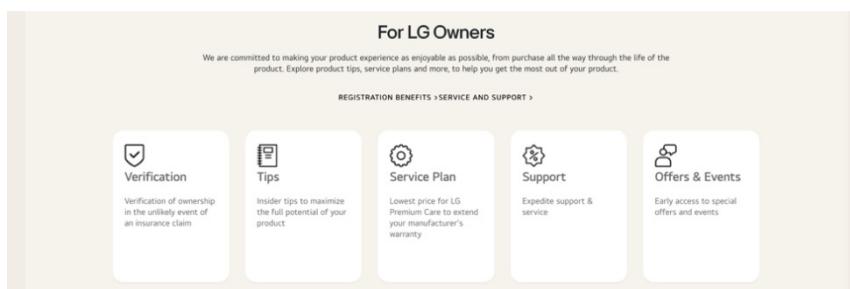


Рис. 15. Пример раздела о поддержке пользователей для американской аудитории



Рис. 16. Пример раздела о поддержке пользователей для японской аудитории



Рис. 17. Пример раздела о поддержке пользователей для китайской аудитории

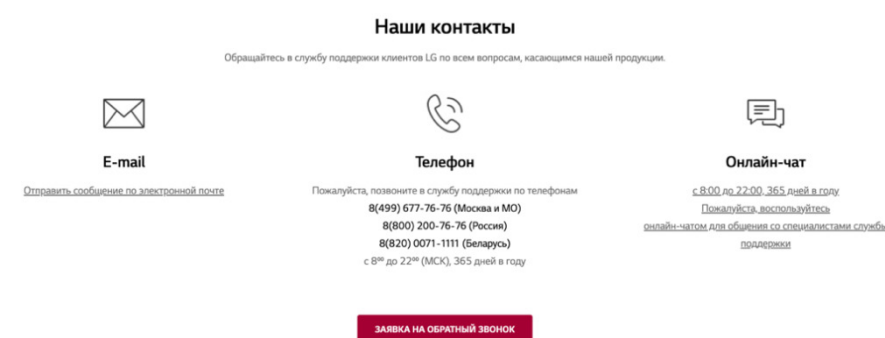


Рис. 18. Пример раздела о поддержке пользователей для российской аудитории

страны. Наиболее обширная и информативная информация представлена в японской версии сайта, в то время как в китайской версии аналогичный контент представлен менее заметно и расположен в нижней части страницы, что может указывать на различия в приоритетах региональных офисов компании и их стратегии коммуникации с клиентами.

Таким образом, по результатам таблицы можно определить, что разработчики сайта компании LG акцентируют внимание пользователей всех исследуемых стран на рекомендуемых и популярных товарах. Это может свидетельствовать о желании компании продвигать продажи наиболее успешных или прибыльных моделей, которые имеют наибольший интерес среди широкой аудитории. Кроме того, раздел, посвященный инновационности продуктов, является характерным для всех локализаций, за исключением Китая. По остальным параметрам наблюдаются различия (рис. 19–22).

Компания обращает внимание американской аудитории преимущественно на скидки, тематические подборки и новости компании. Внимание к акциям и распродажам может учи-

тывать культурную тенденцию к погоне за «выгодными покупками» и персонализированными предложениями в США (рис. 19).

Для жителей Японии сайт предоставляет подробную информацию о программе лояльности, сервисном обслуживании, новостях компании, а также уделяет большое внимание ссылкам на социальные сети. Это подчеркивает значимость высокого уровня обслуживания и поддержания длительных взаимодействий с клиентами в японском контексте (рис. 20).

В китайской локализации сделан особый акцент на статьях и отзывах об использовании продуктов, что может указывать на высокую значимость мнений пользователей и третьих сторон в процессе принятия решения о покупке (рис. 21).

Пользователям из России компания предоставляет подробную информацию о возможностях использования продуктов в интеграции с большим списком онлайн-кинотеатров, а также подчеркивает свою авторитетность на рынке за счет долгого срока продаж и высокого качества продукции (рис. 22). Это может говорить о важности для пользователей встраивания но-

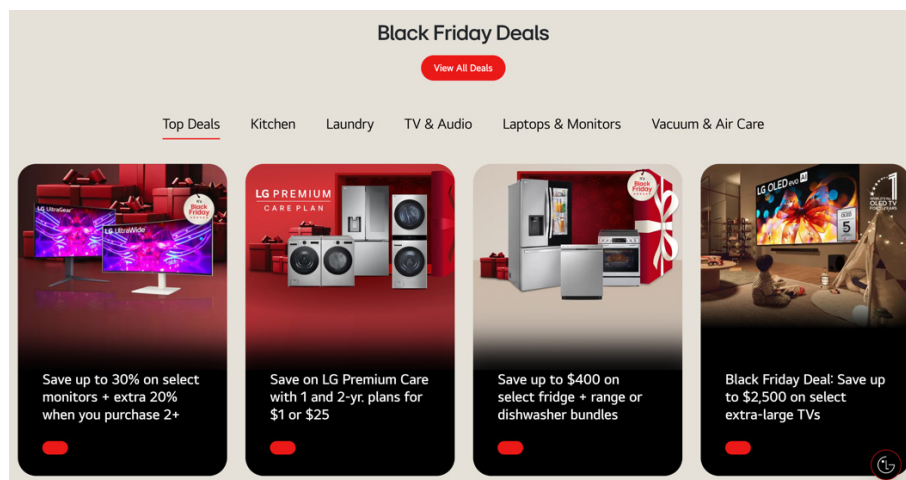


Рис. 19. Блок об акциях в американской локализации



Рис. 20. Блок о новостях компании и ее социальных программах

智慧家电生活

萌宠家庭必看
这款宠护宝值得拥有
各位萌宠爸爸妈妈们
快来拥抱这份来自LG的宠护决心吧! 🐾

白若玉石无瑕疵
除却猫毛安心贴
小猫咪虽然可爱
但掉毛问题着实让人头疼.....

每一扇窗
都有属于自己的故事
来和LG一起感受
一扇特别的“窗”

纯白海景房的绝配电竞显示器
颜值与实力缺一不可~
满足您对游戏的一切需求!

Рис. 21. Блок об использовании продуктов LG в китайской локализации

Телевизоры LG OLED
Искусство, рожденное
многолетним опытом инноваций

Управление голосом
LG ThinQ
— Хай, LG!
Включи сериал!

Интеллектуальный процессор α11 4K

LG SMART TV | webOS
Откройте для себя мир Smart TV

Рис. 22. Блок интеграции продуктов с онлайн-кинотеатрами в русской локализации

вых продуктов в уже имеющийся технологический контекст.

При рассмотрении визуального оформления сайтов выявляются несколько ключевых особенностей в различных локализациях.

1. Наблюдается использование скругленных рамок карточек в интерфейсах США и Японии, тогда как для Китая и России выбираются острые рамки. Скругленные формы часто ассоциируются с дружелюбием, современностью и легкостью восприятия. Острые края могут передавать четкость и строгость, что может быть привлекательным для более делового или практического восприятия.

2. Российский интерфейс демонстрирует минимальное количество текста, в том числе на изображениях, что контрастирует с более насыщенным текстовым содержанием американско-

го интерфейса, что подтверждает один из тезисов статьи «Дизайн есоm-сервисов: как различается подход к UX и UI в странах СНГ и США» Сергея Федорова [11]. Такой подход говорит о предпочтении визуального восприятия информации, снижая когнитивную нагрузку и облегчая пользователям ориентирование на сайте. В США, напротив, пользователи предпочитают более детализированную текстовую информацию, что обеспечивает им более полное представление о продукте или сервисе.

3. Японская версия отличается особенно крупным шрифтом и элементами дизайна. Такая особенность способствует улучшенному визуальному восприятию информации и привлечению внимания к контенту.

4. Американская локализация включает раскрывающиеся подсказки, что способствует луч-

шему взаимодействию пользователей, которым важны интерактивное обучение и адаптация, с интерфейсом и повышению удобства навигации.

5. Японский интерфейс характеризуется минимальным количеством изображений, тогда как в китайской версии используются яркие стикер-арт-фотографии. Российский вариант акцентируется на рекламных изображениях с интеграцией сервисов подписки на онлайн-кинотеатры.

6. Значительное количество иконок в японской локализации может служить дополнительным средством визуализации информации и облегчает навигацию по сайту, так как иконки позволяют быстро воспринимать информацию в условиях информационной насыщенности.

Выявленные визуальные особенности подчеркивают важность адаптации интерфейсов в зависимости от культурных и когнитивных особенностей региональных аудиторий. Эти различия демонстрируют стремление компа-

нии сделать свои продукты и услуги более доступными и комфортными для пользователей в разных культурных средах и улучшить пользовательский опыт.

Таким образом, внимание к визуальным, текстовым и функциональным различиям в локализациях сайта компании LG подчеркивает значимость культурных и рыночных факторов, влияющих на восприятие пользователями информации и взаимодействие с интерфейсом. Эти аспекты являются ключевыми для формирования эффективной стратегии продвижения продуктов компании на международных рынках.

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что подходы к веб-дизайну существенно различаются в разных культурных контекстах, отражая уникальные потребности и ожидания пользователей. Это подчеркивает важность локализации и культурной адаптации интерфейсов для достижения эффективного взаимодействия с целевой аудиторией.

Библиографический список

1. Сделал редизайн – потерял миллиард. URL: <https://habr.com/ru/companies/edison/articles/432866/> (дата обращения: 10.10.2024).

2. Жолудова О. Реальная окупаемость инвестиций в UX: Кейсы редизайна в сфере B2B. URL: <https://vc.ru/design/142397-realnaya-okupaemost-investicii-v-ux-keisy-redizaina-v-sfere-b2b> (дата обращения: 13.10.2024).

3. Wagner K. Here's why Snapchat's big redesign isn't working. URL: <https://www.vox.com/2018/5/1/17309494/snapchat-redesign-explained-ads-evan-spiegel-q1-earnings> (дата обращения: 13.10.2024).

4. Mathers C. What Is the Meaning of Color in Japanese Culture? URL: <https://classroom.synonym.com/what-is-the-meaning-of-color-in-japanese-culture-12081009.html> (дата обращения: 15.10.2024).

5. Chen J. Differences Between American and Japanese User Experience Design. URL: <https://blog.btrax.com/american-japanese-ux-design/#> (дата обращения: 17.10.2024).

6. Colour, trust, satisfaction, and E-loyalty: the vietnamese experience of website design / Khuong Tran, Nhi Pham, Nhan Dinh, Thuan Nguyen Hoang. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/324639946_Colour_trust_satisfaction_and_E-loyalty_the_vietnamese_experience_of_website_design (дата обращения: 18.10.2024).

publication/324639946_Colour_trust_satisfaction_and_E-loyalty_the_vietnamese_experience_of_website_design (дата обращения: 18.10.2024).

7. Роль цвета в веб-дизайне / Ю. В. Калугина, А. А. Кондакова, А. С. Михайлов, С. В. Стрельникова. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tsveta-v-veb-dizayne> (дата обращения: 20.10.2024).

8. Коростелева К. Ученые выяснили, как цвета сайта влияют на доверие пользователей URL: <https://skillbox.ru/media/design/uchenyeyevyyasnili-kak-tsveta-sayta-vliyayut-na-doverie-polzovateley/> (дата обращения: 24.10.2024).

9. Saephan J. Japanese Website Design Trends: 3 Consumer Behavior Traits to Consider. URL: <https://blog.btrax.com/japan-web-design-localization/> (дата обращения: 03.11.2024).

10. UI Design in Different Countries. URL: <https://uxplanet.org/ui-design-in-different-countries-fccd75f27a4> (дата обращения: 05.11.2024).

11. Федоров С. Дизайн есом-сервисов: как различается подход к UX и UI в странах СНГ и США. URL: <https://netology.ru/blog/07-2023-ux-ui-approach> (дата обращения: 05.10.2024).

УДК 004.85

А. С. Раскопина

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Современные глубокие нейронные сети, несмотря на высокую точность, требуют значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение на устройствах с ограниченными возможностями. В работе рассматриваются три метода оптимизации: смешанная точность (Mixed Precision), обрезка (Pruning) и квантование (Quantization), каждый из которых направлен на ускорение инференса, уменьшение потребления памяти и повышение производительности. Статья помогает определить наиболее подходящий метод ускорения в зависимости от приоритетных задач: точности или скорости работы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, глубокие нейросети, методы оптимизации, квантование, метод смешанной точности, метод обрезки.

A. S. Raskopina

PhD Student

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SOFTWARE METHODS FOR ACCELERATING DEEP NEURAL NETWORKS

Modern deep neural networks, despite their high accuracy, require significant computing resources, which limits their use on devices with limited capabilities. The paper considers three optimization methods: Mixed Precision, Pruning and Quantization, each of which is aimed at accelerating inference, reducing memory consumption and improving performance. The article helps to determine the most appropriate acceleration method depending on the priority tasks: accuracy or speed of work.

Keywords: artificial intelligence, deep neural networks, optimization methods, quantization, mixed precision method, pruning method.

Глубокие нейронные сети стали основным инструментом в решении множества задач в области искусственного интеллекта, включая распознавание изображений, обработку естественного языка и рекомендательные системы. Однако, несмотря на их высокую точность, использование таких моделей связано с большими вычислительными затратами, что ограничивает их применение в реальном времени и на устройствах с ограниченными ресурсами. В связи с этим возникает необходимость в методах, которые позволяют ускорить инференс нейронных сетей, сохраняя при этом их эффективность и точность.

Существует несколько программных методов ускорения работы нейронных сетей, каждый из которых имеет преимущества и ограничения. Одними из наиболее перспективных являются такие методы, как смешанная точность (Mixed Precision), обрезка (Pruning) и квантование (Quantization). Эти подходы позволяют

существенно снизить вычислительные затраты, уменьшить объем памяти, необходимый для хранения моделей, а также ускорить время обработки данных, что имеет важное значение для реального применения нейронных сетей в устройствах с ограниченными вычислительными мощностями, таких как мобильные устройства, встраиваемые системы и др.

Цель данной статьи – сравнительный анализ эффективности программных методов ускорения глубоких нейронных сетей.

Смешанная точность (Mixed Precision)

Смешанная точность (Mixed Precision) – это метод, который сочетает использование числовых форматов разной разрядности, таких как 16-битные (float16) и 32-битные (float32) числа с плавающей точкой, для оптимизации вычислений в глубоких нейронных сетях. Основ-

ная идея состоит в том, чтобы выполнять большинство вычислений в более низком формате float16, сохраняя при этом точность ключевых операций в float32.

Большинство параметров модели, такие как веса и активации, хранятся и обрабатываются в формате float16. Это значительно уменьшает объем памяти, необходимый для хранения модели, и сокращает объем вычислений. Некоторые критически важные вычисления, например обновление весов в процессе обратного распространения ошибки, выполняются в формате float32. Это помогает избежать ошибок округления и накопления погрешностей, характерных для чисел с меньшей разрядностью.

При использовании float16 возможны потери точности, связанные с тем, что небольшие значения градиентов становятся слишком малыми для представления. Для решения этой проблемы используется техника масштабирования потерь (Loss Scaling), которая увеличивает градиенты перед вычислениями и уменьшает их после, чтобы предотвратить их обнуление [1].

Смешанную точность в данной работе реализовали при помощи специально написанной функции `train_with_mixed_precision`. В данной функции переводим модель в режим обучения, перемещаем данные на GPU и сбрасываем градиенты.

Используем автокастинг, который автоматически переводит операции в формат float16, где это возможно. Это позволяет GPU выполнять вычисления быстрее и использовать меньше памяти.

Сначала ошибка масштабируется методом `scaler.scale(loss)`, чтобы избежать проблем с низкой точностью. Затем вызывается метод `.backward()` для вычисления градиентов. Далее применяем метод `scaler.update()`, который автоматически обновляет масштабирующий коэффициент в зависимости от успешности или неуспешности предыдущих шагов обновления градиентов.

Благодаря данному методу и комбинированию форматов float16 и float32 удастся избежать значительного снижения точности модели, что делает метод универсальным для большинства задач.

Обрезка (Pruning)

Обрезка (Pruning) – это метод уменьшения размера нейронной сети путем удаления менее значимых параметров, таких как веса или нейроны. Целью является снижение вычислительной сложности модели и уменьшение объема па-

мяти, необходимой для ее хранения. Этот подход основан на наблюдении, что в большинстве нейронных сетей существует множество параметров, которые практически не влияют на выходные результаты. Удаляя их, можно ускорить инференс и уменьшить потребление ресурсов.

Модель с меньшим количеством параметров занимает меньше памяти, что особенно важно для встроенных систем, и упрощенная архитектура модели может облегчить анализ ее работы. Но удаление значительного количества параметров может привести к заметному ухудшению производительности модели, особенно если обрезка выполнена без учета влияния на точность. Также неструктурная обрезка может приводить к разреженным матрицам, которые плохо обрабатываются на стандартных и графических процессорах.

Метод обрезки широко используется для оптимизации нейронных сетей в приложениях, где требуется работа в реальном времени или на устройствах с ограниченными вычислительными возможностями, например в мобильных устройствах [2].

В данной работе обрезка реализовалась при помощи специально написанной функции `with_pruning`. Применялась L1-регуляризованная обрезка, которая удаляет веса с наименьшей величиной, основываясь на их абсолютном значении. Этот метод выполняет неструктурированную обрезку, удаляя отдельные веса, не затрагивая целые нейроны или фильтры. Также был выбран полносвязный слой для обработки, поскольку именно он содержит наибольшее количество параметров, которые могут быть оптимизированы. Параметр `amount` был выбран 0,3, т. е. 30% весов в каждом слое были удалены.

Квантование (Quantization)

Квантование – это метод оптимизации нейронных сетей, который уменьшает разрядность числовых представлений параметров модели и промежуточных вычислений. Основной целью квантования является снижение объема памяти и вычислительных затрат при минимальном снижении точности модели. Это особенно актуально для внедрения глубоких нейронных сетей на устройствах с ограниченными ресурсами, таких как мобильные телефоны, микроконтроллеры и встроенные системы.

Квантование преобразует параметры модели, которые обычно представлены в формате 32-битных чисел с плавающей точкой, в более компактные числовые форматы, такие как float16, int8, int4. Наиболее популярным фор-

матом является int8, поскольку он обеспечивает значительное сокращение памяти и вычислений при минимальном снижении точности.

Квантованные модели требуют меньше операций с плавающей точкой, что значительно ускоряет инференс. Использование 8-битного формата снижает объем памяти, занимаемой моделью, примерно в 4 раза по сравнению с float32. Но для эффективного выполнения квантования в формат int8 требуется поддержка этого формата на уровне оборудования. На старых процессорах или GPU это может привести к снижению производительности. Также перевод параметров и вычислений в низкоразрядный формат может привести к снижению точности модели, особенно в задачах, требующих высокой чувствительности к параметрам [3].

В данной работе квантование было реализовано при помощи специально написанной функции with_quantization. Для начала отключаем обучение у модели и переводим ее в режим инференса, так как квантование применяется к модели в состоянии, готовом к эксплуатации. Для оптимизации нам надо отключить такие механизмы, как Dropout и Batch Normalization. В данном случае применим динамическое квантование с использованием 8-битного формата int8 и квантованию будем подвергать только слой torch.nn.Linear.

Обучение модели

Для обучения была выбрана модель ResNet-18. Это одна из моделей семейства Residual Networks (ResNet), в котором используются остаточные блоки для глубоких нейронных сетей, состоит из 18 слоев [4].

В коде используется предобученная версия ResNet-18, которая была обучена на большом наборе данных ImageNet. Она уже имеет хорошо обученные представления признаков для более общих задач, таких как классификация изображений.

Выходной слой сети заменен на слой с 10 выходами, что соответствует количеству классов в датасете CIFAR-10. Этот слой будет обучаться для классификации изображений на 10 категорий. CIFAR-10 – это стандартный датасет для обучения и оценки моделей в задачах компьютерного зрения. Он содержит 60 000 изображений размером 32×32 пикселя, разделенных на 10 классов.

При обучении модели был использован оптимизатор Adam, а также дополнительно применялась аугментация данных. Все обучение длилось 10 эпох. После обучения и использова-

ния методов ускорения обучения глубоких нейросетей получили данные, представленные в таблице.

Результаты сравнения методов ускорения глубокого обучения

Метод	Точность (%)	Время инференса (с)
Оригинальная модель	88,85	14,26
Смешанная точность	88,85	12,41
Обрезка	86,65	13,92
Квантование	86,25	9,03

Как можно видеть, время инференса у всех уменьшилось по сравнению с оригинальной моделью, но больше всего сократил время инференса именно метод квантования.

Заключение

Лучший метод с точки зрения баланса между точностью и производительностью – смешанная точность (Mixed Precision). Он позволяет значительно ускорить инференс, не ухудшая точность модели, что делает его отличным выбором для улучшения производительности на современных GPU.

Метод обрезки (pruning) приводит к снижению точности, но не сильно ускоряет инференс. Полезен для уменьшения размера модели и снижения потребления памяти, но показал себя неэффективно для достижения высокой скорости инференса.

Квантование приводит к наибольшему сокращению времени инференса, что делает этот метод полезным для приложений, где важна высокая скорость работы, но точность может быть немного снижена.

Таким образом, выбор метода зависит от приоритетов: если важна высокая точность, стоит использовать метод смешанной точности; если основное требование – минимизация времени инференса, можно рассмотреть квантование.

Библиографический список

1. Mixed-precision quantized neural networks with progressively decreasing bitwidth / T. Chu, Q. Luo, J. Yang, X. Huang // Pattern Recognition. 2021. Vol. 111. P. 107647.
2. Hur Ch., Kang S. Entropy-based pruning method for convolutional neural networks // The Journal of Supercomputing. 2019. Vol. 75, № 6. P. 2950–2963.

3. Multi-Objective Hardware-Aware Quantization of Recurrent Neural Networks / N. M. Rezk, T. Nordström, D. Stathis [et al.] // Social Science Research Network. 2022. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4141234 (дата обращения: 28.11.2024).

4. *Neilsen T. B., Mortenson M. C., Nuttall Ja. R.* Comparison of maximum entropy and ResNet-18 inferences of sediment sound speed using surface ship noise // Journal of the Acoustical Society of America. 2022. Vol. 151, № 4_Supplement. P. A267.

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-70-73

Д. В. Сапунов*

магистрант

А. В. Аграновский*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ SVELTE И REACT

Показаны особенности применения фреймворка Svelte и библиотеки React. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого программного инструмента с точки зрения реактивности, производительности и простоты использования. Проведено тестирование для демонстрации их производительности с использованием бенчмарка. На основании анализа результатов тестирования сформулированы рекомендации для использования рассмотренных программных инструментов при фронтенд-разработке.

Ключевые слова: фреймворк Svelte, библиотека React, фронтенд-разработка.

D. V. Sapunov*

Postgraduate Student

A. V. Agranovskii*

PhD, Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARATIVE ANALYSIS OF SVELTE AND REACT SOFTWARE TOOLS

The article shows the features of using the Svelte framework and the React library. The advantages and disadvantages of each software tool are reviewed in terms of responsiveness, performance, and ease of use. Testing of software tools was carried out to demonstrate their performance using a benchmark. Based on the analysis of testing results, recommendations are formulated for the use of the considered software tools in front-end development.

Keywords: Svelte framework, React library, front-end development.

Введение

В последние годы в сфере разработки пользовательских интерфейсов веб-приложений используют фреймворк Svelte и библиотеку React [1–2]. Они ускоряют процесс разработки клиентской части, но применяют совершенно разные подходы, соответственно декларативный и императивный, при программной реализации интерфейса. В среде фронтенд-разработчиков библиотеку React часто называют фреймворком, несмотря на то, что он не имеет встроенного архитектурного шаблона. Такой дуализм React отражен в названии этой статьи.

Библиотека React использует концепцию виртуального DOM (Document Object Model) и систему хуков (hooks) для управления состоянием (state) компонент веб-приложения. Все изменения сначала считываются в памяти, затем сравниваются с текущим DOM, и вносятся изменения в DOM веб-страницы для отображения нового состояния. На этапах сравнения и

отображения задействованы вычислительные мощности компьютера пользователя. Данные сохраняются в различных структурах: в массивах, в объектах, в массивах объектов. Эти структуры в React обладают реактивностью и требуют явного управления для изменения состояния посредством хуков.

Фреймворк Svelte вместо использования виртуального DOM компилирует код компонентов на этапе сборки, превращает их в императивный JavaScript, работающий напрямую с DOM в браузере. Благодаря этому подходу Svelte исключает необходимость в среде выполнения (runtime), что позволяет обновлять пользовательский интерфейс быстрее и с меньшими затратами памяти. Отсутствие промежуточного слоя, такого как виртуальный DOM, уменьшает размер итогового кода и улучшает производительность приложения [2]. Также Svelte предлагает встроенную реактивность. Изменение значения реактивной переменной автоматически вызывает обновление компонентов,

Таблица 1

Преимущества и недостатки React

Преимущества	Недостатки
1. Развитая экосистема и поддержка сообщества. Имеет множество сторонних библиотек, плагинов и инструментов, которые делают его удобным для сложных и масштабных проектов. Благодаря широкому сообществу существует множество готовых решений для различных задач, что ускоряет разработку	1. Большой размер кода и runtime. Из-за необходимости виртуального DOM и использования runtime React-приложения могут быть более объемными, что влияет на производительность, особенно на устройствах с низкими характеристиками
2. Модульность и гибкость. Предлагает компонентный подход, который хорошо масштабируется и позволяет легко управлять состоянием в крупных приложениях. Наличие хуков (таких как useState и useEffect) позволяет разработчикам управлять жизненным циклом и состоянием компонентов	2. Сложность управления состоянием. Для управления сложными состояниями требуется использование дополнительных библиотек (например, Redux) или понимание хуков, что повышает сложность кода и требует больше времени на обучение
3. Поддержка серверного рендеринга. Инструменты, такие как Next.js, позволяют легко добавлять серверный рендеринг в приложения, что улучшает SEO и производительность	

Таблица 2

Преимущества и недостатки Svelte

Преимущества	Недостатки
1. Высокая производительность. За счет компиляции в чистый JavaScript без виртуального DOM Svelte быстрее рендерит (отображает) изменения состояния компонент, что делает его оптимальным выбором при разработке приложений, в которых важна скорость отклика	1. Ограниченная экосистема. Svelte пока не так популярен, как React, поэтому для некоторых задач отсутствуют готовые решения. Разработчику может потребоваться больше времени для создания собственных компонентов и инструментов
2. Простота и встроенная реактивность. Реактивная система Svelte позволяет отслеживать изменения без дополнительных конструкций, таких как хуки. Это упрощает код и делает его более читабельным	2. Меньшая поддержка сообщества. Сообщество пользователей меньше, чем сообщество пользователей React
3. Минимальный итоговый размер кода. Благодаря компиляции Svelte генерирует минимальный JavaScript-код, что снижает нагрузку на сеть и улучшает пользовательский опыт на медленных соединениях	3. Ограниченная совместимость с SSR (server side rendering). В настоящее время существуют решения для серверного рендеринга с использованием Svelte, такие как SvelteKit. Однако они разработаны на более простом уровне, чем инструменты для React

использующих это значение. Благодаря этому разработчику не нужно добавлять дополнительные конструкции, такие как хуки, для отслеживания изменений. Реактивные переменные в Svelte упрощают код, делая его более читабельным и сокращая вероятность ошибок.

1. Преимущества и недостатки React и Svelte

Рассмотрим основные плюсы и минусы каждого фреймворка, чтобы лучше понять, для каких задач они подходят. Для React преимущества и недостатки представлены в табл. 1, 2.

2. Тестирование производительности: критерии и результаты

Для сравнения производительности React и Svelte были выбраны ключевые метрики, которые отражают основные характеристики, критичные для пользовательского опыта и эффективности приложения.

1. Время загрузки и отклика. Важнейший показатель, так как скорость рендеринга интерфейса напрямую влияет на восприятие приложения пользователем. Быстрое время отклика особенно важно для интерактивных интерфейсов, где изменения на экране происходят ча-

сто, и задержки могут ухудшить пользовательский опыт.

2. Потребление памяти. Использование памяти играет решающую роль в ресурсозависимых приложениях, особенно на устройствах с ограниченными ресурсами (например, мобильные устройства). Фреймворк, который использует меньше памяти, позволяет улучшить производительность и предотвратить замедление системы при выполнении ресурсоемких задач.

3. Размер итогового кода. Меньший размер файлов уменьшает время загрузки и передачи данных, что особенно критично при медленных интернет-соединениях. Это улучшает показатели начального рендеринга и облегчает загрузку приложения на клиентские устройства.

Эти критерии помогают определить, какой из программных инструментов более подходит для создания высокопроизводительных и оптимизированных веб-приложений.

Для объективного сравнения производительности React и Svelte была использована информация из js-framework-benchmark, одного из самых известных открытых источников для оценки производительности JavaScript-фреймворков [3–5]. Этот бенчмарк включает тесты на скорость выполнения операций, потребление памяти и размер итогового кода, что позволяет всесторонне оценить фреймворки для веб-разработки.

Тесты производительности были проведены на MacBook Pro 14 (32 ГБ оперативной памяти, 8/14 ядер, macOS 15.0) в браузере Chrome версии 130.0.6723.58 (arm64) [5]. Для проведения тестов использовался автоматизированный ин-

струмент Puppeteer с уменьшенной трассировкой с целью минимизации влияния внешних факторов на результаты. Разработаны проекты, файлы которых созданы с использованием соответственно Svelte и React [3–4]. Сравнительный анализ программных инструментов представлен в табл. 3. При подсчете результатов использовано взвешенное геометрическое среднее для вычисления общего результата. Для каждой итерации открывается новая вкладка браузера.

Критерии сгруппированы по кластерам: среднее время выполнения, использование памяти вычислительного средства, объем сжатого программного кода всех файлов проекта. Анализ полученных результатов поможет предоставить рекомендации по выбору программных инструментов для реализации веб-приложений в зависимости от их назначения.

1. Скорость выполнения операций.

А. Создание строк: Svelte показывает время 39,7 мс для создания 1000 строк, тогда как React требует 50,5 мс. Этот результат демонстрирует, что Svelte справляется с начальной загрузкой быстрее.

В. Частичное обновление: при обновлении каждой десятой строки в таблице Svelte демонстрирует 19,4 мс против 26,1 мс у React. Прямая работа с DOM без использования виртуального DOM в Svelte позволяет быстрее обновлять данные.

2. Потребление памяти.

А. При загрузке страницы: Svelte использует всего 0,5 МБ, в то время как React составляет 1,1 МБ. Более низкие требования к памяти

Таблица 3

Сравнительный анализ программных инструментов

Критерий	svelte-classic-v5.0.5	react-zustand-v18.2.0 + 4.3.6
Среднее время выполнения операций, мс		
Реализация 1000 строк кода (5 циклов запуска кода на исполнение)	39,7	50,5
Частичное изменение каждой 10-й строки из 1000 строк (3 цикла повторений). 4-кратное замедление тактовой частоты процессора CPU	19,4	26,1
Использование памяти, МБ		
Оперативная память. Память после загрузки	0,5	1,1
Использование памяти после создания и очистки 1000 строк (5 циклов запуска кода на исполнение)	0,9	1,9
Объем сжатого кода файлов проекта, КБ		
Объем после сжатия всех файлов реализации проекта, исключая заголовки /CSS и HTTP	5,9	40,8

в Svelte обусловлены отсутствием виртуального DOM.

В. При создании и удалении строк проекта, написанного на Svelte, будет использовано 0,9 МБ, против 1,9 МБ у React.

3. Размер итогового кода при сжатии файлов проекта.

Svelte позволяет сжать файлы бенчмарка до 5,9 КБ, тогда как объем файлов проекта, реализованного в React составляет 40,8 КБ. Это обусловлено тем, что Svelte не требует дополнительных библиотек и времени выполнения для управления виртуальным DOM, так как компиляция кода происходит на этапе сборки.

Таким образом, результаты тестов подтверждают, что Svelte превосходит React по скорости выполнения операций, более экономному использованию памяти и меньшему размеру итогового кода. Эти преимущества делают Svelte оптимальным выбором для высокопроизводительных веб-приложений, требующих минимальных задержек и быстрого рендеринга (отображения) интерфейсов в браузере.

Заключение

На основании проведенного анализа результатов тестирования можно сформулировать рекомендации для использования программных инструментов при фронтенд-разработке по следующим критериям сравнения.

1. Производительность и оптимизация ресурсов. Svelte превосходит React по многим ключевым метрикам производительности, включая скорость рендеринга, потребление памяти и размер итогового кода. Его компилируемая природа позволяет избегать использования виртуального DOM, что ускоряет операции по обновлению и манипуляции DOM. Эти особенности делают Svelte особенно подходящим для приложений, где важны высокая производительность и экономия ресурсов, например для мобильных и одностраничных приложений с высокой динамичностью интерфейса.

2. Простота и удобство разработки. React благодаря своей экосистеме хорошо документирован и широко используется в промышленной

разработке. С его обширной библиотекой компонентов, экосистемой и сообществом React является универсальным инструментом для построения сложных и масштабируемых приложений. В то же время Svelte позволяет создавать простые и высокопроизводительные компоненты с минимальной настройкой, благодаря чему он может быть оптимальным выбором для небольших проектов или проектов с ограниченными ресурсами.

3. Гибкость и расширяемость. Если проект требует высокой гибкости, сложной логики управления состоянием или интеграции с другими библиотеками, React предоставляет больше возможностей для расширения благодаря экосистеме и готовым решениям. С другой стороны, Svelte подходит для случаев, когда требуются быстрая разработка, простота кода и минимальная зависимость от сторонних инструментов.

Таким образом, фреймворк Svelte лучше всего подходит для простых и высокопроизводительных приложений, тогда как библиотека React остается более универсальным решением для создания комплексных веб-приложений с высоким уровнем интерактивности.

Библиографический список

1. Документация по React. URL: <https://react.dev/blog/2023/03/16/introducing-react-dev> (дата обращения: 17.11.2024).
2. Документация по фреймворку Svelte. URL: <https://svelte.dev/blog/svelte-3-rethinking-reactivity> (дата обращения: 17.11.2024).
3. Программный код бенчмарка по React. URL: <https://github.com/krausest/js-framework-benchmark/tree/master/frameworks/keyed/react-zustand> (дата обращения: 17.11.2024).
4. Программный код бенчмарка по Svelte. URL: <https://github.com/krausest/js-framework-benchmark/tree/master/frameworks/keyed/svelte-classic> (дата обращения: 17.11.2024).
5. Облачный инструмент по оценке производительности js-framework-benchmark results for Chrome. URL: <https://krausest.github.io/js-framework-benchmark/current.html> (дата обращения: 17.11.2024).

УДК 004.4

Я. И. Сенина*

студент

Н. Н. Григорьева*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Рассмотрены основные архитектуры нейронных сетей для распознавания движений человека. Проведено исследование для выявления лучшей модели с помощью различных метрик: точность, скорость обработки, энергоэффективность, устойчивость, общая адаптивность.

Ключевые слова: нейросеть, CNN, RNN, Transformers, GNN, датасет.

Ya. I. Senina*

Student

N. N. Grigoryeva*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR HUMAN MOTION RECOGNITION

The main neural network architectures for human motion recognition are examined. A study was conducted to identify the best model using various metrics: accuracy, processing speed, energy efficiency, robustness, and overall adaptability.

Keywords: neural network, CNN, RNN, Transformers, GNN, dataset.

Введение

Распознавание движений человека – одна из важнейших проблем компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Вместе с развитием методов анализа данных распознавание движения стало широко применяться в различных сферах.

Распознавание движений с помощью методов машинного обучения, как правило, эффективно в простых сценариях. Однако с ростом объемов обрабатываемых данных и усложнением задач возникает потребность в более мощных средствах. Ключевым инструментом для решения данной проблемы стали нейронные сети глубокого обучения.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ различных архитектур нейронных сетей для распознавания действий человека: сверточных нейронных сетей (CNNs), рекуррентных сетей (RNNs, LSTMs, GRUs), трансформеров, графовых нейронных сетей (GNN) [1].

Проблематика распознавания движений человека

Под распознаванием движений человека обычно подразумевается решение следующих задач: обнаружение позы, т. е. определение положения тела и его частей в пространстве; отслеживание изменений в позах с течением времени; классификация действий [2]. Один из наиболее распространенных методов решения этих задач – использование 2D- или 3D-скелетов человека. При использовании данного метода человек на изображении рассматривается как набор ключевых точек, которые соответствуют суставам.

Описание архитектур нейросетей

1. Сверточные нейронные сети (CNN).

Применяют для обработки визуальных данных. CNN часто используют в задачах классификации изображений, для обнаружения объектов и их сегментации. Однако сети данной

архитектуры недостаточно хорошо справляются с определением временных параметров данных.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN).

Рекуррентные нейронные сети, а особенно сети с длинной краткосрочной памятью (LSTM), отлично подходят для обработки последовательного ряда данных, таких как видео или последовательный набор фото (фреймов).

3. Трансформеры (Transformers).

Способны эффективно обрабатывать длинные последовательности данных, при этом учитывать долгосрочные зависимости.

4. Графовые нейронные сети (GNN).

Эффективно обрабатывают скелетные модели человека, которые по своей сути являются графами: суставы соответствуют вершинам, а кости – ребрам графа.

Датасет

Для исследования возможностей сетей различных архитектур был использован набор данных COCO (Common Objects in Context) – один из самых популярных наборов данных для распознавания объектов с открытым исходным кодом [3]. Он также включает изображения с аннотированными 2D-скелетами людей. Среди всего многообразия объектов датасета в данной работе использовались данные с метками pose/key points (рисунк).

Архитектуры разработанных моделей

1. Сверточные нейронные сети (CNN).

Входной слой принимает изображение размером $3 \times 224 \times 224$. Были реализованы три блока сверточных слоев, каждый из которых включает Conv2D (с 32, 64 и 128 фильтрами соответственно, ядро 3×3 , шаг 1, паддинг 1. Используются для извлечения признаков), BatchNorm2D (нормализует активации, ускоряя обучение), ReLU (нелинейная активация для добавления сложности модели), MaxPooling2D (слой 2×2 , чтобы уменьшить размерность карты признаков), два полносвязных слоя и Dropout для предотвращения переобучения.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN).

На вход подаются временные последовательности ключевых точек. RNN-блоки включают два слоя LSTM с 256 скрытыми состояниями и Dropout 0,3 между слоями. Полносвязный слой преобразует скрытые состояния последнего временного шага в предсказания. В выходном слое количество классов соответствует числу предсказываемых значений.

3. Трансформеры (Transformers).

На вход подается последовательность ключевых точек с позиционным кодированием. Энкодер включает 6 слоев трансформеров, в каждом из которых реализованы многоголовое самовнимание (8 голов, размерность 64), нормализация и Skip-connection и полносвязный слой



Пример данных с метками pose/key points

Результаты исследования, %

Метрика	Сверточные нейронные сети (CNN)	Рекуррентные нейронные сети (RNN)	Трансформеры (Transformers)	Графовые нейронные сети (GNN)
Точность	81	79	87	82
PCP (Percentage of Correct Parts)	78	72	82	80
PDJ (Percent of Detected Joints)	80	74	85	81

с активацией ReLU. Декодер представляет собой полносвязный слой, преобразующий выход энкодера в предсказания. Также добавлен Dropout: 0,2 для улучшения генерализации.

4. Графовые нейронные сети (GNN).

На вход подается граф, где узлы – суставы, а ребра – их связи. GCN-блоки включают три слоя GCN с 64, 128 и 256 скрытыми узлами соответственно и активацию ReLU, Dropout 0,3 после каждого слоя. Global max-pooling для получения глобальных признаков. Также есть полносвязный и выходные слои.

Проблемы реализации

При реализации проекта возникало большое количество проблем, но главной стало наличие в датасете изображений различного размера и с различным количеством точек аннотации, что мешало обучению моделей. Для решения данной проблемы были реализованы специальные функции предобработки данных, которые приводили их к единому размеру (что могло повлиять на качество датасета) и добавляли недостающие ключевые точки в массивы данных (что опять же влияло на качество датасета, а в дальнейшем и на работу моделей).

Результаты работ нейронных сетей

Для оценки работы модели использовались стандартные метрики (таблица): точность (отношение количества правильных предсказаний к общему количеству примеров), Percentage of Correct Parts (PCP) – процент корректно распознанных частей тела. В данном случае часть тела – это пара суставов, которые соединены между собой. Корректно предсказанной считается часть тела, у которой расстояние между предсказанными и реальными координатами двух суставов не превышает половину ее длины. Также используется метрика Percent of Detected Joints (PDJ) для подсчета верно определенных суставов. Данная метрика используется

для компенсации минусов PCP-метрики, избавляет от зависимости от размеров частей тела. Состав считается корректно распознанным, если расстояние между предсказанными и реальными координатами не превышает значения, зависящего от размера тела на картинке [4].

Трансформеры (Transformers) показали хорошие результаты, особенно в метрике точности и PDJ, что связано с их способностью эффективно обрабатывать длинные зависимости и учитывать глобальный контекст изображений. Это делает их подходящими для задач, где важно учитывать взаимодействие между различными частями тела на изображении.

Метрики остальных моделей могли пострадать из-за описанных проблем. В зависимости от датасета модели могут повести себя по-разному: для задач с динамичными сценами или с частично видимыми суставами лучше использовать трансформеры или графовые нейронные сети; сверточные нейронные сети предпочтительны для работы со статичными изображениями; рекуррентные нейронные сети могут быть полезны для задач, связанных с временными зависимостями, например при анализе движения или последовательности действий.

Библиографический список

1. Вакуленко С. А., Жихарева А. А. Практический курс по нейронным сетям. СПб.: Ун-т ИТМО, 2018. 71 с.
8. Соколова А. И. Нейросетевая модель распознавания человека по походке в видеоданных различной природы: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2020. 32 с.
9. Keypoint Detection Task // COCO. URL: <https://cocodataset.org/#keypoints-2020> (дата обращения: 29.11.2024).
10. A 2019 guide to Human Pose Estimation with Deep Learning // Nanonets. URL: <https://nanonets.com/blog/human-pose-estimation-2d-guide/> (дата обращения: 29.11.2024).

УДК 004.85

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-77-81

Т. М. Татарникова*

доктор технических наук, профессор

А. С. Раскопина*

аспирант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

УСКОРЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА МАЛЫХ ДАННЫХ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Исследуются проблемы и решения, связанные с ускорением глубокого обучения на малых данных, и преодоление трудностей, возникающих при использовании методов ускорения инференса. Ограниченность данных часто приводит к переобучению и низкой обобщающей способности моделей, что делает применение традиционных методов ускорения, таких как квантование, прунинг и метод смешанной точности, менее эффективными. Подробно рассматриваются подходы, позволяющие решить эти проблемы, включая аугментацию данных, использование предобученных моделей, синтетическое создание данных и регуляризацию. Применение этих методов было протестировано и было продемонстрировано, как их использование улучшает производительность моделей при малых объемах данных, ускоряя обучение и повышая точность без потери качества.

Ключевые слова: искусственный интеллект, глубокое обучение, малые данные, аугментация, регуляризация, оптимизация, синтетические данные.

T. M. Tatarnikova*

Dr. Sc., Tech., Professor

A. S. Raskopina*

PhD Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ACCELERATING DEEP LEARNING ON SMALL DATA: PROBLEMS AND SOLUTIONS

This article explores the problems and solutions associated with accelerating deep learning on small data and overcoming the difficulties encountered when using methods to accelerate inference. Limited data often leads to overfitting and low generalizing ability of models, which makes the use of traditional acceleration methods such as quantization, pruning and the mixed precision method less effective. The paper discusses in detail the approaches to solve these problems, including data augmentation, the use of pre-trained models, synthetic data creation and regularization. The application of these methods has been tested and demonstrated how their use improves the performance of models with small amounts of data, speeding up learning and increasing accuracy without loss of quality.

Keywords: artificial intelligence, deep learning, small data, augmentation, regularization, optimization, synthetic data.

Введение

Современные достижения в области глубокого обучения открывают новые горизонты для разработки искусственного интеллекта, однако они также сталкиваются с рядом вызовов, особенно когда данные ограничены. В большинстве реальных задач, таких как медицинская диагностика, обработка данных с мобильных устройств или специфические инженерные приложения, объем доступных данных может быть крайне ограничен. В этих условиях использование традиционных методов глубокого

обучения, требующих большого объема обучающих данных, становится сложной задачей, замедляющей процесс разработки и внедрения моделей.

Одной из ключевых проблем в современной науке и практике искусственного интеллекта является необходимость разработки эффективных методов обучения на малых данных. Малый объем обучающих данных ведет к нескольким важным проблемам: переобучению моделей, низкой обобщающей способности и увеличению времени обучения. Эти проблемы становятся особенно острыми, когда речь идет об об-

учении сложных нейронных сетей, таких как глубокие сверточные или рекуррентные нейросети. В условиях дефицита данных необходимо искать способы ускорения процесса обучения, при этом обеспечив высокое качество модели.

Решение проблемы обучения глубоких нейронных сетей на малых данных и ускорение этого процесса открывают широкие возможности для множества приложений, где сбор больших объемов данных невозможен или экономически нецелесообразен. Эта задача требует разработки новых методов, которые позволят эффективно использовать ограниченные данные для получения точных и быстрых моделей [1].

Цель данной статьи – исследование проблем, возникающих при обучении глубоких нейронных сетей на малых данных, а также проблемы ускорения времени инференса в таких моделях. Рассмотрим современные подходы, такие как использование предобученных моделей, увеличение данных и методы регуляризации, направленные на улучшение обобщающей способности моделей и ускорение их обучения. Также будут предложены способы ускорения сходимости алгоритмов и повышения эффективности при работе с малыми объемами данных.

Проблемы ускорения глубокого обучения на малых данных

Малые объемы данных часто приводят к переобучению моделей, что затрудняет их обобщение и снижение сложности модели, влияя на время инференса. Даже после решения проблемы с переобучением и получения хорошей точности модель не ускорится. Применение распространенных методов ускорения глубоких нейросетей типа квантования, прунинга, метода смешанной точности может оказаться неэффективным.

На малых данных важно, чтобы изменения в точности не приводили к переобучению или сильному падению результатов. Например, в некоторых случаях стандартные методы квантования могут быть недостаточно адаптированы для работы с малыми и высокочувствительными датасетами. Также метод смешанной точности на малых данных может привести к ухудшению качества модели, так как уменьшенная точность в некоторых случаях может не позволить модели корректно обрабатывать тонкие закономерности в данных, особенно в случае сложных или шумных входных данных.

Для ускорения инференса на малых данных такие методы, как прунинг, квантование и ме-

тод смешанной точности, могут быть полезными, но их использование связано с необходимостью тщательно сбалансировать потерю точности и увеличение производительности. Малые объемы данных требуют большей аккуратности в применении этих методов, так как даже небольшие изменения в точности могут существенно повлиять на результаты, а также привести к переобучению или ухудшению обобщающих способностей модели.

Выделим основные проблемы ускорения глубокого обучения на малых данных:

- 1) недостаток данных;
- 2) сложности с адаптацией моделей к малым данным;
- 3) проблемы с обобщением и переобучением;
- 4) сложность в интеграции с ограниченными вычислительными ресурсами.

Решения проблем ускорения глубокого обучения на малых данных

Первую проблему с недостатком данных в данной работе будем решать аугментацией данных, предобученными моделями и методами синтетического создания данных.

Аугментация данных – это создание новых примеров из имеющихся данных путем их трансформации (например, вращение, сдвиг, масштабирование, изменение яркости и т. д.). Это поможет повысить общее количество данных и улучшить способность модели к обобщению [2].

В данной работе для аугментации данных была написана специальная функция. В ней использовалась команда ImageDataGenerator, которая применяется для создания новых изображений на основе оригинальных путем их случайных изменений. Для этого были выбраны такие параметры: `rotation_range` 20, т. е. случайное вращение изображений на угол до 20 градусов; `width_shift_range` 0,2, т. е. сдвиг изображения по ширине на 20%; `height_shift_range` 0,2, т. е. сдвиг изображения по высоте на 20%; `shear_range` 0,2, т. е. поворот по диагонали до 20%; `zoom_range` 0,2, т. е. случайное увеличение изображения на 20% и `horizontal_flip`, который случайно отражает горизонтально изображения.

Также будет использоваться модель, предварительно обученная на больших данных и дообученная на малых данных. Это позволяет модели перенести знания с более крупных датасетов и адаптировать их к малым данным [3]. Выберем для этой задачи предобученную модель MobileNetV2 с замороженными весами. К дан-

ной модели добавим слой для классификации, используя информацию, полученную из большего набора данных (предобученные веса).

Последним методом решения данной проблемы является метод синтетического создания данных. Например, использование генеративных моделей, таких как GAN (Generative Adversarial Networks), для создания синтетических данных, которые помогут дополнить малый набор [4]. Для этого будем использовать функцию `generate_synthetic_data`. Она используется для создания синтетических данных на основе аугментации, получает данные в виде батчей из генератора и генерирует указанное количество образцов. При помощи нее сгенерируем 1000 новых изображений.

Вторая проблема, связанная со сложностью адаптации моделей к малым данным, будет решаться использованием простых и компактных моделей, предобученными моделями и регуляризацией.

Ранее было упомянуто, что для данной работы была выбрана модель MobileNetV2, которая полностью удовлетворяет требования для решения второй проблемы. Была выбрана L2-регуляризация. Она добавляет штрафы к весам модели, чтобы избежать их чрезмерного увеличения.

Третья проблема, связанная с переобучением, будет также решаться регуляризацией, ранней остановкой (Early Stopping) и использованием кросс-валидации для более надежной оценки модели на малых данных.

Четвертая проблема, связанная со сложностью интеграции с ограниченными вычислительными ресурсами, также решает выбор легковесных моделей для обучения, а также использованием аппаратных ускорителей.

Некоторые методы, направленные на устранение проблем с ускорением глубокого обучения малых данных, решают несколько проблем одновременно, но для большей эффективности необходимо использовать комбинированные подходы вместе, такие как расширение данных, регуляризация, оптимизация моделей и использование специализированных инструментов для улучшения производительности, при этом важно учитывать ограничения вычислительных ресурсов и балансировать между производительностью и точностью модели.

Обучение модели

Посмотрим, как найденные ранее методы решения будут влиять на точность модели. Для этого возьмем набор данных с кошками и собаками. В данной работе нужно использовать малое количество данных, поэтому возьмем 500 изображений кошек и 500 изображений собак.

Создадим простейшую сверточную модель, состоящую из сверточных и полносвязных слоев. Выберем оптимизатор Adam и функцию потерь `categorical_crossentropy`. Обучать модель будем 10 эпох. Также возьмем предобученную модель MobileNetV2 с замороженными весами. Обучим ее 10 эпох и сравним две модели (рис. 1).

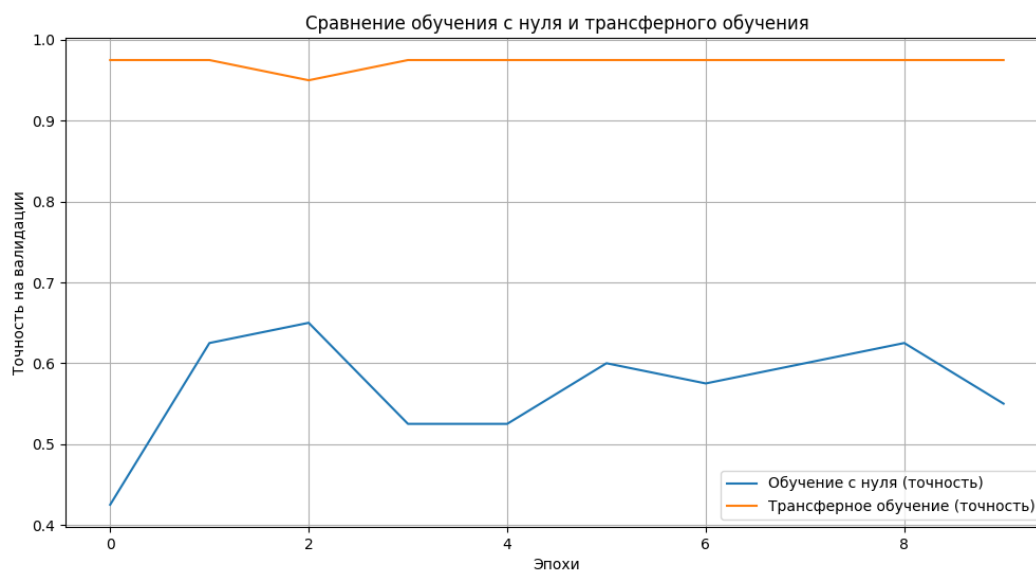


Рис. 1. Сравнение обучения с нуля и трансферного обучения

По рис. 1 можно видеть, что значительно повысилась точность модели при использовании трансферного обучения. Кроме того, за меньшее количество эпох модель обучилась различать кошек и собак.

Далее сравним оригинальную модель и модель, которая обучена с аугментацией данных (рис. 2). Видно, что большей точности добилась модель с аугментацией данных. Данной точности все еще недостаточно, но можно с уверенностью сказать, что введение в программу аугмен-

тации данных сможет помочь увеличить ее эффективность.

Также построим упрощенную модель, которая характеризуется меньшим размером сети, использованием меньшего количества фильтров и слоев, что уменьшает вычислительные затраты, но может снизить точность. Сравним данную модель с моделью, которая использует дополнительно синтетические данные, и моделью, которая используется регуляризацию (рис. 3). По рис. 3 видно, что данные ме-

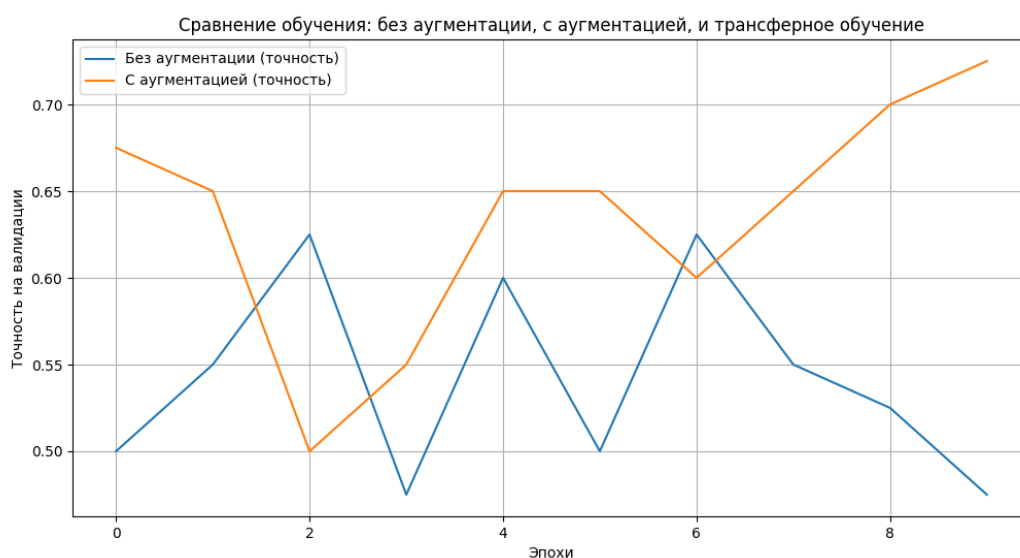


Рис. 2. Обучение модели с аугментацией и без аугментации

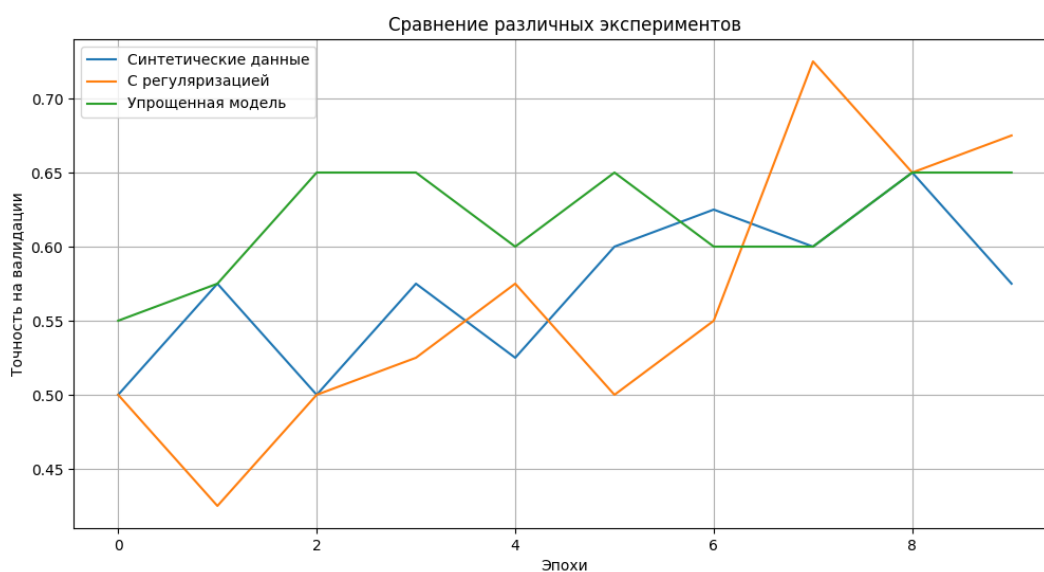


Рис. 3. Обучение модели с регуляризацией, синтетическими данными и упрощением модели

тоды повышают точность модели, а особенно это заметно при использовании регуляризации.

Заключение

В результате проведенного исследования было показано, что обучение глубоких нейронных сетей на малых данных представляет собой серьезную задачу, которая требует применения специализированных методов. Методы ускорения инференса, такие как квантование, прунинг и метод смешанной точности, оказываются неэффективными при работе с малыми данными, поскольку их применение приводит к ухудшению точности и усилению проблемы переобучения.

Однако было найдено решение этих проблем с помощью аугментации данных, использования предобученных моделей и синтетических данных. Также использование регуляризации, упрощение моделей и методов для повышения их эффективности значительно улучшили скорость обучения и точность. Результаты экспериментов, проведенных в статье, продемонстрировали, что комбинированное применение

этих методов позволяет ускорить процесс обучения. Это открывает новые возможности для разработки эффективных моделей машинного обучения в условиях ограниченных данных и вычислительных ресурсов.

Библиографический список

1. *Татарникова Т. М., Мокрецов Н. С.* Оптимизация процесса обучения при ограниченном объеме вычислительных ресурсов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. СПб., 2024. Т. 1. С. 205–208.
2. Deep Learning based Individual Cattle Face Recognition using Data Augmentation and Transfer Learning / H. E. Polat, D. Gerdan Koc, Ö. Ertuğrul [et al]. // *Tarim Bilimleri Dergisi*. 2025.
3. *Marastoni N.* Data augmentation and transfer learning to classify malware images in a deep learning context // *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*. 2021. Vol. 17, № 4. P. 279–297.
4. Analysis of the synthetic periocular iris images for robust Presentation Attacks Detection algorithms / J. Maureira, Ju. E. Tapia, C. Arellano, Ch. Busch // *IET Biometrics*. 2022. Vol. 11, № 4. P. 343–354.

УДК 621.317.353

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-82-85

А. П. Шепета

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ ВЕЙБУЛЛА

Приведены аналитические выражения и расчетные зависимости спектральных плотностей случайных процессов, распределенных по закону Вейбулла, формируемых из нормальных квадратурных процессов с заданными корреляционно-спектральными характеристиками.

Ключевые слова: спектральная плотность, нормальный процесс, распределение Вейбулла.

A. P. Shepeta

Dr. Sc., Tech., Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SPECTRAL DENSITIES OF RANDOM PROCESSES DISTRIBUTED ACCORDING TO WEIBULL'S LAW

Analytical expressions and calculated dependencies of spectral densities of random processes distributed according to Weibull's law formed from normal quadrature processes with given correlation-spectral characteristics are presented.

Keywords: spectral density, normal process, Weibull distribution.

Моделирование случайного процесса с требуемой спектральной плотностью осуществляется с помощью нелинейного безынерционного преобразования нормального процесса, который называют порождающим процессом, с заданной спектральной плотностью [1; 2]. При этом после соответствующего нелинейного преобразования меняется не только плотность распределения отсчетов формируемого процесса, но и его корреляционно-спектральные характеристики, в частности для стационарного процесса – его спектральная плотность [3].

При моделировании радиолокационных сигналов, отраженных от земной поверхности, в качестве закона распределения флуктуаций амплитуд и мощностей РЛ сигналов принимается закон распределения Вейбулла. При этом чаще всего для описания флуктуаций амплитуд эхосигналов используются законы распределения Рэлея и экспоненциальный закон распределения для аппроксимации флуктуаций мощностей эхосигналов, которые являются частными случаями закона распределения Вейбулла при соответствующих параметрах.

Моделирование числовых последовательностей, имитирующих флуктуации амплитуд и мощностей отраженных зондирующих сигнала-

лов, распределенных по экспоненциальному закону и закону Рэлея, при отсутствии корреляции между импульсами последовательности не представляет никаких трудностей, так как в любом математическом пакете имеются соответствующие программы для генерации подобных последовательностей [4].

В случае, когда существует корреляционная связь между отраженными импульсами (временные или пространственные), появляются некоторые сложности, заключающиеся в том, что в общем случае нет аналитических выражений, позволяющих вычислить параметры алгоритма моделирования подобных последовательностей для заданных корреляционно-спектральных характеристик флуктуаций.

По эмпирическим данным, полученным в результате натурных экспериментов, обычно удается «установить» одномерный закон распределения вероятностей флуктуаций эхосигналов (в нашем случае это экспоненциальное распределение или распределение Рэлея) и корреляционно-спектральные характеристики соответствующих последовательностей [5]. Этот установленный закон и корреляционно-спектральные характеристики используются в ка-

честве математических моделей флуктуаций эхосигналов.

В этих условиях для синтеза алгоритма моделирования последовательностей с заданным законом распределения и заданными корреляционно-спектральными характеристиками, ограничиваясь марковскими процессами (в общем случае негауссовыми), достаточно знать лишь двумерный закон распределения. Именно этот случай рассмотрен в данной работе [6; 7].

Итак, пусть последовательность радиолокационных сигналов, отраженных от земной поверхности, представляет собой стационарный в широком смысле случайный процесс. Тогда, для распределения амплитуд отраженных зондирующих импульсов двумерное распределение Рэлея можно записать в виде

$$f_A(x_1, x_2, r) = \frac{x_1 x_2}{\sigma^4 (1-r^2)} \exp \left\{ -\frac{x_1^2 + x_2^2}{2\sigma^2 (1-r^2)} \right\} \times \\ \times I_0 \left[\frac{r \cdot x_1 x_2}{\sigma^2 (1-r^2)} \right], \quad x_1 > 0, x_2 > 0, \quad (1)$$

где σ и r – параметры распределения, а $I_0(\cdot)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента.

Двумерное экспоненциальное распределение, соответствующее этому распределению Рэлея (квадрат огибающей), записывается в виде

$$f_P(x_1, x_2, r) = \frac{1}{4\sigma^4 (1-r^2)} \exp \left\{ -\frac{x_1 + x_2}{2\sigma^2 (1-r^2)} \right\} \times \\ \times I_0 \left[\frac{r \cdot \sqrt{x_1 x_2}}{\sigma^2 (1-r^2)} \right], \quad x_1 > 0, x_2 > 0. \quad (2)$$

Математические ожидания m_A, m_P и дисперсии D_A, D_P этих распределений выражаются через параметр σ следующим образом:

$$m_A = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma, \quad D_A = \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) \sigma^2, \\ m_P = 2, \quad D_P = 4\sigma^2,$$

а параметр распределения r связан с коэффициентами корреляции отражений от двух соседних импульсов.

В приведенных выражениях экспоненциальное распределение соответствует квадрату амплитуды, т. е. здесь не отражен тот факт, что действительная мощность отраженных радиолокационных импульсов должна содержать коэффициент 0,5. При данном рассмотрении это несущественно поскольку нас интересуют нормированные корреляционные функции рассматриваемых процессов, которые от этого коэффициента не зависят.

Моделировать последовательности, соответствующие распределениям (1) и (2), можно разными способами, однако поскольку здесь рассмотрен случай моделирования в радиолокации, то в качестве алгоритма моделирования будем рассматривать моделирование по нормальным квадратурам, сумма квадратов которых дает нам экспоненциальное распределение, а корень из этой суммы – распределение χ^2 , частным случаем которого и является распределение Рэлея.

Для этого случая параметр распределения r является физически коэффициентом корреляции квадратур. Поэтому этот способ имеет ясную физическую трактовку, но годится для моделирования амплитуд и мощностей только узкополосных процессов, поскольку предполагает симметричность спектров их квадратур, что выполняется (с достаточно большой точностью) только для узкополосных процессов.

С учетом сделанных замечаний нормированная корреляционная функция амплитуд

$r_{i,j}^{(A)} = r^{(A)}(|i-j|)$ выражается через r как

$$r_{i,j}^{(A)} = r^{(A)}(|i-j|) = \frac{\pi}{4(4-\pi)} \left[r^{2|i-j|} + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{[(2n-3)!!]^2}{2^{2n-2} (n!)^2} r^{2n|i-j|} \right], \quad (3) \\ i, j = 1, 2, 3, \dots,$$

а нормированная корреляционная функция

мощностей $r_{i,j}^{(P)} = r^{(P)}(|i-j|)$ имеет совсем простой вид $r_{i,j}^{(P)} = r^{(P)}(|i-j|) = r^{2|i-j|}$, что, собственно, и обуславливает выбор способа моделирования соответствующих последовательностей путем использования квадрата распределения χ^2 – сумму квадратов двух независимых нормальных случайных величин [8].

В простейшем случае, позволяющем учесть только ширину спектра флуктуаций отражен-

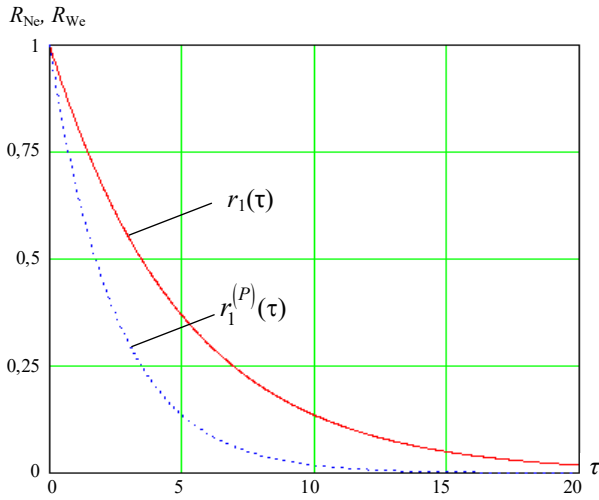


Рис. 1. Нормированные корреляционные функции $r_1(\tau)$ и $r_1^{(P)}(\tau)$ при $\alpha = 0,2$

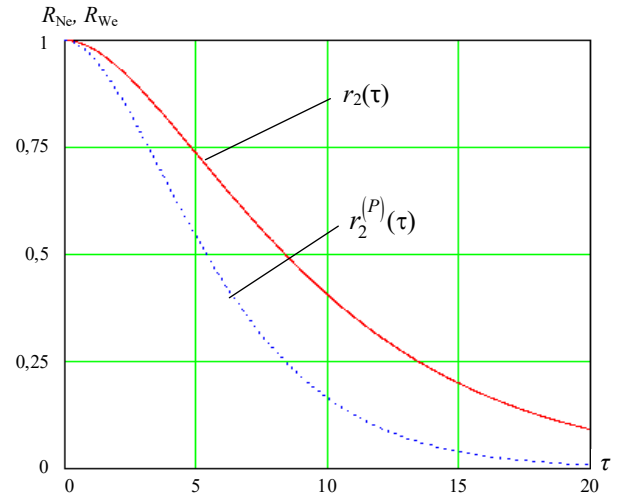


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции $r_2(\tau)$ и $r_2^{(P)}(\tau)$ при $\alpha = 0,2$

ных сигналов, нормированную корреляционную функцию квадратур полагают экспоненциальной $r(i-j) = \exp(-\alpha|i-j|)$, где α – некоторый положительный коэффициент, который определяет ширину спектра флуктуаций отраженных радиолокационных зондирующих сигналов. Такой вид нормированной корреляционной функции соответствует односвязному нормальному Марковскому процессу.

На рис. 1 приведены нормированные корреляционные функции квадратурных составляющих, используемых при моделировании,

$$\begin{aligned} r_1(\tau) &= r_1(\tau = \Delta t|i-j|) = \\ &= \exp(-\alpha\Delta t|i-j|) = \exp(-\alpha|\tau|) \end{aligned}$$

и мощности отраженных радиолокационных сигналов

$$r_2^{(P)}(\tau) = r_2^{(P)}(\tau = \Delta t|i-j|) = \exp(-2\alpha|\tau|) \quad [9].$$

На рис. 2 приведены нормированные корреляционные функции квадратурных составляющих, используемых при моделировании,

$$\begin{aligned} r_2(\tau) &= r_2(\tau = \Delta t|i-j|) = \\ &= (1 + \alpha\Delta t|i-j|)\exp(-\alpha\Delta t|i-j|) = \\ &= (1 + \alpha|\tau|)\exp(-\alpha|\tau|) \end{aligned}$$

и мощности отраженных радиолокационных сигналов

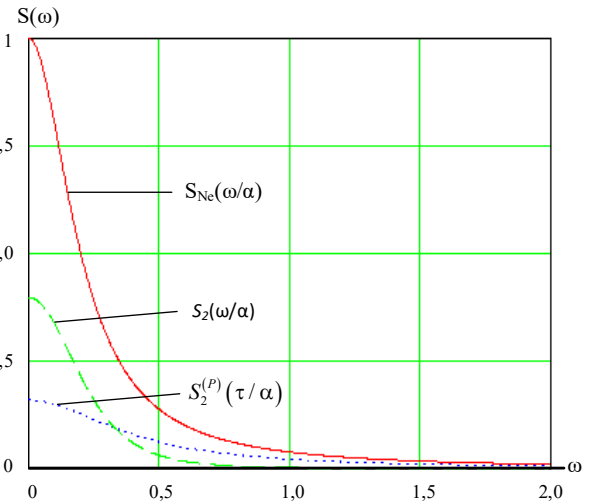


Рис. 3. спектр нормального случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией $S_{Ne}(\omega/\alpha)$, спектр квадратурных амплитудных составляющих случайного процесса $S_2(\omega/\alpha)$, используемых при моделировании, и спектр мощности отраженных радиолокационных сигналов $S_2^{(P)}(\tau/\alpha)$

$$r_2^{(P)}(\tau) = r_2^{(P)}(\tau = \Delta t|i-j|) = \left(r_2^{(P)}\right)^2 \quad [10].$$

На рис. 3 приведены спектр нормального случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией $S_{Ne}(\omega/\alpha)$, спектр квадратурных амплитудных составляющих случайного процесса $S_2(\omega/\alpha)$, используемых при моделировании, и спектр мощности отраженных радиолокационных сигналов $S_2^{(P)}(\tau/\alpha)$.

Библиографический список

1. *Шепета Д. А.* Разработка математических моделей и синтез алгоритмов моделирования входных сигналов бортовых систем обработки информации и управления: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2000.
2. *Исаков В. И., Шепета Д. А.* Моделирование локационных сигналов, отраженных от кромки земля-море // Информационно-управляющие системы. 2017. № 5(90). С. 89–94.
3. *Шепета Д. А., Исаков В. И., Тюринова В. А.* Прямой метод моделирования логарифмически-нормального распределения // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сб. ст. XXV Междунар. науч. конф.: в 3 ч. СПб., 2022. С. 135–139.
4. *Подоплекин Ю. Ф., Шепета Д. А., Иванов И. Н.* Моделирование анизотропного стохастического логарифмически нормального пространственного поля // Морская радиоэлектроника. 2024. № 1(87). С. 34–39.
5. *Кулемин Г. П.* Радиолокационные помехи от моря и суши РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов // Современная радиолокация. Киев, 1994. С. 23–29.
6. *Подоплекин Ю. Ф., Шепета Д. А., Иванов И. Н.* Моделирование анизотропного стохастического пространственного поля, распределенного по закону Вейбулла // Морская радиоэлектроника. 2024. № 3(89). С. 56–59.
7. *Ivanova M. S., Isakov V. I., Shepeta D. A.* Simulation models of input signals of information processing systems synthesized from empirical data // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems» (WECONF-2020): XXIII International conference, 1–5 June 2020. St. Petersburg, 2020. P. 6–11.
8. *Isakov V. I., Shepeta D. A.* Simulation of location signals when determining a coastal edge // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2021. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9470671> (дата обращения: 22.11.2024).
9. *Шепета А. П., Исаков В. И.* Корреляционные функции случайных процессов, распределенных по закону Вейбулла // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивангород, 29 окт. 2024 г. Казань: Бук, 2024. С. 23–28.
10. *Исаков В. И., Шепета А. П.* Корреляционные функции логарифмически-нормальных процессов // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивангород, 29 окт. 2024 г. Казань: Бук, 2024. С. 29–33.

УДК 621.317.353

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-86-90

А. П. Шепета*

доктор технических наук, профессор

А. А. Сорокин*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРОСТРАНСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЗЕМНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Представлены пространства информационных признаков, оцениваемых по статистическим характеристикам зондирующих радиолокационных сигналов, позволяющие классифицировать типы земных поверхностей при наблюдении этих поверхностей бортовыми малогабаритными РЛС.

Ключевые слова: земная поверхность, информационный признак, классификация, зондирующий сигнал, бортовая РЛС.

A. P. Shepeta*

Dr. Sc., Tech., Professor

A. A. Sorokin*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SPACES OF INFORMATION FEATURES FOR CLASSIFICATION TYPES OF LAND SURFACES

The spaces of information features evaluated by the statistical characteristics of sounding radar signals are presented, which make it possible to classify the types of terrestrial surfaces when observing these surfaces by airborne small-sized radars.

Keywords: ground surface, information feature, classification, sounding signal, onboard radar.

Классификация типов земных поверхностей и составление соответствующих карт местности имеют очень важное значение для народного хозяйства. Естественно, что карта отдельной местности может довольно быстро меняться, поскольку здесь могут производиться некоторые работы: прокладка дорог, строительство, организация лесопосадки, сельскохозяйственные работы и т. п. Поэтому и по многим другим причинам меняется предназначение этих площадей. Более того, при естественных катаклизмах (оползни, пожары, наводнения и т. д.), а также в силу техногенных катастроф своевременное отслеживание состояния земных покровов приобретает особо важное значение как для принятия необходимых мер, позволяющих снизить наносимый ущерб, так и для отслеживания и прогноза экологической обстановки, например в случае загрязнения.

Из сказанного следует, что отслеживать состояние земных покровов необходимо довольно часто и подобное отслеживание должно про-

изводиться в автоматическом режиме – без участия человека, не должно зависеть от погодных условий, кроме, конечно, учета сезонных изменений состояния покровов. В настоящее время этим требованиям удовлетворяют системы мониторинга и картографирования, использующие беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оснащенные малогабаритными радиолокационными станциями (МГРЛС).

В этом случае информация с БПЛА может поступать в некоторый центр обработки информации (ЦОИ), где производятся анализ информации и классификация наблюдаемых участков земной поверхности [1]. В этих условиях классификация типов земных поверхностей, а возможно и аномалий, вызванных природными, экологическими и техногенными катаклизмами и катастрофами, может производиться фактически в реальном времени.

Перейдем к рассмотрению и формированию пространства информационных признаков, по которым осуществляется классификация по-

верхностей. Это пространство зависит от многих факторов: характеристик самой поверхности, характеристик бортовой аппаратуры БПЛА, организации режимов обзора подстилающих поверхностей и, конечно, возможностей определения классификационных признаков радиолокационными средствами. В этой работе мы не рассматриваем использование информационных признаков при синтезе алгоритмов классификации, а ограничиваемся обзором возможных методов их сбора и оценки. Задача классификации – это задача центра обработки информации, хотя экспресс-анализ можно производить и на борту БПЛА, что может быть обязательным условием, например, при проведении мониторинга, поскольку реакция на естественные и техногенные катастрофы и катаклизмы должна быть практически мгновенной.

Сначала определимся с характеристиками наблюдаемой поверхности. В самом общем виде по характеристике протяженности можно выделить два вида поверхностей, которые мы должны классифицировать. Первый вид, который обозначим как вид А, – это поверхность, представляющая собой медленно меняющийся ландшафт, тип поверхности остается однородным (неизменным) на протяжении нескольких сотен метров. Второй вид поверхности, который обозначим как вид В, – это поверхность, у которой изменение ландшафта происходит быстро, тип поверхности остается неизменным только на протяжении нескольких метров. Эти два существенно разных вида поверхностей (по протяженности) в довольно сильной степени влияют на алгоритм оценки информационных параметров поверхности, обусловленных ее электромагнитными характеристиками, которые, собственно, и определяют в основном координаты пространства информационных признаков.

Во введенной классификации под видом поверхности (А или В) понимается характеристика однородности поверхности по ее протяженности. Определимся теперь с термином «тип поверхности». Под ним будем понимать электромагнитные характеристики поверхности, которые доступны измерениям и вычислениям по характеристикам радиолокационных зондирующих сигналов, отраженных от этих поверхностей. Для характеристики типа поверхности будем использовать эмпирическую модель отражений, предложенную Г. П. Кулеминым [2].

Достоинство модели Г. П. Кулемина состоит в том, что она основана на эмпирических данных, полученных в результате экспериментов, что позволяет использовать ее не только в реальной аппаратуре, но и при имитационном мо-

делировании работы комплекса, предназначенного для определения вида и типа поверхности. При этом результаты имитационного моделирования будут максимально приближены к полевым испытаниям аппаратуры именно потому, что сами алгоритмы, имитирующие отражения, будут построены по реальным данным. Кроме этого, модель Г. П. Кулемина, построенная на эмпирическом материале, уже фактически подтверждает возможность оценки параметров модели радиолокационными средствами.

В соответствии с этой моделью удельная эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) подстилающей поверхности в децибелах (дБ) определяется выражением

$$\sigma(\psi, f) = A_1 + A_2 \cdot \ln \frac{\psi}{20} + A_3 \cdot \ln \frac{f}{10}, \quad (1)$$

где ψ – угол скольжения в градусах, f – частота зондирующих сигналов в ГГц, A_1, A_2, A_3 – постоянные коэффициенты в дБ. Выражение (1) справедливо для $\psi < 30^\circ$ и $3 \text{ ГГц} < f < 100 \text{ ГГц}$ для подавляющего большинства «различных поверхностей, включая квазигладкие, шероховатые без растительности и с растительностью, а также снег и антропогенные территории» [2].

В выражении (1) удельная эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) подстилающей поверхности $\sigma(\psi, f)$ и коэффициенты A_1, A_2, A_3 относятся к электромагнитным характеристикам наблюдаемой поверхности, частота зондирующих сигналов f – к характеристикам бортовой аппаратуры, а угол скольжения ψ – к условиям наблюдения поверхности. На рис. 1 схематично показаны условия наблюдения поверхности и дополнительные характеристики бортовой аппаратуры

На рис. 1 показаны введенные обозначения: V – скорость ЛА, H – высота полета, L – наклонная дальность до центра наблюдаемого участка подстилающей поверхности, $\Delta\psi$ – ширина диаграммы направленности антенной системы в вертикальной плоскости, ψ – угол скольжения, $\psi_{\max}$ и $\psi_{\min}$ – максимальный и минимальный углы скольжения при наблюдении участка поверхности, $\Delta\alpha$ – ширина диаграммы направленности антенной системы в горизонтальной плоскости, $t_{\text{и}}$ – длительность зондирующего импульса (или сжатого сложного зондирующего сигнала), c – скорость света, $ct_{\text{и}}/2$ – ширина дорожки дальности.

Как было указано, пространство информационных признаков зависит от характеристик наблюдаемой поверхности, характеристик бортового оборудования, организации режимов об-

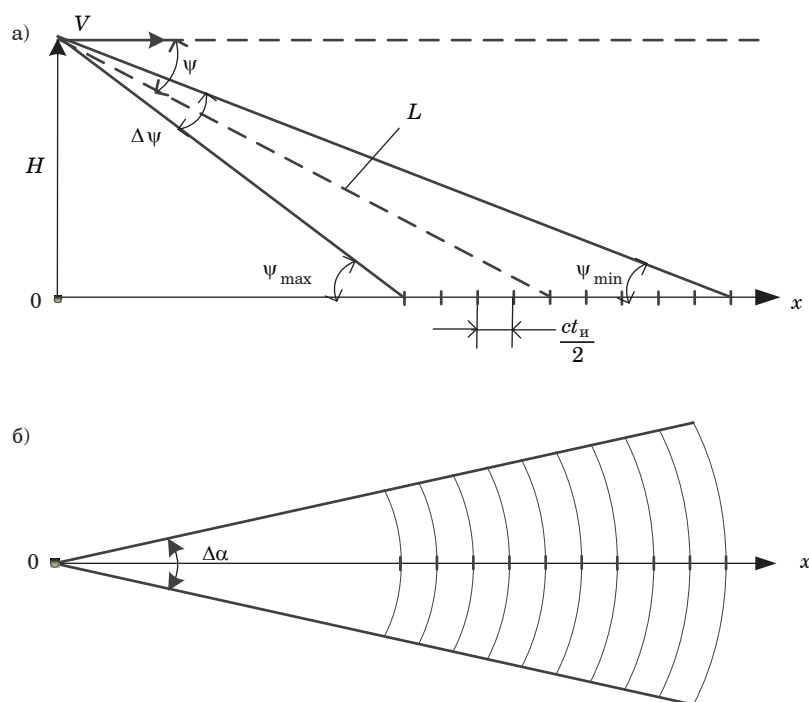


Рис. 1. Условия наблюдения подстилающей поверхности: а – вид сбоку, б – вид сверху

зора, от возможностей оценки признаков радиолокационными средствами. Кратко охарактеризуем условия, необходимые для формирования пространства информационных признаков.

К характеристикам подстилающей поверхности отнесем: вид поверхности – А или В; удельную ЭПР $\sigma(\psi, f)$, которая в свою очередь зависит от характеристик бортового оборудования, режима наблюдения и электромагнитных свойств поверхности; коэффициенты A_1, A_2, A_3 , зависящие от электромагнитных свойств поверхности. Обозначим множество факторов, характеризующих классифицируемую поверхность через $\Omega_S = (A \text{ (или В)}, \sigma(\psi, f), A_1, A_2, A_3)$. Таким образом, в рамках принятой математической модели, наблюдаемая поверхность определяется вектором Ω_S .

К обобщенным характеристикам бортовой аппаратуры относятся: ширина диаграммы направленности антенной системы ЛА по половинной мощности в вертикальной плоскости – $\Delta\psi$, ширина диаграммы направленности антенной системы по половинной мощности в горизонтальной плоскости – $\Delta\alpha$, длительность зондирующего импульса – t_H . Множество факторов, характеризующих обобщенно бортовую аппаратуру, обозначим через $\Omega_A = (f, \Delta\psi, \Delta\alpha, t_H)$. Необходимо отметить, что множество Ω_A может расширять свою размерность, частности в зависимости от реализации режима «просмотра»

анализируемой поверхности, а также при изменении множества Ω_S , например в случае расширения этого множества при включении в него переменных, характеризующих сезонные изменения или поляризационные свойства поверхности.

Наконец, определим Ω_O – множество параметров, определяющих режим обзора анализируемых подстилающих поверхностей. В это множество входят: скорость полета ЛА – V , высота полета – H , наклонная дальность до центра наблюдаемого участка подстилающей поверхности – L . Таким образом, в ограничениях рассматриваемой модели $\Omega_O = (V, H, L)$. В это множество, как и в ранее определенные множества Ω_S и Ω_A , могут входить дополнительные переменные, характеризующие режим полета, например такие, которые представляют информацию о наблюдении лишь одного фрагмента земной поверхности: центр наблюдаемой зоны остается неподвижным при движении ЛА, или же центр зоны скользит по поверхности со скоростью V , скоростью движения ЛА, возможно наблюдение анализируемой зоны при делении ее на фрагменты дорожками дальности, как это представлено на рис. 1, и т. п.

Теперь, имея три множества Ω_S, Ω_A и Ω_O , мы можем определить пространство информационных признаков, размерность которого и состав его координат определяются переменными, входящими в множества $\Omega_S, \Omega_A, \Omega_O$. При этом

в данной работе мы ограничиваемся использованием только одного ЛА, т. е. не рассматриваем многопозиционные системы, которые дают намного больше возможности для формирования пространства признаков, но являются более сложными и дорогостоящими.

Характеристики классифицируемой поверхности, представлены в множестве Ω_S , из элементов которого и должно формироваться пространство информационных признаков. Радиолокационными средствами можно оценить лишь один элемент множества Ω_S , а именно удельную ЭПР $\sigma(\psi, f)$, при этом удельную ЭПР можно определить только при использовании информации, представленной в множествах Ω_A и Ω_O .

В силу объема статьи ограничимся рассмотрением ситуации, когда ЛА совершает горизонтальный полет на постоянной высоте H , антенна наклонена под постоянным углом ψ , частота зондирующего сигнала постоянна и равна f , анализируемая поверхность относится к виду A и освещается достаточно узким электромагнитным лучом, для которого можно считать, что $\Delta\psi = \psi_{\max} - \psi_{\min}$ мало, т. е. $\psi_{\min} \approx \psi \approx \psi_{\max}$. В этом случае засвечиваемый участок поверхности по половинной мощности диаграммы направленности антенной системы ЛА представляет собой эллипс [3].

Рассмотрим поверхность вида A – поверхность с медленно меняющимся ландшафтом. В этом случае при введенных ограничениях мы можем измерить только мощность радиолокационных импульсов, отраженных от этого участка, по которой можем оценить удельную отражающую поверхность «засвеченного» участка [3]. В данном случае пространство информационных признаков $\mathbf{Q}_1$ состоит только из одного элемента

$$q_1 = \sigma(\psi, f) = A_1 + A_2 \cdot \ln(\psi / 20) + A_3 \cdot \ln(f / 10),$$

$$\mathbf{Q}_1 = (q_1).$$

Это традиционное пространство информационных признаков – классификация типов поверхностей по удельной ЭПР.

Изменим режим наблюдения поверхности, а именно будем менять несущую частоту зондирующих импульсов f , например так, как это схематично представлено на рис. 2.

При таком зондировании в каждом периоде меняется удельная ЭПР засвечиваемого участка поверхности, что позволяет расширить пространство информационных признаков. В этом случае, как следует из выражения (1), в качестве пространства информационных признаков можно предложить следующее множество:

$$\mathbf{Q}_2 = (q_1, q_2),$$

где $q_1 = A_1 + A_2 \cdot \ln(\psi / 20)$, а $q_2 = A_3$, поскольку именно эти переменные могут быть определены при приеме эхосигналов.

Таким образом, при классификации поверхностей вида A при введенных ограничениях можно использовать два пространства информационных признаков $\mathbf{Q}_1$ и $\mathbf{Q}_2$. Для пространств признаков $\mathbf{Q}_1$ и $\mathbf{Q}_2$ при достаточно большой площади засветки мощность радиолокационных импульсов распределена по закону Рэлея. Если эту площадь делить на фрагменты по дорожкам дальности, как это представлено на рис. 2, и анализировать сигналы в каждой дорожке, то флуктуации мощности в дорожках дальности подчиняются уже логарифмически-нормальному закону распределения. Эта информация необходима при синтезе алгоритмов оценки удельной ЭПР по характеристикам принимаемых сигналов, однако рассмотрение этих вопросов выходит за рамки представленной работы.

В заключение отметим, что пространство информационных признаков, как это следу-

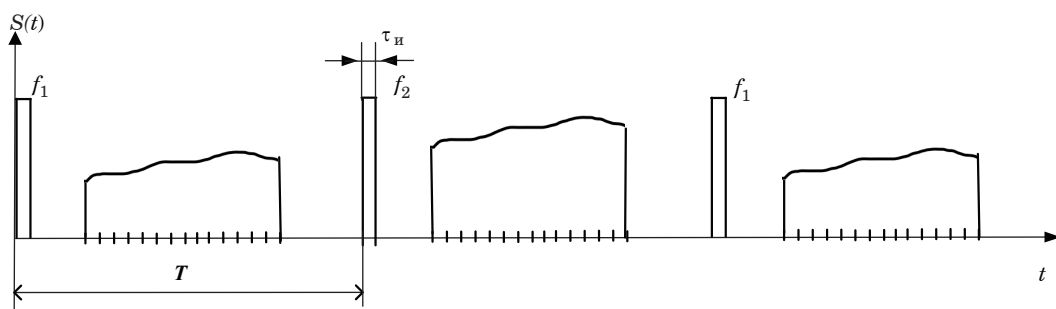


Рис. 2. Огибающая радиолокационного сигнала, отраженного от участка земной поверхности при изменении несущей частоты

ет из выражения (1), может быть расширено за счет изменения угла скольжения ψ , что можно сделать или при расширении диаграммы направленности антенной системы в вертикальной плоскости – за счет изменения $\Delta\psi$, как это

показано на рис. 1, а, или при использовании многопозиционных радиолокационных систем. Однако и эти вопросы в данной работе не рассматриваются, поскольку требуют отдельного анализа.

Библиографический список

1. *Сорокин А. А., Шепета А. П.* Классификация типов земной поверхности бортовыми малогабаритными РЛС // *Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2024): сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф., Ивановгород, 29 окт. 2024. Казань: Бук, 2024. С. 11–16.*

2. *Кулемин Г. П.* Радиолокационные помехи от моря и суши РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов // *Современная радиолокация. Киев, 1994. С. 23–29.*

3. *Блауништейн Н. Ш., Сергеев М. Б., Шепета А. П.* Прикладные аспекты электродинамики. СПб: Аграф+, 2016. 272 с.

УДК 004.622

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-91-94

А. А. Шихотов*

студент

Т. М. Татарникова*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ РУКОПИСНЫХ ДОКУМЕНТОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Современные технологии обработки изображений играют ключевую роль в автоматизации анализа рукописных документов, что становится особенно актуальным в условиях стремительного увеличения объемов цифровых данных. В данной работе было рассмотрено несколько подходов по удалению клетки на листе бумаги с использованием библиотеки OpenCV языка Python.

Ключевые слова: OpenCV, Python, обработка изображений, компьютерное зрение.

A. A. Shikhotov*

Student

T. M. Tatarnikova*

Dr. Sc., Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

PROCESSING OF HANDWRITTEN DOCUMENT IMAGES USING COMPUTER VISION METHODS

Modern image processing technologies play a key role in automating the analysis of handwritten documents, which is becoming especially relevant in the context of the rapid increase in digital data volumes. In this paper, several approaches to removing a cell on a sheet of paper using the OpenCV library of the Python language were considered.

Keywords: OpenCV, Python, image processing, computer vision.

Современные технологии обработки изображений играют ключевую роль в автоматизации анализа рукописных документов, что становится особенно актуальным в условиях стремительного увеличения объемов цифровых данных [1]. Рукописные тексты, несмотря на свою историческую значимость, представляют собой сложный объект для анализа из-за разнообразия стилей письма, различных уровней четкости и наличия шумов, которые могут значительно ухудшить качество извлеченной информации. Эффективная предварительная обработка изображений – критически важный этап в процессе распознавания и анализа рукописных документов, так как она позволяет улучшить качество изображений и повысить точность последующих алгоритмов.

Основная задача предварительной обработки – удаление шума, который может возникать из-за различных факторов, таких как качество сканирования, условия освещения и физическое состояние документа. Шум может прояв-

ляться в виде дефектов, размытости или искажений, что делает распознавание текста трудоемким и менее надежным.

Одна из частных проблем при обработке изображений рукописных документов – необходимость удаления рисунка клетки на клетчатой бумаге. Клетка может мешать распознаванию текста путем создания визуального шума, отвлекая внимание алгоритмов распознавания и ухудшая общую точность извлечения информации. В данной работе было рассмотрено несколько подходов по удалению клетки на листе бумаги с использованием библиотеки OpenCV языка Python.

Первый подход использует алгоритм обнаружения границ Canny. В зависимости от требований к решаемой задаче возможно выделить большинство границ или только те, которые имеют четкое начертание. Это все становится возможным при изменении параметров порогового значения гистерезиса [2]. В результате применения данного алгоритма можно на

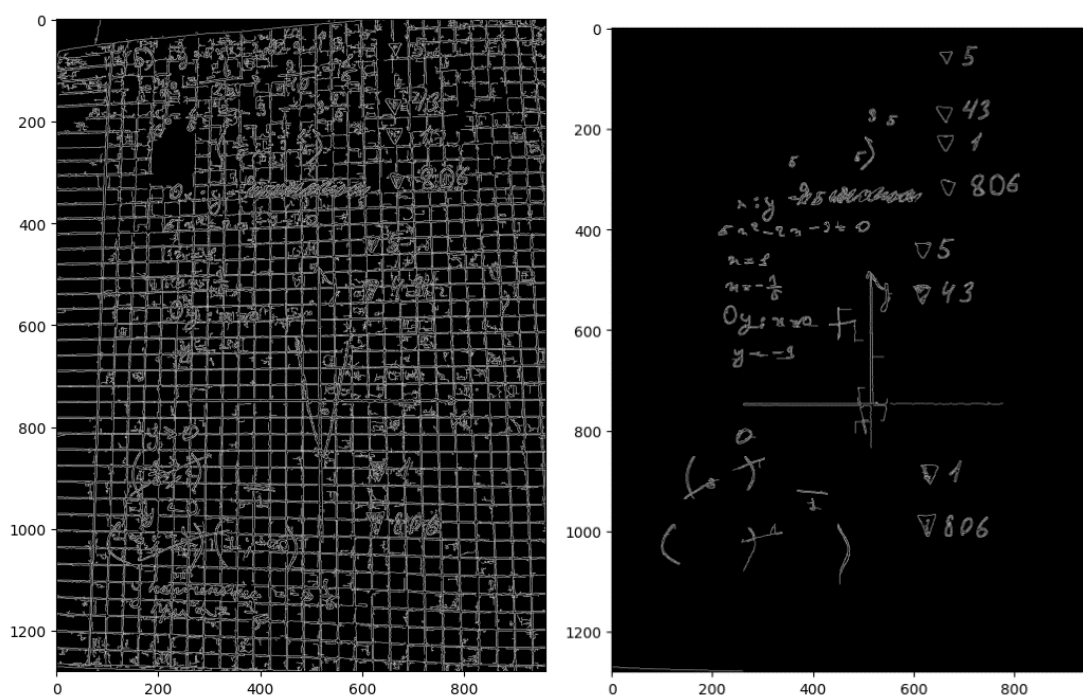


Рис. 1. Алгоритм нахождения границ Сэнну

некоторых изображениях добиться игнорирования клетки и выделения полезной информации в соответствии с рис. 1. Ожидаемо, что вместе с клеткой пропадает немалая часть рукописного текста с изображения, из-за чего данный способ может быть эффективно использован только в случае четкого изображения и толстых линий рукописного текста.

Второй подход использует в дополнение к алгоритму Сэнну алгоритм преобразования Хафа для нахождения прямых линий клетки в границах. Он может быть полезен, когда клетка на листе бумаги или любые другие линии имеют четкие контуры, которые возможно убрать только при потере качества полезных данных. После нахождения линий создается фильтр, который заменяет пиксели линии на смежные пиксели.

Преобразование Хафа – медленный алгоритм, поскольку происходит голосование за каждый пиксель и учитываются все голоса для построения линии [3]. Существует более быстрая в вычислительном отношении версия данного алгоритма – вероятностное преобразование Хафа, в которой требуется только определенное количество голосов пикселей, чтобы достичь консенсуса по параметрам линии. Это ускоряет вычисления в ситуациях, когда возможно компенсировать некоторую точность для скорости.

На реальном изображении были использованы две версии алгоритма в соответствии с рис. 2. Преобразование Хафа имеет смысл применять, когда изображение было сформировано в результате использования сканера или же оно расположено на идеально ровной поверхности и съемка ведется под прямым углом. В данном случае были найдены лишь некоторые линии, которые требуется убрать из изображения. Возможно уменьшение нижнего порога гистерезиса для прорисовки более детальной сетки, однако в данном случае возникает большое количество линий, которые некорректно описывают клетку листа.

При применении вероятностного преобразования Хафа наблюдается частично необходимый эффект, который самостоятельно не способен убрать клетку с листа, однако он может являться дополнением к другим инструментам удаления шума из изображения. При изменении параметров длины линии возможно захватывание большего количества линий клетки, но при этом обязательно будет захват линий у полезных данных на изображении, что приведет к потере качества текста.

Третий подход использует простейший метод фильтрации изображения по цветовым характеристикам [4]. Возможно выделение необходимого диапазона синего цвета чернил ручки, которым был написан текст. Для упрощения за-

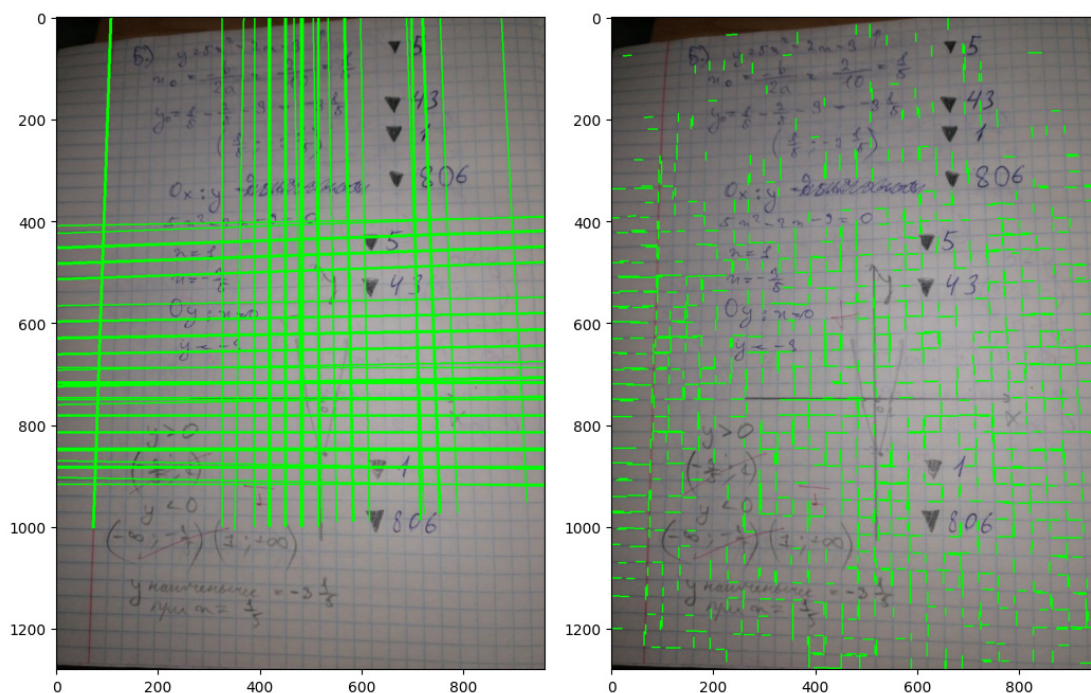


Рис. 2. Применение алгоритма преобразования Хафа

дачи лучше конвертировать RGB-изображение в пространство HSV, где необходимо создать маску по цвету, насыщенности и яркости, а затем применить маску к исходному изображению. В результате фильтр выделяет напрямую рукописный текст из изображения в соответствии с рис. 3. Качество полученных данных имеет погрешности из-за узкого диапазона цветового спектра, которые устранить возможно, но при этом под фильтр попадет клетка, что добавит шума в изображение. Также имеется существенный недостаток фильтра: его невозможно применить универсально ко всем данным. В одном случае насыщенность клетки может совпадать с насыщенностью ручки, а в другом цвет ручки будет отличаться от примера, на котором был создан фильтр.

Четвертый подход использует комбинацию из двух методов библиотеки OpenCV. В первую очередь выполняется бинаризация изображения с использованием алгоритма Adaptive Threshold, а после применяется морфологическая функция Morph Close для окончательного удаления шума на изображении [5; 6]. Фактически оба метода используются с одной и той же целью – удаление шума, но их комбинация позволяет еще лучше справиться с данной задачей. В результате применения данного подхода было получено изображение в соответствии с рис. 4.

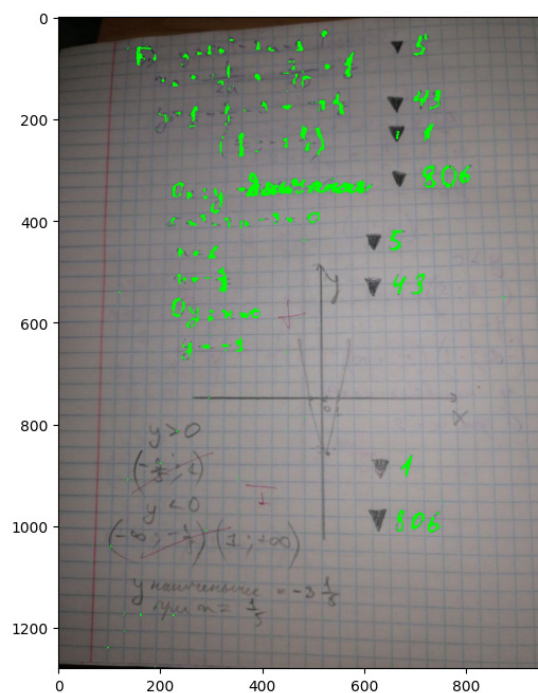


Рис. 3. Применение фильтрации по цветовой гамме

Стоит отметить, что клетка исчезла, оставив после себя небольшое количество шума, которое слабо влияет на качество текста. При попытке изменения регулирующих параметров

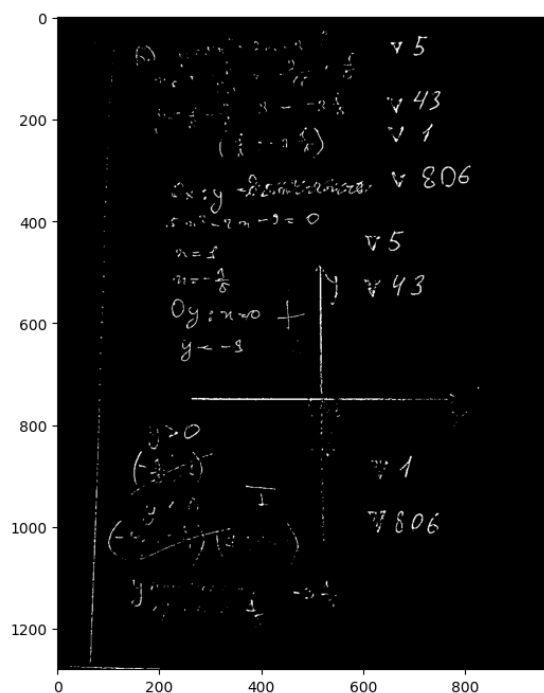


Рис. 4. Adaptive Threshold в совокупности с Morph Close

происходит ухудшение качества текста, потому при необходимости стоит использовать подходы с формированием маски клетки, которые будут исключать дальнейшее взаимодействие с текстом во избежание ухудшения результата.

Сравнивая четыре подхода по обработке изображений с целью сохранения качества рукописного текста и удаления шума, можно выделить несколько важных моментов.

Во-первых, стоит учитывать, насколько сильно можно пожертвовать качеством текста ради удаления большего объема шума. Каждый из рассмотренных методов обладает регулирующими параметрами, которые позволяют балансировать между требуемым качеством рукописного текста и наличием шума.

Во-вторых, стоит выделять характерные черты рукописного текста в документе, такие как цвет и насыщенность текста, а также качество освещенности документа. При обработке единичных образцов данные характеристики могут послужить созданию простейшего и эффективного фильтра. Конечно, в массовой автоматизации обработки изображений персональный подход не обладает должной гибкостью, однако характерные черты все еще могут быть полезны при составлении алгоритма массовой обработки изображений.

В-третьих, в частном случае может преобладать качество у отдельного подхода, но лучшим решением для общих случаев может послужить комбинация нескольких подходов, которые бы могли в совокупности представлять многоэтапный процесс обработки, учитывающий множество особенностей обрабатываемой группы документов.

Библиографический список

1. Naveen Kumar. Big Data Statistics 2024: Growth and Market Data. URL: <https://www.demandsage.com/big-data-statistics/> (дата обращения: 09.12.2024).
2. Python OpenCV – Canny Function. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/python-opencv-canny-function/?ysclid=m4h8v3qnnz889872969> (дата обращения: 09.12.2024).
3. Галиев Р. Преобразование Хафа. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/745946/> (дата обращения: 09.12.2024).
4. Жаринов О. О. Основы цифровой обработки изображений: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2023. 95 с.
5. Image Thresholding. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html (дата обращения: 09.12.2024).
6. Morphological Transformations. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html (дата обращения: 09.12.2024).

УДК 519.254

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-95-96

И. А. Юдин

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭХОСИГНАЛА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАННОЙ ЗОНЕ ПОИСКА

Рассмотрен способ расчета мощности эхосигнала морской поверхности при условии наличия априорной информации о зоне поиска в заданной зоне поиска.

Ключевые слова: мощность, радиолокационная станция, эхосигнал, морская поверхность, отражение.

I. A. Yudin

PhD Student

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

CALCULATION OF THE POWER OF THE ECHO SIGNAL OF THE SEA SURFACE IN A GIVEN SEARCH AREA

In this paper, we consider a method for calculating the power of the echo signal of the sea surface, provided that there is a priori information about the search area in a given search area.

Keywords: power, radar station, echo signal, sea surface, reflection.

Введение

Радиолокационные станции (РЛС), расположенные над водной поверхностью, неизбежно сталкиваются с отражениями радиосигналов не только от объектов обнаружения, но и от водной поверхности. Это часто приводит к возникновению нежелательных помех, что ухудшает их способность обнаружения.

В определенных приложениях РЛС, таких как системы дистанционного мониторинга морской поверхности, получение сигнала, отраженного от воды, является основным приоритетом [1]. Однако для многих других задач помехи, вызванные отражением от морской поверхности, нежелательны и могут затруднить функционирование радара. Например, все навигационные радиолокационные системы сталкиваются с проблемами, связанными с морскими помехами, что делает необходимой разработку методов их минимизации для обеспечения более точного и эффективного обнаружения объектов.

Расчет помех от морской поверхности

Мощность эхосигнала в радиолокации необходимо считать для определения характеристик рассеивающей поверхности объекта. По спек-

трам мощности эхосигналов можно исследовать связь характеристик радиозахвата с параметрами поверхности объекта. Также расчет мощности эхосигнала позволяет построить двумерное радиоизображение исследуемого объекта [2].

Сначала рассмотрим коррелированную помеху, возникающую в результате отражения зондирующего сигнала от поверхности моря, соответствующей элементу дальности, где находится целевой объект. Подставим выражение, описывающее эффективную площадь рассеяния морской поверхности, в уравнение радиолокации для вычисления мощности эхосигнала, возвращающегося от морской поверхности [3]:

$$P_c(R) = \frac{P_{tr} G_{rx} G_{tx} \lambda^2 \sigma_s}{(4\pi)^3 R^4} = \frac{P_{tr} G_{rx} G_{tx} \lambda^2 \Delta\Psi \Delta R \sigma_0(\Theta'(R))}{(4\pi)^3 R^3 \cos(\Theta'(R))}, \quad (1)$$

где P_c – мощность сигнала, отраженного объекта на входе приемника; P_{tr} – излучаемая мощность; G_{rx}, G_{tx} – коэффициенты усиления приемной и передающей антенн; λ – длина волны; σ_s – эффективная площадь рассеивания морской поверхности; R – дальность; $\Delta\Psi$ – ширина диаграммы направленности антенны по азимуту; Θ – угол скольжения.

Для более удобного моделирования мы можем выразить расстояние R в терминах номера разрешения элемента: $R = \Delta R \cdot j$, тогда уравнение (1), описывающее коррелированную помеху, примет вид

$$P_c = \frac{P_{mean} G_{rx} G_{tx} \lambda^2 \Delta \Psi \sigma_0(\Theta'(R))}{(4\pi)^3 R^2 j \cos(\Theta'(j))}. \quad (2)$$

При использовании широкополосных сигналов возникает также некоррелированная помеха. Она обусловлена наличием ненулевых боковых лепестков корреляционной функции в дальностных каналах, отличных от канала, в котором находится цель [4]. Уровень данной помехи для i -го элемента дальности в j -м канале опорного сигнала равен мощности отраженного сигнала от i -го элемента дальности, но ослабленного из-за некоррелированности опорного сигнала, настроенного на j -й канал сигнала, отраженного от i -го элемента. Уровень ослабления равен уровню корреляционной функции между отраженным зондирующим и опорным сигналами, имеющими соответственно задержки i и j квантов. Этот уровень определяется уровнем корреляционной функции сигнала для разницы задержек $|i - j| \Delta \tau$. Таким образом, помеха от i -го элемента дальности, для j -го канала (некоррелированная помеха)

$$P_u(j) = \frac{P_{mean} G_{rx} G_{tx} \lambda^2 \Delta \Psi \Delta R \sigma_0(\Theta'_i)}{(4\pi)^3 R^3 \cdot \cos(\Theta'_i)} \times \chi(|i - j| \Delta \tau).$$

Или при учете диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости

$$P_u(j) = \frac{P_{mean} G_{rx}(\Theta'_i) G_{tx}(\Theta'_i) \lambda^2 \Delta \Psi \Delta R \sigma_0(\Theta'_i)}{(4\pi)^3 R^3 \cos(\Theta'_i)} \times \chi(|i - j| \Delta \tau).$$

Библиографический список

1. Шенета А. П. Определение зоны поиска надводного объекта по данным предварительного целеуказания // Информационно-управляющие системы. 2012. № 4(59). С. 98–99.
2. Сесин А. Е. Шенета А. П. Математическая модель эхосигнала морской поверхности, наблюдаемых бортовыми локаторами летательных аппаратов // Моделирование систем и процессов, информационно-управляющие процессы. 2010. № 2. С. 21–25.

Необходимо суммировать некоррелированную помеху для всех диапазонов, где уровень бокового лепестка отличается от нуля. Таким образом, полная некоррелированная помеха вычисляется как

$$P_{u\Sigma}(j) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{P_{mean} G_{rx}(\Theta'_i) G_{tx}(\Theta'_i) \lambda^2 \Delta \Psi \Delta R \sigma_0(\Theta'_i)}{(4\pi)^3 (\Delta R i)^3 \cos(\Theta'_i)} \times \chi(|i - j| \Delta \tau). \quad (3)$$

Формула (3) отражает лишь помехи, поступающие вдоль главного лепестка диаграммы направленности антенны. При этом следует учесть, что в горизонтальной плоскости помехи могут приходить из всех направлений по азимуту, что требует их суммирования:

$$P_{u\Sigma}(j) = \sum_{\Psi=0}^{2\pi} \frac{P_{mean} G_{rx}(\Theta'_i, \Psi) G_{tx}(\Theta'_i, \Psi) \lambda^2 \Delta \Psi \Delta R \sigma_0(\Theta'_i)}{(4\pi)^3 (\Delta R i)^3 \cdot \cos(\Theta'_i)} \times \chi(|i - j| \Delta \tau). \quad (4)$$

Заключение

В статье рассмотрен способ расчета мощности эхосигнала морской поверхности при условии наличия априорной информации о зоне поиска в заданной зоне поиска. В дальнейшем необходимо учитывать, что мгновенные значения отражений от морской поверхности, могут существенно превышать среднестатистические значения. При этом ведение учета мгновенных значений помехи при отражении от морской поверхности позволяет более точно моделировать зону обнаружения в непосредственной близости от радиолокационной станции.

3. Isakov V. I., Shepeta D. A. Simulation of location signals when determining a coastal edge // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems. St. Petersburg, 2021. P. 1–5.

4. Toporkov J. K., Brown G. S. Numerical simulations of scattering from time-varying, randomly rough surfaces // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2000. Vol. 38, № 4. P. 1616–1624.

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-97-100

А. В. Яковлев

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Перечислены причины, по которым даже очень современная медицинская организация является сложным объектом для внедрения технологий искусственного интеллекта. Проведен анализ эффектов, ожидаемых медицинским сообществом от применения технологий ИИ (для отдельных медицинских специальностей). Дается прогноз технологий ИИ, появление и активное внедрение которых в качестве рабочего инструмента в медицинских организациях пользователи – медицинский персонал – ожидают увидеть в ближайшем будущем.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, медицинские организации, здравоохранение, прогноз.

A. V. Yakovlev

PhD, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE ACTIVITIES OF A MEDICAL ORGANIZATION

The reasons why even a very modern medical organization is a difficult object for the introduction of AI technologies are listed. The analysis of the effects expected by the medical community from the application of AI technologies (for individual medical specialties) is carried out. The forecast of AI technologies, the appearance and active introduction of which users – medical treatment personnel, expect to see in the near future as a working tool in medical organizations, is given.

Keywords: artificial intelligence technologies, medical organizations, health care, prediction.

Развитие технологий искусственного интеллекта (далее – ТИИ) открывает перспективы их внедрения и использования в такой социально значимой отрасли, как здравоохранение. Однако, даже очень современная медицинская организация является сложным объектом для внедрения ТИИ по следующим причинам:

- 1) неоднородность цифровизации лечебных и диагностических подразделений;
- 2) низкая структурированность информационных массивов с медицинской информацией;
- 3) недостаточный уровень подготовки персонала в области высокотехнологичной обработки медицинских данных;
- 4) нерешенность важных правовых проблем применения ТИИ в здравоохранении в целом.

Рассмотрим эти причины подробнее.

Неоднородность цифровизации лечебных и диагностических подразделений связана с особенностями используемого этими подразделениями оборудования. Например, клиники (отделения) рентгенологии и радиологии обыч-

но оснащены современными аппаратами КТ и МРТ, которые, по сути, являются мощнейшими компьютерными системами со своими локальными сетями и самыми современными интерфейсами. Более того, значительный поток пациентов и ограниченные возможности по хранению данных вынуждают переносить часть собираемых данных в центры обработки данных лечебных учреждений. Схожая ситуация наблюдается с центрами (отделениями) лабораторной диагностики, где также устанавливается современное оборудование для анализа биоматериала, обладающее сетевыми интерфейсами для интеграции в медицинскую информационную систему (далее – МИС) и в лабораторную информационную систему (далее – ЛИС). В обоих рассмотренных случаях вся деятельность специалистов подразделений связана с оборудованием, генерирующим значительный объем данных. Уровень цифровизации деятельности этих подразделений очень высок.

С другой стороны, деятельность лечебных подразделений в большей степени связана не с оборудованием, а с ведением пациентов и принятием взвешенных решений о тактике лечения в каждом конкретном случае. Уровень их цифровизации значительно ниже. Более того, в таких подразделениях источником данных становится лечебный состав, на который возлагается дополнительная нагрузка по заполнению медицинской документации, часто одновременно как в бумажном, так и в электронном виде посредством МИС.

Отдельным, но существенным аспектом оказывается то, что уровень внедрения ТИИ в используемые на сегодня МИС и ЛИС остается крайне низким. По большому счету, большинство эксплуатируемых МИС являются качественными интерфейсами к базам данных с медицинской информацией.

Наконец, важно понимать, что многие медицинские организации пространственно разнесены, т. е. могут иметь несколько корпусов, находящихся на значительном с сетевой точки зрения расстоянии. Например, городская поликлиника, имеющая несколько филиалов, либо городская поликлиника, связанная по ЛИС с центральной лабораторией. В такой конфигурации обеспечение высокоскоростного и защищенного доступа к медицинским данным становится проблемой, которая не всегда может быть решена. Отсюда сложности доступа к отдельным цифровым сервисам, включая связанные с ТИИ.

Низкая структурированность информационных массивов, содержащих потенциально ценные данные о пациентах, наблюдаемых на протяжении длительного времени, вытекает из озвученной причины. Информация в медицинской организации собирается не с научной целью, а прежде всего с лечебно-диагностической, а также для документальной фиксации деятельности лечебного персонала по лечению пациентов. Разрабатываемые МИС и ЛИС обеспечивают достижение этих целей. Вместе с тем современные ТИИ весьма требовательны к качеству разметки используемых ими датасетов.

Недостаточный уровень подготовки персонала в области высокотехнологичной обработки медицинских данных. ТИИ в современном исполнении – это очень новая группа технологий, чье бурное развитие стало заметно только в последние годы. Даже среди технических специалистов далеко не все понимают суть этих технологий, границы их применения и точки роста, в которых их целесообразно исполь-

зовать. Большинство медицинских специалистов в целом неплохо понимают современные информационные технологии и их возможную роль в повышении качества оказания медицинской помощи, ряд специалистов хорошо знают медицинскую статистику. Однако требовать от профессионалов в области медицины знаний, которые даются на протяжении минимум четырех лет обучения в технических вузах, будет заблуждением. Современная обработка медицинских данных с использованием ТИИ – это стык баз данных и продвинутого машинного обучения, включающего математическую статистику с теорией вероятности, а также классического программирования. В этой ситуации необходима разработка учебных программ по ТИИ, адаптированных для разных категорий лечебного персонала по направлениям их деятельности (лечебным специальностям).

Правовыми проблемами применения ТИИ в здравоохранении являются следующие [1].

Проблема 1. Распределение ответственности за вред здоровью пациента, наступивший в результате применения ТИИ в процессе оказания медицинской помощи. До сих пор законодательно не установлен перечень случаев, при которых допускается полное или частичное принятие решений с применением систем, реализующих ТИИ.

Проблема 2. Неопределенность в вопросах отнесения систем ИИ (включая приложения с элементами ИИ, чат-боты, советующие системы с элементами ТИИ и др.) к медицинским изделиям, подлежащим государственной регистрации.

Проблема 3. Отсутствует специальный порядок регистрации систем ИИ, учитывающего их специфику. Специфика систем ИИ связана с тем, что по мере накопления данных, включенных в датасеты, возникает необходимость регулярного обновления программного обеспечения на основе ТИИ. Также одной из критик существующих ТИИ является невозможность объяснения правил, на основании которых обученный алгоритм принимает решение, что делает трудно решаемой проблему 1.

Проблема 4. Низкая доступность медицинских данных в целом и качественных размеченных данных в особенности для использования разработчиками систем ИИ в связи с отсутствием достаточных правовых оснований для предоставления права использования обезличенных медицинских данных третьим лицам, регламентов передачи медицинских данных от медицинских организаций компаниям – разработчикам систем искусственного интел-

лекта и робототехники. Часть 1 статьи 10 ФЗ от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» четко указывает, что обработка персональных данных, касающихся состояния здоровья, не допускается, за исключением ограниченного числа случаев [2].

Проблема 5. Не определен порядок проведения клинических испытаний систем и медицинских изделий, использующих ТИИ, в том числе способных изменять характеристики алгоритмов по мере пополнения исходных датасетов новыми данными.

Несмотря на перечисленные сложности, внедрение ТИИ в деятельность здравоохранения в целом и отдельных медицинских организаций в частности – это, скорее, вопрос времени. Ожидаемый экономический эффект от уже проводимой цифровизации в сочетании с активным внедрением ТИИ может быть значителен. В таблице приведены ожидаемые врачом сообществом области применения ТИИ по медицинским специальностям, подготовленные на основании ГОСТ Р 59525–2021 «Информатиза-

ция здоровья. Интеллектуальные методы обработки медицинских данных. Основные положения» [3].

Анализ представленных данных, а также приведенных в ГОСТ Р 59525–2021 [3] позволяет предположить, появление и активное внедрение каких именно ТИИ конечный пользователь – медицинский персонал – ожидает в ближайшее время увидеть в качестве рабочего инструмента.

1. Разработка систем поддержки принятия решений и их интеграция в существующие МИС и ЛИС с функционалом, обеспечивающим:

- акцентирование внимания врача на значимых/существенных изменениях в медицинских показателях пациента;

- моделирование возможного исхода лечения при разных вариантах терапии, прогноз осложнений, выявление рисков.

2. Разработка программных модулей, повышающих «интеллектуальность» уже существующих медицинских приборов в части:

Классификация применения ТИИ в медицине и здравоохранении [3]

Направление	Область применения ТИИ
Лучевая диагностика	– Автоматизированный контроль качества выполненных исследований (полученных изображений). – Приоритизация результатов исследований, выявление признаков патологических процессов. – Поддержка принятия решений при дифференциальной диагностике, морфометрия, сравнительный анализ исследований, выполненных в динамике, формирование проектов описаний результатов исследований, голосовое заполнение медицинской документации
Патоморфология и цитология	
Дерматология	Обнаружение и классификация злокачественных новообразований кожи (в том числе при скрининге)
Офтальмология	Обнаружение и классификация глазных болезней по диагностическим изображениям
Терапия	– Выявление рисков, прогнозирование осложнений/результатов; система поддержки врачебных решений; подбор терапии. – Роботизированное выполнение инвазивных и неинвазивных манипуляций, содействие в уходе за пациентом
Кардиология	– Количественное определение, компьютерное обнаружение патологий, диагностика и дифференциальная диагностика. – Выявление рисков, прогнозирование исходов, результатов. – Система поддержки клинических решений
Неврология, урология, хирургия	– Прогнозирование осложнений/результатов; система поддержки врачебных решений. – Роботизированное выполнение инвазивных и неинвазивных манипуляций, содействие в уходе за пациентом
Анестезиология, отделение интенсивной терапии (ОИТ)	– Система непрерывного мониторинга; прогнозирование осложнений/результатов. – Роботизированное выполнение инвазивных и неинвазивных манипуляций, содействие в уходе за пациентом
Неотложная помощь	– Система транспортировки и сортировки. – Система непрерывного мониторинга. – Прогнозирование осложнений/результатов. – Роботизированное выполнение инвазивных и неинвазивных манипуляций

– работы с изображениями: сопоставления с ранее полученными изображениями, распознавания на них признаков заболевания; особый интерес здесь представляет работа с DICOM-изображениями, которые создаются современными приборами лучевой диагностики;

– комплексного анализа изображений с учетом данных ЛИС и МИС.

3. Разработка «умных» устройств для непрерывного либо периодического мониторинга состояния пациента как в стационаре, так и в домашних условиях. Это могут быть как специализированные носимые устройства, так и прикладное программное обеспечение, устанавливаемое на оснащенные датчиками компьютеры, подключенные к локальным (либо глобальным) компьютерным сетям. В качестве датчиков могут использоваться специализированные устройства, обычные микрофоны, камеры.

4. Разработка приложений, обеспечивающих защищенное взаимодействие «прикрепленного» пациента с инфраструктурой медицинской организации в части:

– заполнения со стороны пациента установочных данных и тем самым снижения нагрузки на медицинский персонал по заполнению документов;

– контроля достоверности заполняемых пациентом данных;

– реализация частичного функционала «удаленного» доктора для простых случаев (при условии отработки нормативно-правового регулирования процедуры «телемедицинская консультация») в виде чат-бота либо иного вида взаимодействия (вплоть до цифровой реальности).

5. Разработка приложений по речевому вводу данных в МИС как медицинскими работниками, так и пациентами. Например, проведение опроса пациента с автоматическим заполнением граф электронной карты пациента по конкретному случаю, с последующим подключением алгоритмов поддержки принятия врачебных решений уже в процессе приема врачом.

6. Разработка систем обработки естественного языка (англ. Natural Language Processor, NLP) с целью структурирования информации, размещенной в МИС (например, записей электронных медицинских карт), выявления закономерностей, контроля качества оказания медицинской помощи.

Таким образом, современная медицинская организация с точки зрения разработчиков решений в области ТИИ является привлекательным партнером, тем не менее с существенными ограничениями. Поэтому разработке и внедрению конкретных ТИИ должны предшествовать изучение готовности медицинской организации к такому внедрению; определение перечня актуальных для медицинской организации ТИИ, требующих разработки; определение источников данных, объема доступных данных и их качества; оценка экономических эффектов от разработки и внедрения предлагаемых к внедрению конкретных ТИИ; оценка возможности и потенциала их масштабирования на другие медицинские организации.

Библиографический список

1. Об утверждении Концепции развития регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники на период до 2024 г.: распоряжение Правительства РФ от 19 августа 2020 г. № 2129-п. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74460628/> (дата обращения: 03.12.2024).

2. О персональных данных: Федер. закон от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ. URL: <https://base.garant.ru/12148567/> (дата обращения: 03.12.2024).

3. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59525–2021. Информатизация здоровья. Интеллектуальные методы обработки медицинских данных. Основные положения: утв. и введен в действие приказом Федер. агентства по техническому регулированию и метрологии России от 25 мая 2021 г. № 9 429-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179654> (дата обращения: 03.12.2024).

УДК 004.93

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-101-107

А. В. Яковлев

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ БАЗ АУДИО- И ВИДЕОДАННЫХ

Рассмотрены практические аспекты разработки программного обеспечения, реализующего психофизиологическую методику «Сложная реакция на движущийся объект», применительно к решению задачи создания баз аудио- и видеоданных.

Ключевые слова: состояние человека, программное обеспечение, психофизиологическая методика, реакция на движущийся объект.

A. V. Yakovlev

PhD, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR MODELING OF OPERATOR ACTIVITY FOR CREATION OF AUDIO AND VIDEO DATABASES

Practical aspects of software development realizing the psychophysiological method «Complex reaction to a moving object» are considered in relation to the solution of the problem of creating databases of audio and video data.

Keywords: human state, software, psychophysiological method, reaction to a moving object.

Разработка алгоритмов диагностики утомления человека в условиях сенсорно-когнитивной нагрузки является актуальной, но сложной с методической точки зрения задачей. С одной стороны, использование контактных датчиков для ее решения уже неактуально, так как затрудняет выполнение человеком своей деятельности. С другой стороны, можно оценивать состояние утомления человека дистанционно, по его речи и видеоизображению, не отрывая его от работы [1; 2]. Однако для разработки надежного алгоритма оценки утомления требуются корректно созданные датасеты.

Для решения этой задачи необходимы аппаратно-программные и программные средства, моделирующие ключевые элементы профессиональной деятельности специалиста. Для каждого вида профессиональной деятельности набор таких ключевых элементов может отличаться. Поэтому специалист каждого конкретного вида профессиональной деятельности должен обладать набором профессионально важных качеств (далее – ПВК), позволяющих успешно выполнять набор таких ключевых элементов профессиональной деятельности на протяжении

всей смены, например. Для определения набора ПВК для каждой специальности проводятся профессиографические обследования.

Операторская деятельность – это деятельность человека в условиях сенсорно-когнитивной нагрузки. Поэтому основными ПВК для нее являются характеристики пространственно-временного предвиденья оператором координат перемещающегося на экране объекта с последующей реакцией на это перемещение. Для оценки этих характеристик используется несколько психофизиологических методик: «простая зрительно-моторная реакция» (сокращенно – ПЗМР) и «реакция на движущийся объект» (сокращенно – РДО) в простом [3] и сложном исполнении. Эти методики имеют много реализаций. Однако применительно к решению задачи моделирования операторской деятельности при создании баз аудио- и видеоданных практически у всех доступных продуктов есть существенные недостатки:

– закрытость программного кода, невозможность его адаптации под новое оборудование (например, другой монитор или подключение другого манипулятора);

– отсутствие интерфейсов, позволяющих интегрировать уже разработанное программное обеспечение в разрабатываемые комплексы для сбора видео- и аудиоданных;

– часто отсутствие возможности настройки отдельных параметров проведения моделирования (например, изменение цветов под более соответствующие конкретному виду операторской деятельности);

– нередко отсутствие возможности выгружать результаты исследований в популярные форматы представления данных.

В рамках ряда проводимых исследований по созданию баз аудио- [4] и видеоданных [5], отражающих процесс формирования утомления операторов, в качестве средства моделирования утомления использовался программный продукт «Эмоциональная напряженность», разработанный в 2013 г. сотрудниками кафедры военной психофизиологии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (авторы: А. М. Войтенко, В. С. Баландин, С. Ю. Зайцева) и представляющий собой программную реализацию сложной РДО. Рассмотрим детальнее его достоинства и недостатки, а также определим перспективы дальнейшей доработки.

После запуска программы исследователь – лицо, проводящее обследование, – заходит в главное меню (рис. 1) и выбирает режим «Тестирование», тем самым переходя к выбору тестируемого (обследуемого) добровольца (рис. 2).

Важно отметить, что использование терминов «тестируемый», «испытуемый» не желательно. Сегодня в большинстве проводимых научных исследований с участием человека используется термин «доброволец» – лицо, добровольно принимающее участие в проводимых научных исследованиях и подписавшее информированное согласие о том, что он (она) ознакомлен с целями, задачами исследования, возможными рисками и согласен участвовать в них на возмездной либо безвозмездной основе. Соответственно, в разрабатываемых программных продуктах необходимо предусмотреть возможность изменения формулировок, размещенных в текстовых формах. Обычно это делается путем создания конфигурационного файла, который можно редактировать в стандартных редакторах.

В меню выбора добровольца для обследования исследователь выбирает фамилию (либо псевдоним) добровольца, который будет прохо-

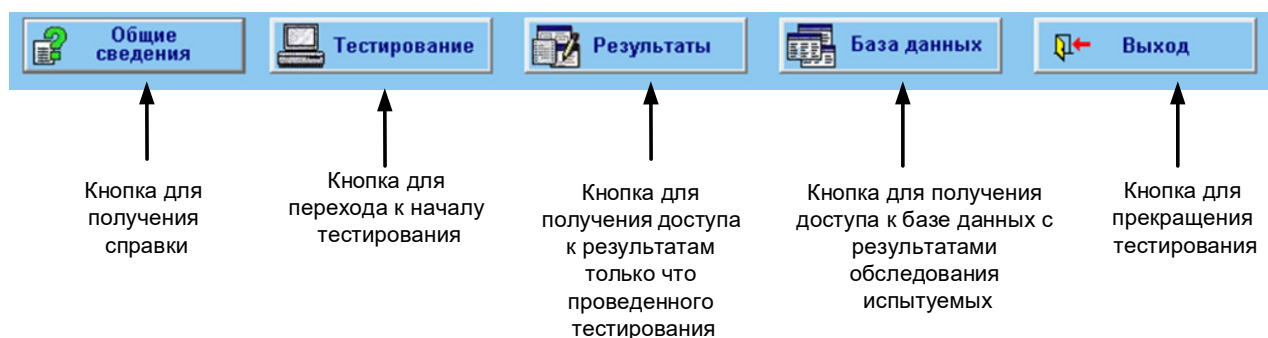


Рис. 1. Главное меню программы «Эмоциональная напряженность»

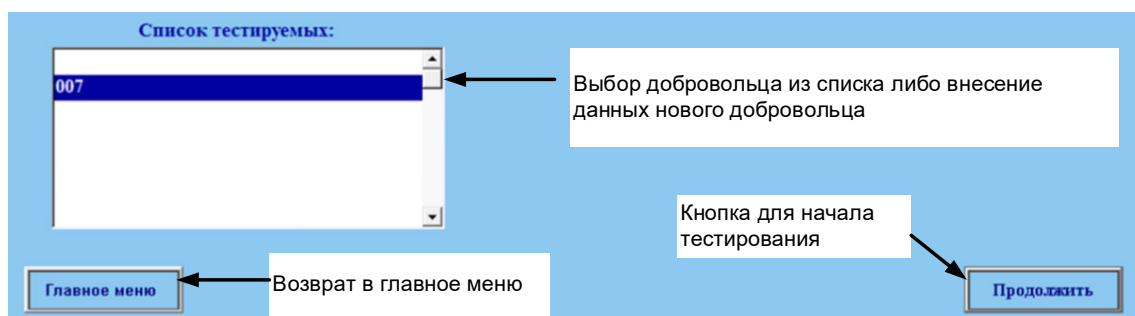


Рис. 2. Меню выбора добровольца для обследования

дить обследование по данной методике. В случае если доброволец еще не занесен в базу данных программы, т. е. возможность внести его фамилию, имя либо его псевдоним. В связи с этим также важно отметить, что часть сведений, которые заносятся в программное обеспечение, может относиться к персональным данным добровольца. По этой причине перед началом исследования целесообразно получить письменное добровольное согласие добровольца на работу с его персональными данными в объеме, определяемом дизайном проводимого исследования. Оба документа: и добровольное согласие и согласие на обработку персональных данных – должны быть собственноручно подписаны добровольцем и храниться у исследователя. Также в целях сохранности персональных данных целесообразно использовать в программе не полные имена добровольцев, а их псевдонимы либо буквенно-цифровые идентификаторы.

После того как исследователь либо доброволец нажал на кнопку «Продолжить», перед ним появляется инструкция по выполнению теста (рис. 3).

После ознакомления с инструкцией добровольцу необходимо пройти тренировку для адаптации к предлагаемой методике (рис. 4). Суть рассматриваемой реализации методики сложной РДО состоит в том, что одновременно по всем трем кругам с разной скоростью в раз-

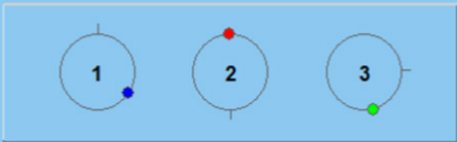
ных направлениях движутся тест-объекты – небольшие шары разного цвета. Например, синий шар на левом круге может двигаться в направлении по часовой стрелке, красный шар на центральном круге – против часовой, зеленый шар на правом круге – по часовой стрелке. Риски, на пересечение с которыми должен отреагировать доброволец, проходящий тестирование, также размещаются в разных местах на кругах.

Существенным недостатком рассматриваемого программного продукта является то, что в процессе работы с программой как в режиме тренировки, так и в режиме тестирования отсутствует возможность «расширить» программу на весь экран. Также отсутствует возможность изменить цветовые решения программы на более контрастные. В результате при проведении исследований на компьютерах с высоким разрешением мониторов окно с предъявлением стимульного материала занимает не весь экран монитора, а только его центральную часть. Это может отвлекать внимание добровольца от выполнения задания. Поэтому при разработке адаптированной версии настоящего программного продукта целесообразно предусмотреть возможность «расширения» окна предъявления стимульного материала на весь экран. Однако при этом должны быть соблюдены размеры и пропорции предъявляемых стимулов. Так, диаметр каждого круга целесообразно оставить равным 70 см при прохождении исследования

Исследование направлено на оценку точности реакций на движущиеся объекты при работе по трем индикаторам.

ЗАДАЧА

При достижении тест-объектами заданных точек отсчета, обозначенных на индикаторах вертикальным или горизонтальным отрезком, необходимо нажимать на соответствующие клавиши.



Индикатору № 1 соответствует клавиша ←

Индикатору № 2 соответствует клавиша ↓

Индикатору № 3 соответствует клавиша →

Работа выполняется пальцами одной кисти.

Необходимо работать максимально точно, так как учитываются все пропущенные реакции и избыточные нажатия.

Главное меню Тестирование

Рис. 3. Инструкция добровольцу перед началом тестирования

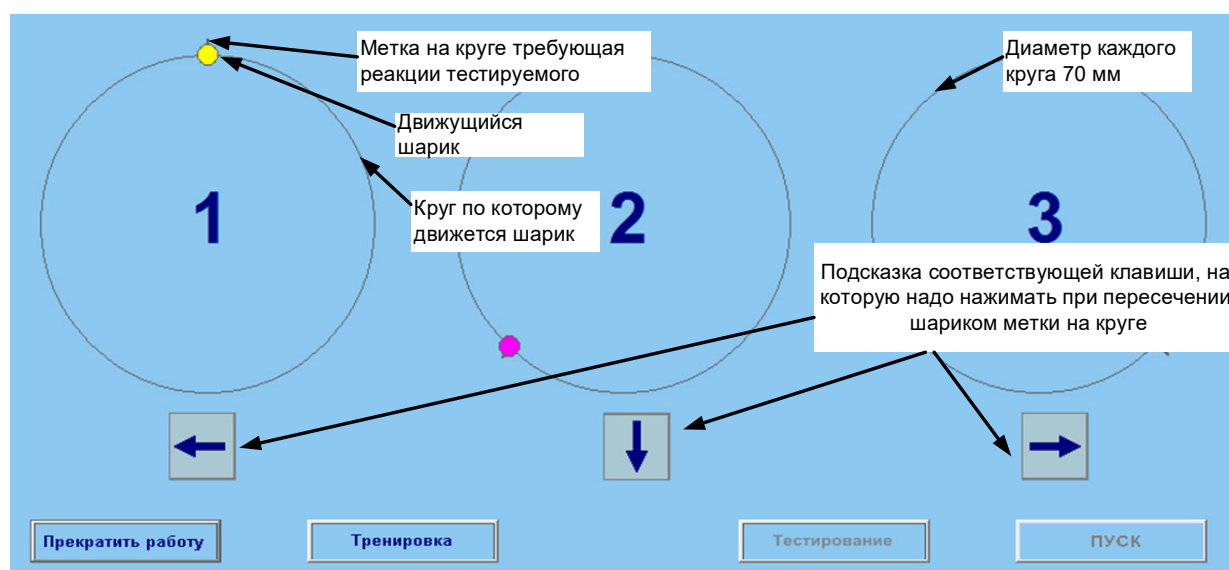


Рис. 4. Окно предъявления стимульного материала в процессе прохождения тренировки перед началом тестирования

на ноутбуке. Соответственно, в случае прохождения исследования с использованием монитора и на большем расстоянии, диаметр круга и других элементов должен увеличиваться пропорционально расстоянию от глаз добровольца до экрана. Остальное место на экране должно быть заполнено базовым цветом используемой цветовой схемы. Как было сказано, такая опция проще всего реализуется путем создания конфигурационного файла, который можно редактировать в стандартных редакторах.

По окончании тренировки пользователю на экране предъявляются результаты, которых он смог достичь во время тренировки. Рассмотрим их детальнее. Среднее время ошибки РДО на один оборот (с) и среднее преобладание времени ошибки РДО на один оборот (с) являются основными показателями РДО. Они могут быть со знаком «минус» – при преобладании преждевременных реакций, без знака – при преобладании запаздывающих реакций. Минимальные значения показателей РДО соответствуют высокой точности пространственно-временной антиципации добровольца. Соответственно, чем выше это значение, тем хуже показатели добровольца по данной методике. Общее количество предъявлений – это количество полных оборотов шариков суммарно на всех трех кругах. Общее количество реакций – это количество нажатий добровольцем соответствующих клавиш при пересечении шариками рисков на кругах. В общем случае общее количество реакций соответствует общему количеству предъявлений. Однако до-

броволец может пропустить момент, когда шарик пересек риск, и шарик «пойдет на следующий круг». В этом случае показатель Количество пропущенных реакций увеличится на единицу. Может быть противоположная ситуация, когда доброволец несколько раз нажмет клавишу, пытаясь «поймать кружком риск». В таком случае на единицу увеличится показатель Количество лишних реакций.

После нажатия кнопки «Тестирование» доброволец выполняет сам тест (рис. 5).

В процессе выполнения теста предъявляемая добровольцу нагрузка постепенно увеличивается от слабой (1-я ступень информационной нагрузки) до сильной (8-я ступень информационной нагрузки). В действующей версии программного продукта смена ступени информационной нагрузки происходит автоматически каждые три минуты работы за счет увеличения на 10% скорости движения тест-объектов. Выполнение теста прекращается автоматически, когда доброволец совершает более 50% ошибок, т. е. когда (количество пропущенных реакций / общее количество предъявлений) > 0,5. Кроме того, доброволец может самостоятельно прекратить выполнение теста, нажав кнопку «Прекратить работу». В таком исполнении тест позволяет определить количество информации, которое доброволец способен переработать по своим психофизиологическим возможностям.

Качество выполнения задач сохраняется в протоколе: время ошибки РДО и время преобладания ошибки РДО на каждой ступени информационной нагрузки (рис. 6).

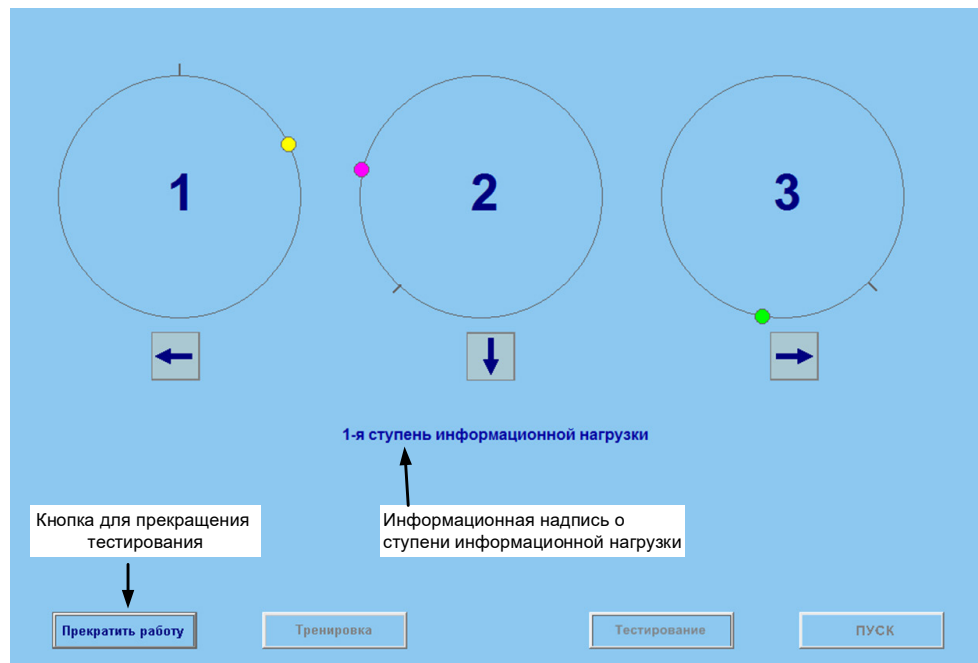


Рис. 5. Окно с предъявлением стимульного материала теста

Фамилия, имя, отчество:												Возраст:				Пол:					
Дата прохождения теста:					Время начала прохождения теста:								Продолжительность тестирования:								
№ инф. ступени	Среднее количество предъявлений				Среднее количество пропущенных реакций				Среднее количество избыточных реакций				Среднее время ошибки РДО на 1 оборот (с)				Среднее преобладание времени ошибки РДО на 1 оборот (с)				
	1-й инд.	2-й инд.	3-й инд.	сумма	1-й инд.	2-й инд.	3-й инд.	сумма	1-й инд.	2-й инд.	3-й инд.	сумма	1-й инд.	2-й инд.	3-й инд.	сумма	1-й инд.	2-й инд.	3-й инд.	сумма	
1	12	14	9	35	0	0	0	0	0	0	0	0	3.23	3.97	5.23	4.06	3.23	3.97	5.23	4.06	~
2	13	15	10	39	0	1	0	1	0	0	0	0	2.81	8.12	10.62	8.09	2.81	4.15	5.38	4.03	
3	14	17	11	42	0	0	0	0	0	0	0	1	2.29	11.00	15.40	11.27	2.29	2.88	4.78	3.19	
4	16	19	13	47	0	1	0	1	0	0	0	1	2.97	14.12	18.29	14.29	2.97	3.12	2.90	3.02	
5	17	21	14	52	0	0	0	0	0	0	0	0	2.61	16.79	21.15	16.99	2.61	2.67	2.86	2.69	
6	19	23	15	57	0	0	0	0	0	0	0	0	2.52	18.98	23.49	19.33	2.52	2.19	2.33	2.34	
7	21	25	17	63	0	0	0	0	0	0	0	0	2.20	20.98	25.92	21.51	2.20	2.00	2.43	2.18	
8	23	28	19	69	1	1	1	3	0	0	0	0	2.34	23.38	28.29	23.88	2.34	2.40	2.38	2.38	

Главное меню

Кнопка для выхода в главное меню

Кнопка для печати результатов тестирования

Печать протокола

Рис. 6. Окно с результатами тестирования

Особенностью рассматриваемого программного продукта является то, что дальнейшего анализа результатов не производится. Более того, сами результаты тестирования можно только распечатать. Выгрузка результатов тестирования в файл не осуществляется.

Существенная особенность моделирования операторской деятельности при создании баз аудио- и видеоданных состоит в необходимости сочетания периодов регистрации аудио- и видеоданных добровольца с предъявлением нагруз-

ки, моделирующей операторскую деятельность (рис. 7). В представленном примере доброволец зачитывал семь текстовых блоков, между которыми он выполнял нагрузочный тест РДО (6 циклов предъявления теста), каждый цикл тестирования длился от 4 до 40 мин. В период чтения текстовых блоков (желтые круги на рис. 7) происходили регистрация речи добровольца и запись его видеоизображения. Между ними (белые прямоугольники) показаны периоды выполнения добровольцем методики сложной РДО.

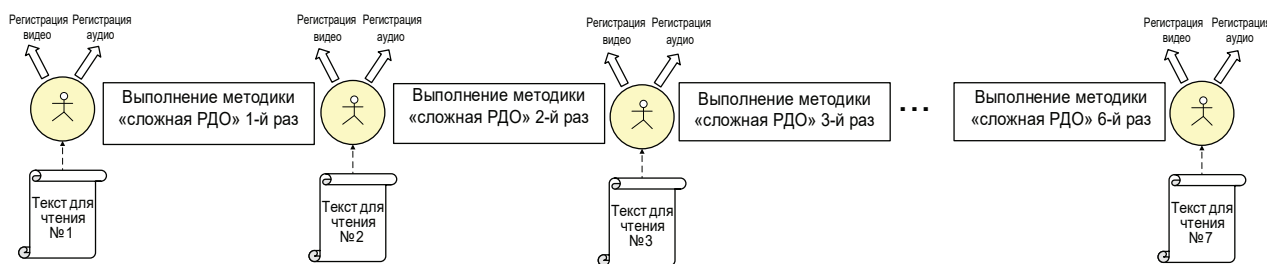


Рис. 7. Пример дизайна исследования с выполнением методики «сложная РДО»

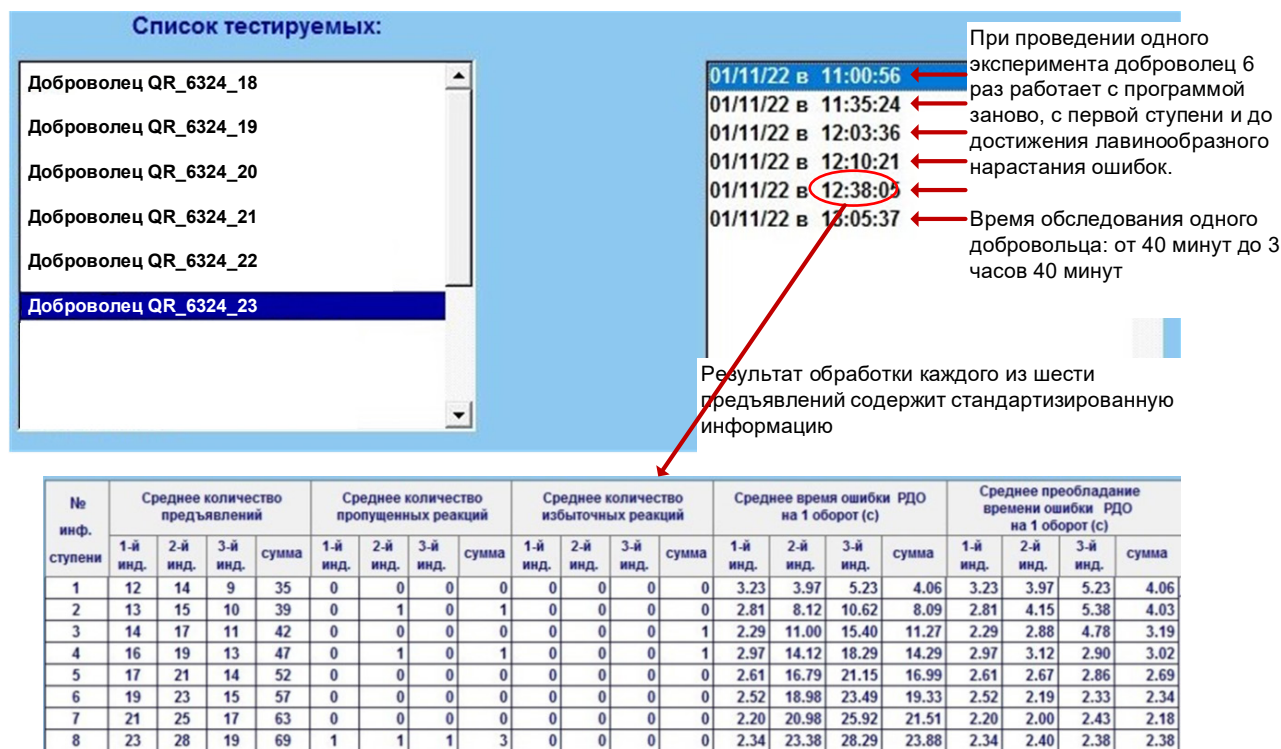


Рис. 8. Сохранение результатов исследования с выполнением методики «сложная РДО»

Результаты такой многократной работы программы сохраняются во внутренней базе данных программы в виде отдельных записей (рис. 8), которые нельзя совместно проанализировать, так как встроенной аналитики в программе нет, а выгрузка данных в стандартные форматы данных (.xls, .csv, .txt, .json) не производится. Также особенностью являлось то, что программа не обладала современными сетевыми возможностями, и при проведении исследования приходилось производить ее запуск не по сети (например, по протоколу WebSocket), а в ручном режиме.

Таким образом, разработка программного обеспечения для моделирования операторской деятельности при создании баз аудио- и видеоданных является актуальной научно-практической задачей. В основе ее решения целесообразно

использовать логическую организацию уже существующих программных решений с доработкой в сторону их большей адаптивности к современным интерфейсам, в том числе сетевым протоколам, предоставления большего числа пользовательских настроек, включения в программный продукт минимальных «аналитических» возможностей. Кроме этого, ввиду того что такой программный продукт является реализацией психофизиологической методики, важным остается требование к быстродействию программного кода.

Библиографический список

1. Распознавание утомления человека на основе анализа его речи с помощью нейросетевых техно-

логий / А. В. Яковлев, В. О. Матыцин, В. А. Велюга [и др.] // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2023. Т. 12, № 1. С. 46–60.

2. 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.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2023614541. Программа для предъявления психофизиологического теста «Реакция на движущийся объект» / Саянский Н. А., Драгун

М. Ю., Яковлев А. В., Матыцин В. О., Рыжиков М. А. Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова. 2023.

4. База данных 2024620783. Аудиозаписи речи лиц мужского пола в возрасте 22–26 лет, выполняющих серии сенсорно-когнитивных задач / Яковлев А. В., Матыцин В. О., Воронцов Н. В. Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2024.

5. База данных RU 2023624997. Видеозаписи изображений (по поясу) мужчин 22–26 лет, выполняющих серии сенсорно-когнитивных задач / Яковлев А. В., Матыцин В. О., Печеневский В. М. Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2023.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.8

К. В. Быченко*

магистрант

А. В. Аграновский*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В СИСТЕМАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ**

Рассмотрено использование методов искусственного интеллекта (ИИ) в информационных системах планирования задач. Проанализированы результаты внедрения ИИ в существующих системах, а также перспективы, ограничения и вызовы, связанные с дальнейшим развитием таких систем. Представлены примеры применения искусственного интеллекта в известных платформах, включая российскую систему управления знаниями, проектами и командами Yonote.

Ключевые слова: искусственный интеллект, планирование задач, автоматизация, продуктивность, анализ данных.

K. V. Bychenok*

Postgraduate Student

A. V. Agranovskii*

PhD, Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TASK SCHEDULING SYSTEMS

The use of artificial intelligence (AI) methods in task scheduling information systems is considered. The results of the implementation of AI in existing systems, as well as the prospects, limitations and challenges associated with the further development of such systems, are analyzed. Examples of the use of artificial intelligence in well-known platforms are presented, including the Russian knowledge, project and team management system Yonote.

Keywords: artificial intelligence, task planning, automation, productivity, data analysis.

Искусственный интеллект (ИИ) в последние десятилетия стал неотъемлемой частью технологий, которые трансформируют различные сферы человеческой деятельности. В национальной стратегии развития ИИ в России до 2030 г. представлено следующее определение: искусственный интеллект – комплекс технологических и программных решений, приводящих к результату, сопоставимому с результатом интеллектуальной деятельности человека или превосходящему его, и используемых для решения прикладных задач на основе больших данных, в том числе с помощью систем компьютерного зрения, обработки естественного языка, распознавания и синтеза речи, рекомендательных систем и интеллектуальных систем поддержки принятия решений, а также систем, основанных на перспективных методах и технологиях [1]. В настоящее время ИИ применяется

почти в каждой отрасли: от систем рекомендаций в онлайн-торговле до сложных алгоритмов прогнозирования в финансовой сфере.

В статье [2] приведены следующие примеры успешного применения ИИ в Российской Федерации. Федеральная налоговая служба России на протяжении семи лет использует искусственный интеллект для автоматической сортировки чеков по названиям товаров в контрольно-кассовых терминалах, что позволяет отслеживать динамику потребления и принимать обоснованные решения на основе данных. В МЧС внедрена система ИИ, которая оценивает риски возникновения пожаров и позволяет быстрее реагировать на потенциальные угрозы. Во всех поликлиниках Москвы работает сервис, предоставляющий предварительные диагнозы на основе искусственного интеллекта. Магнитогорский металлургический комбинат применяет ИИ-систему

для выявления дефектов на различных этапах производственного цикла. Таким образом, ИИ широко применяется в различных отраслях и помогает повышать производительность, улучшать качество услуг и обеспечивать конкурентные преимущества.

Одним из перспективных направлений внедрения ИИ являются системы планирования задач. В условиях роста сложности проектов, увеличения количества участников и необходимости быстрого принятия решений актуальной становится автоматизация планирования задач [3]. В традиционных системах управления задачами пользователи сталкиваются с проблемами перегруженности информацией, избыточной рутинной работой и недостаточной адаптивностью системы к изменяющимся условиям. Внедрение искусственного интеллекта предоставляет возможность улучшения качества рабочих процессов, повышения продуктивности пользователей и оптимизации управления проектами.

Преимущества использования ИИ в системах планирования задач

1. Повышение точности планирования задач.

Одно из ключевых преимуществ использования ИИ в системах управления задачами – это способность алгоритмов машинного обучения анализировать большие объемы данных. ИИ учитывает множество факторов, таких как история выполнения проектов, производительность команды, текущие ресурсы и внешние условия, чтобы создавать более реалистичные и точные планы. Можно выделить два основных направления использования ИИ при планировании задач:

- анализ данных. ИИ обрабатывает данные из прошлых проектов и помогает предсказать возможные задержки, недостатки в ресурсах и другие риски, что позволяет более эффективно планировать время и усилия команды;

- динамическое обновление планов. Система ИИ способна автоматически обновлять планы по мере изменений в проекте, адаптируя временные рамки и распределение задач в реальном времени.

Применение ИИ повышает точность планирования, минимизирует риски сбоев в проекте, позволяет лучше распределять ресурсы и своевременно реагировать на изменения.

2. Автоматизация рутинных процессов.

Рутинные и повторяющиеся задачи могут требовать от исполнителей значительных вре-

менных затрат и снижать их продуктивность. ИИ помогает автоматизировать такие процессы, как распределение задач, контроль за дедлайнами, создание отчетов и обновление статуса проекта.

- Автоматизация назначения задач: ИИ может автоматически назначать задачи соответствующим пользователям на основе их компетенций, текущей загрузки и приоритетов проекта.

- Уведомления и напоминания: ИИ-системы автоматически отправляют пользователям уведомления о предстоящих дедлайнах, напоминая о задачах и изменениях в проекте.

- Отчеты и аналитика: встроенные алгоритмы ИИ генерируют детализированные отчеты о ходе выполнения задач и производительности команды, что упрощает анализ проекта и принятие решений.

Автоматизация рутинных задач снижает вероятность человеческих ошибок и освобождает время для выполнения более креативных и стратегически важных задач.

Примеры применения ИИ в системах планирования задач

Рассмотрим конкретные кейсы использования ИИ в распространенных за рубежом платформах Asana и Trello, а также в отечественной системе Yonote с целью оценки влияния ИИ на эффективность планирования и управления проектами.

1. Asana [4].

Популярная платформа для управления проектами, которая использует ИИ с целью повышения продуктивности команд. С помощью ИИ Asana автоматизирует распределение задач, анализирует прогресс проекта и предлагает оптимальные решения по срокам выполнения.

Пример применения ИИ:

- прогнозирование сроков выполнения задач. Asana использует алгоритмы машинного обучения для анализа данных о предыдущих проектах, что помогает предсказать возможные задержки в выполнении задач. Например, если система обнаруживает, что аналогичные задачи в прошлом выполнялись с задержкой, она может предложить пересмотреть дедлайны или распределить ресурсы иначе;

- автоматизация повторяющихся задач. ИИ в Asana позволяет выявлять рутинные задачи, которые повторяются на регулярной основе, и автоматически назначать их нужным пользователям или группам.

ИИ помогает командам в Asana более точно планировать сроки выполнения, минимизируя риски просрочек. Благодаря автоматизации рутинных процессов сотрудники могут сосредоточиться на более важных задачах, что повышает общую продуктивность.

2. Trello [5].

Trello, известный своим простым и интуитивно понятным интерфейсом на основе карточек, также использует ИИ для улучшения управления задачами. Основное внимание здесь уделяется автоматизации и улучшению командной работы.

Пример применения ИИ:

- Butler [6] – встроенный ИИ-инструмент для автоматизации, который позволяет пользователям создавать «правила», триггеры и действия, автоматизирующие рабочие процессы. Butler может автоматически перемещать карточки, назначать участников и задавать дедлайны, основываясь на действиях пользователей;

- анализ данных по прогрессу. Trello использует ИИ для анализа данных о ходе выполнения задач и предоставления аналитических отчетов, которые помогают выявлять узкие места в процессах и предлагают возможные улучшения.

С помощью Butler и анализа данных Trello помогает пользователям автоматизировать значительную часть рабочих процессов, что снижает риск человеческих ошибок и ускоряет выполнение задач. Команды получают возможность более оперативно реагировать на изменения и перераспределять ресурсы, что повышает качество управления проектами.

3. Yonote [7].

По данным Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ, российские организации тратят на внедрение и использование технологий ИИ порядка 15% общего объема затрат на цифровые технологии [8]. В связи с санкциями российский рынок столкнулся с необходимостью создания отечественных аналогов зарубежных приложений по управлению задачами. Одним из примеров успешного импортозамещения выступает сервис Yonote, который позиционирует себя как надежную российскую альтернативу Notion/Trello/Asana/Confluence и входит в реестр отечественного ПО. Yonote предлагает удобные инструменты для управления проектами, документами и командными задачами с помощью ИИ, делая акцент на автоматизации рутинных операций и улучшении продуктивности команд. Yonote поддерживает функции канбан-доски, календаря, совместного редактирования в реальном времени, обеспечивает до-

ступ к проектам через гостевые аккаунты и интеграцию с другими сервисами, что облегчает совместную работу распределенных команд.

Пример применения ИИ:

- автоматическое назначение тегов и категорий. ИИ в Yonote помогает пользователям структурировать данные, автоматически назначая теги на основе содержания заметок и документов. Это упрощает организацию данных и ускоряет поиск нужной информации;

- умное планирование задач и напоминания. Yonote использует ИИ для планирования задач, предлагая оптимальные сроки и напоминания на основе предыдущей активности пользователя. Например, если заметка связана с дедлайном, система может автоматически добавить напоминание, помогая пользователю следовать графику;

- резюме и сводки из длинных документов. Yonote может анализировать большие текстовые документы и создавать краткие резюме ключевых пунктов, что облегчает ознакомление с содержанием и экономит время.

Yonote помогает структурировать задачи, выделять приоритеты и контролировать дедлайны, что повышает эффективность управления временем и ресурсами. Универсальность платформы позволяет адаптировать ее как для крупных, так и для малых компаний.

Ограничения и вызовы

Несмотря на активное использование ИИ в системах планирования задач, имеются существенные ограничения. Одно из ключевых – зависимость алгоритмов от качества данных. Если данные неполные, имеют ошибки или субъективны, это может привести к неточным прогнозам и снижению эффективности работы ИИ. Также модели ИИ могут не всегда правильно интерпретировать динамично изменяющиеся задачи или ситуации, что снижает их адаптивность.

Важным вызовом является сложность разработки и внедрения ИИ-систем. Процесс создания таких систем требует значительных ресурсов, как финансовых, так и интеллектуальных [9]. Не каждая компания может позволить себе внедрение сложных алгоритмов ИИ, что ограничивает его доступность для малого и среднего бизнеса.

Конфиденциальность данных также оказывается серьезной проблемой. ИИ анализирует большие объемы данных, включая конфиденциальную информацию о проектах и пользователях. Это требует строгих мер безопасности

и соблюдения нормативных актов, таких как GDPR, для защиты персональных данных.

Перспективы развития

ИИ имеет огромный потенциал для дальнейшего развития в сфере управления задачами. Ожидается, что будущие системы станут более адаптивными и смогут обучаться в реальном времени, реагируя на изменяющиеся условия проекта без необходимости вмешательства человека [10]. Это позволит ИИ не просто выполнять рутинные задачи, но и принимать решения на основе анализа текущей ситуации.

Технологические инновации, такие как использование более сложных нейронных сетей и искусственных агентов, могут привести к созданию ИИ-ассистентов, которые будут самостоятельно управлять проектами, распределять ресурсы и предлагать стратегии для достижения целей. Также возможно более глубокое интегрирование ИИ с другими системами, такими как CRM, ERP и облачные платформы, что создаст комплексные и универсальные инструменты для управления проектами [11].

Будущие разработки должны будут обладать повышенной безопасностью и защитой данных, чтобы обеспечить надежное использование ИИ в бизнесе. Это откроет новые возможности для компаний всех размеров, предоставив доступ к эффективным решениям управления задачами.

Библиографический список

1. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на пе-

риод до 2030 года»): Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 (ред. от 15 февраля 2024 г.) // Собр. законодательства РФ. 2019. № 41. С. 570

2. Искусственный интеллект (рынок России). URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_\(рынок_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_(рынок_России)) (дата обращения: 12.10.2024).

3. Калашникова И. В., Несмеянов Д. В. Использование искусственного интеллекта при принятии управленческих решений в проектном менеджменте // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 12-2(87). С. 205–210.

4. Asana: офиц. сайт. URL: <https://asana.com/ru> (дата обращения: 12.10.2024).

5. Trello: офиц. сайт. URL: <https://trello.com/ru> (дата обращения: 12.10.2024).

6. Trello Butler Automation. URL: <https://trello.com/butler-automation> (дата обращения: 12.10.2024).

7. Yonote: документы и заметки. URL: <https://yonote.ru/docs> (дата обращения: 12.10.2024).

8. Абашкин В. Л., Богданов Т. В. Искусственный интеллект // Серия информационно-аналитических материалов ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. № 10. 2024. URL: <https://issek.hse.ru/news/981416418.html> (дата обращения: 12.10.2024).

9. Колесникова Г. И. Искусственный интеллект: проблемы и перспективы // Видеонаука. 2018. № 2(10). С. 34–39.

10. Artificial intelligence applications in project scheduling: a systematic review, bibliometric analysis, and prospects for future research / Z. Bahroun, M. Tanash, R. As'ad, M. Alnajar // Management Systems in Production Engineering. 2023. Vol. 31, № 2. P. 144–161.

11. Антонова И. И., Смирнов В. А., Ефимов М. Г. Интеграция искусственного интеллекта в ERP-системы: достоинства, недостатки и перспективы // Russian Journal of Economics and Law. 2024. № 3. С. 619–640.

УДК 658.7, 656

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-112-114

Е. Д. Григорьева*

магистрант

В. А. Ушаков*

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ И ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОТИПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Выполняется содержательная и формальная постановка задачи разработки модели для решения транспортно-логистической задачи своевременной доставки грузов с использованием разнотипных транспортных средств.

Ключевые слова: содержательная постановка задачи, формальная постановка задачи, транспортная логистика, оптимизация, повышение эффективности.

E. D. Grigoreva*

Postgraduate Student

V. A. Ushakov*

PhD, Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUBSTANTIVE AND FORMAL FORMULATION THE TRANSPORTS AND LOGISTICS TASK OF TIMELY DELIVERY OF GOODS USING DIFFERENT TYPES OF VEHICLES

Preparations are underway to develop a model for solving the transport and logistics problem of timely delivery of goods using different types of vehicles.

Keywords: contentful statement of the task, formal statement of the task, transport logistics, optimization, efficiency improvement.

Введение

Логистические процессы играют важную роль в оптимизации затрат и повышении производительности компаний. Термины «транспортный» и «логистический» становятся все более значимыми в бизнесе. Развитие инфраструктуры и технологий в сфере транспортной логистики позволяет компаниям обеспечить непрерывность, надежность и своевременность условия доставки товаров. Внедрение принципов и методов логистики помогает достичь конкурентного преимущества и повысить эффективность своей деятельности [1–3].

Необходимо решить транспортно-логистическую задачу своевременной доставки грузов с использованием разнотипных транспортных средств (ТС) для компании, занимающейся про-

дажей товаров через интернет-ресурс. Компания имеет свои склады для хранения товаров и производит их транспортировку до пунктов выдачи, а также доставляет товары «на дом», используя различные ТС: пеших курьеров, легковые и грузовые автомобили. Целью исследования является повышение эффективности транспортных процессов имеющейся компании в условиях современных городских логистических систем [4–7].

Содержательная постановка задачи

Для решения транспортно-логистической задачи своевременной доставки грузов с использованием разнотипных ТС необходимо разработать ее математическую модель. Модель будет описывать оптимальный план доставки грузов, распределение грузов по ТС и опреде-

лять время, необходимое на доставку каждого груза. Критериями оценки транспортно-логистических процессов будут являться максимизация прибыли от доставки грузов, соблюдение временных интервалов доставки и оптимальное использование ТС [8–10].

Перед разработкой модели необходимо определить исходные данные. В решаемой задаче ими будут:

- пункты отправки грузов;
- пункты доставки грузов;
- информация о грузах, которые необходимо доставить или вернуть на склад;
- информация о ТС.

Пункты доставки грузов в решаемой задаче делятся на три вида: пункты доставки «на дом», расположенные рядом со складом; пункты доставки «на дом», расположенные далеко от склада; пункты выдачи товаров. Возврат возможен только на пунктах выдачи. Информация о грузах содержит их стоимость, количество единиц товара, массу груза, объем груза, а также временные ограничения на доставку каждого груза. В информации о ТС хранятся значения максимальной возможной суммарной массы грузов, доступной к перевозке в каждом ТС, объем грузового отсека, а также тип средства и информация о максимально возможной дальности доставки на данном ТС.

На систему наложен ряд ограничений. Во-первых, ограничение на вместимость ТС: объем его багажного отсека и грузоподъемность. Во-вторых, ограничение на дальность доставки – расстояние от пункта отправки груза до пункта доставки влияет на выбор ТС, которое будет осуществлять доставку груза. В-третьих, при решении задачи необходимо учитывать время доставки груза и не выходить за поставленные сроки. В-четвертых, в случае с доставкой товаров в пункт выдачи необходимо предусмотреть возможность возврата товаров, на которые необходимо оставить место в багажном отсеке.

Формальная постановка задачи

Приведем формальную постановку транспортно-логистической задачи своевременной доставки грузов с использованием разнотипных ТС.

Все пункты отправки грузов можно обозначить

$$O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}, \quad (1)$$

где n – количество пунктов отправки грузов.

Пункты доставки грузов опишем с помощью

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}, \quad (2)$$

где m – количество пунктов доставки грузов.

Грузы выразим через

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_g\}, \quad (3)$$

где g – количество грузов, которые необходимо доставить, при этом каждый груз имеет:

- стоимость;
- массу;
- объем;
- время доставки;
- точку отправки груза;
- точку выдачи груза.

ТС обозначим

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_s\}, \quad (4)$$

где s – количество имеющихся ТС, каждое из которых обладает:

- грузоподъемностью;
- объемом грузового отсека;
- типом (максимально возможная дальность доставки);
- стоимостью оплаты труда водителю (за каждый час работы);
- средней стоимостью расхода бензина на 1 км.

Все имеющиеся маршруты для доставки грузов опишем с помощью

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_r\}, \quad (5)$$

где r – количество маршрутов, каждый из которых имеет:

- точку начала (пункт отправки груза);
- точку конца (пункт доставки груза);
- стоимость проезда по маршруту.

Дистанции между пунктами отправки и доставки можно описать с помощью таблицы, где k – дистанция между пунктом отправки и пунктом выдачи.

Дистанции между пунктами отправки и доставки грузов

Пункт	O_1	O_2	...	O_m
P_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1m}
P_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2m}
...	...	...	...	...
P_n	k_{n1}	k_{n2}	...	k_{nm}

В дальнейшем необходимо выполнить разработку модели и алгоритма решения транспортно-логистической задачи своевременной доставки грузов с использованием разнотипных ТС. При создании модели и решении задач теории расписаний будут использоваться теория оптимального управления и теория иссле-

дования операций [11–14]. Модель предполагается реализовать в программе Engage – российской платформе математических вычислений и модельно-ориентированного проектирования [15].

Заключение

Была выполнена содержательная и формальная постановка транспортно-логистической задачи своевременной доставки грузов с использованием разнотипных ТС. Были определены исходные данные, а также ограничения, накладываемые на систему, и предложен план дальнейшего исследования.

Библиографический список

1. Академия ДПО. Значимость транспортной логистики. URL: <https://academdpd.ru/znachimost-transportnoj-logistiki/> (дата обращения: 30.11.2024).
2. Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Перспективы использования современных информационных технологий в системах управления транспортно-логистическими сетями // Транспорт России: Проблемы и перспективы – 2016: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (СПб., 29–30 нояб. 2016 г.). Т. 1. СПб.: Ин-т проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2016. С. 53–57.
3. Соколов Б. В., Охтилев М. Ю. Методологические и методические основы создания и применения интеллектуальных систем проактивного управления транспортно-логистическими комплексами // Логистика: современные тенденции развития: матер. XV Междунар. науч.-практ. конф. (СПб., 07–08 апр. 2016 г.). Ч. 2. СПб.: ГУМРФ, 2016. С. 104–107.
4. Повышение эффективности грузовых перевозок на основе создания устойчивой транспортно-логистической системы модульного типа для высокоскоростной обработки и доставки грузов / Л. Б. Миротин, А. Г. Некрасов, П. В. Степанов, П. Г. Трегубов // Вестник МАДИ. 2013. № 3. С. 34–36.
5. Трегубов П. Г. О концепции создания транспортной системы высокоскоростной доставки грузов пассажирскими авиарейсами на базе московского авиаузла // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. № 2. С. 17–20.
6. Степанов П. В. Интеллектуальное транспортно-технологическое средство нового поколения и лежащая в ее основе концепция цифрового автолифта // Информатизация и связь. 2022. № 1. С. 22–29.
7. Некрасов А., Сеницына А. Трансформация интегрированных транспортно-логистических систем в цифровую индустрию // Логистика. 2017. № 8(129). С. 36–41.
8. Инновационные методы управления жизненным циклом процессов в транспортно-логистических системах / А. Г. Некрасов, Е. Ю. Фаддеева, М. М. Стыскин, А. С. Сеницына // Транспорт: наука, техника, управление. 2018. № 10. С. 3–7.
9. Соколов Б. В., Потрясаев С. А., Гниденко А. С. Комплексное моделирование и комбинированные методы планирования функционирования железнодорожных составов, входящих в транспортно-логистическую сеть // Завалишинские чтения' 18: сб. докл. (СПб., 16–20 апр. 2018 г.). СПб.: ГУАП, 2018. С. 99–107.
10. Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г. Логистика и управление цепями поставок: учеб. и практ. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2024. 359 с.
11. Танаев В. С., Шкурба В. В. Введение в теорию расписаний. М.: Наука, 1975.
12. Таха Х. А. Введение в исследование операций / пер. с англ. и ред. А. А. Минько. 7-е изд. М.: Вильямс, 2005. 901 с.
13. Зимин И. Н., Иванюков Ю. П. Решение задач сетевого планирования сведением их к задачам оптимального управления // Вычислительная математика и математическая физика. 1971. Т. 11, № 3. С. 632–641.
14. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. 408 с.
15. Engage: офиц. сайт. URL: <https://start.engee.com/> (дата обращения: 30.11.2024).

УДК 004.738.5

К. А. Лебедев*

студент

В. А. Ушаков*

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВЕБ-РЕШЕНИЯ: АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЦИАЛЬНОЙ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ

Рассмотрен современный подход к социальной и работе со школьниками и представлен пример его реализации. Проанализированы технологии для быстрой реализации WebView-приложений. Цель работы: улучшить доступность информации для молодежи, особенно в удаленных регионах.

Ключевые слова: автоматизация, веб-приложение, социальная деятельность.

K. A. Lebedev*

Student

V. A. Ushakov*

PhD, Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

WEB SOLUTIONS: AUTOMATION OF SOCIAL WORK WITH SCHOOL STUDENTS

The article considers a modern approach to social and work with schoolchildren and presents an example of its implementation. Technologies for the rapid implementation of WebView applications are considered. The purpose of the work is to improve the availability of information for young people, especially in remote regions.

Keywords: automation, web application, social activities

Введение

Индивидуальная социальная работа с современными школьниками является трудоемким процессом в связи с массовостью отрицания и игнорирования действительно важных аспектов развития и осведомленности в процессе обучения. В условиях стремительных изменений на рынке труда и постоянного развития технологий профессиональная ориентация школьников становится одной из ключевых задач образовательной системы. Молодежь сталкивается со множеством выборов, и правильное направление в выборе профессии может существенно повлиять на их будущее. В этом контексте автоматизация социальной работы со школьниками представляет собой важный шаг к созданию более эффективной и доступной системы поддержки учащихся в их профессиональном становлении. Автоматизировать жизненные процессы [1] в нашей жизни можно по-разному, но для того, чтобы реализовать систему быстрого и удобного получения

результата, а также эффективно обрабатывать собранные данные, предлагается использовать платформы, на базе которых можно создать кросс-платформенное решение, используя технологии транслирования веб-приложения внутри себя. Профессиональная ориентация – это система сопровождающих процессов для ориентирования на свободный и личный выбор профессии молодежи. В современных условиях динамично развивающегося рынка труда и стремительного роста новых профессий профессиональная ориентация школьников становится одним из ключевых факторов успешного карьерного и личностного развития. Традиционные подходы к профориентации, такие как личные консультации и специализированные программы, часто недоступны большинству школьников, особенно в удаленных регионах, или не учитывают их индивидуальные особенности. Автоматизировав данную систему, можно добиться результата достаточной осведомленности как школьников, так и молодежи в целом.

Трансляция

При разработке кросс-платформенного решения будем использовать технологию трансляции WebView. Это компонент, который позволяет отображать веб-страницы внутри мобильного приложения или десктопной программы. По сути, это встроенный браузер, работающий в контексте приложения. Он предоставляет возможность отображать HTML-контент, запускать JavaScript и взаимодействовать с различными веб-технологиями без необходимости покидать приложение. Web View можно рассматривать как мост между нативным кодом приложения и веб-технологиями. Это позволяет разработчикам создавать гибридные приложения, сочетающие лучшее из обоих миров: производительность и доступ к API устройства от нативного кода и гибкость и быстроту разработки от веб-технологий [2].

Выбрав данную технологию, можно как реализовать предварительный вариант приложения под любую платформу или под все платформы сразу в короткие сроки, так и использовать данный подход на постоянной основе. Web View не идеален и имеет ряд ограничений с которыми можно ознакомиться в документации платформы, поддерживающей ее. Например, производительность Web View может быть ниже по сравнению с нативными компонентами, а также могут возникать проблемы с безопасностью и доступом к некоторым функциям устройства.

Существует множество API, которые реализуют решения внутри своей экосистемы, например: VK Mini Apps, Telegram Mini Apps, React Native. Эти платформы предоставляют разработчикам инструменты для создания приложений с использованием Web View, что позволяет интегрировать веб-контент [3] в нативные приложения. В рамках данной работы был сделан выбор в сторону VK Mini Apps как достаточной платформы для тестирования школьников. VK Mini Apps предлагает удобные инструменты для разработки, а также доступ к широкой аудитории пользователей сети «ВКонтакте», что делает ее привлекательной для образовательных проектов. Кроме того, использование VK Mini Apps позволяет легко интегрировать социальные функции, такие как авторизация через аккаунт сети «ВКонтакте», что упрощает процесс входа для пользователей и повышает вовлеченность.

Реализация веб-приложения

Фронтенд – направление в разработке современных приложений, которое берет на себя

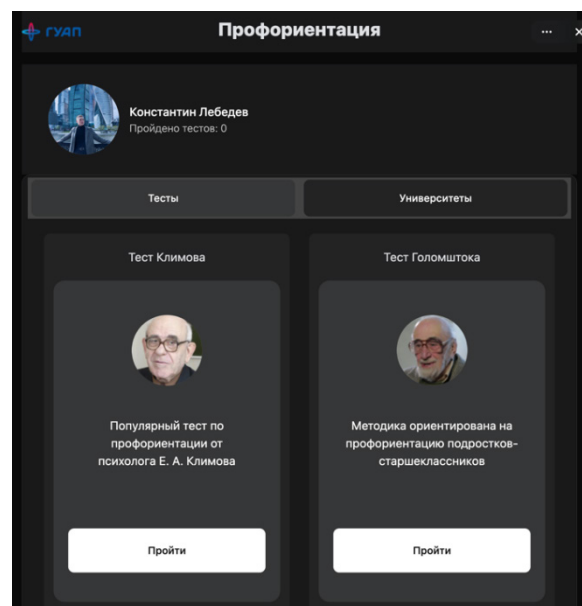


Рис. 1. Главная страница веб-приложения

функцию отображения как статического, так и динамического контента для пользователя. Оно включает множественную выборку технологий, но главной является мультипарадигменный язык программирования Javascript. На базе него и создается большинство современных фронтенд-решений [4]. Одним из таких решений является React – JavaScript-библиотека для создания пользовательских интерфейсов [5]. Также для реализации использовались такие технологии, как: Typescript, Vite, Axios, Chart.js, Zustand, Tailwind CSS, экосистема VK Mini Apps и любое из доступных API для работы с онлайн-таблицами. Данный стек технологий позволит разработать приложение, реализовав только фронтенд-часть, в виде серверных технологий выступают таблицы, в которых можно анализировать полученные результаты. Это позволяет организовать эффективную работу со школьниками в кратчайшие сроки.

На главной странице (рис. 1) представлен список тестов на профориентацию, которые можно пройти. Его можно обновлять, добавляя новые тесты, что улучшит пользовательский опыт и результат социальной работы со школьниками. Ознакомиться с приложением можно по ссылке [6].

Если нажать кнопку «Пройти» (рис. 1) будет открыт интерфейс теста (рис. 2), он реализован достаточно просто. Это также способно улучшить пользовательский опыт при социальной работе со школьниками. Целевая аудитория данных решений – лица 14–18 лет, именно по-

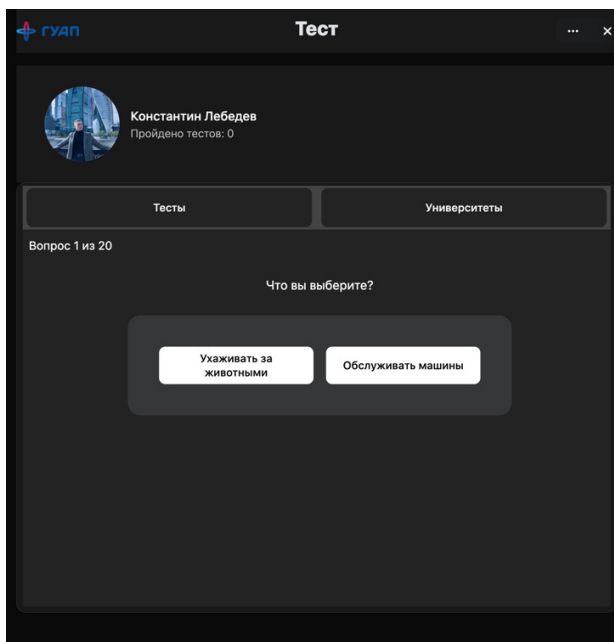


Рис. 2. Интерфейс тестирования на профессиональную ориентацию

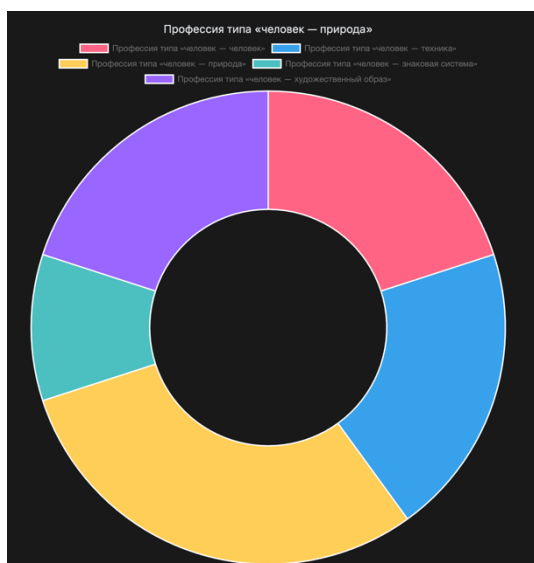


Рис. 3. Диаграмма результатов тестирования

этому при разработке стоит обратить внимание на простой, удобный интерфейс и достаточную функциональность [7]. В результате прохождения теста будет представлена диаграмма (рис. 3), которая наглядно показывает результаты по всему тесту, что позволяет отследить промежуточные результаты и ознакомиться с направлениями, в которых можно развиваться, а с расшифровками (рис. 4) можно познакомиться, прокрутив страницу.

Профессия типа «человек — человек» Труд людей этой группы профессий связан с: Воспитанием, обучением, тренировкой других людей (воспитатель дошкольных учреждений, детский доктор, преподаватель в школах и других учебных заведениях, мастер производственного обучения, тренер по спорту и др.). Медицинским обслуживанием людей и уходом за ними (врач, зубной техник, медицинская сестра). Правовой помощью (судья, адвокат, юристконсульт, работник милиции и т.д.). Организацией людей, руководством и управлением ими (администратор, менеджер и пр.). Изучением, описанием, исследованием других людей (социолог, психолог, журналист, следователь и пр.). Профессия типа «человек — техника» Труд людей этой группы профессий связан с: Преобразованием деталей, изделий, механизмов (изготовление деталей, машин, механизмов вручную, на станках и автоматических линиях, сборочно-сборочные работы, монтаж и электромонтажные, строительные-отделочные, работы по добыче и переработке промышленного сырья, изготовление пищевых продуктов). Обслуживанием технических объектов (наладка и обслуживание оборудования, управление станками, машинами, механизмами, транспортными средствами и строительными машинами). Восстановлением (восстановление и ремонт технического оборудования, изделий). Изучением (контроль и анализ качества изделий и механизмов, испытание качества изделий). Профессия типа «человек — природа» Труд людей этой группы профессий связан с: Преобразованием, переработкой (содовник, технолог пищевой промышленности, рыбообработчик и пр.). Обслуживанием, охраной флоры и фауны (работник лесного хозяйства, цветовод, птицевод, животновод и пр.). Заготовкой продуктов, эксплуатацией природных ресурсов (охотник, рыбак, лесоруб, агроном, зоотехник и пр.). Восстановлением, лечением (ветеринар, эколог, лесовод и пр.). Изучением, описанием, изысканием (генетик, геолог, ботаник, зоолог, метролог и пр.). Профессия типа «человек — знаковая система» Труд людей этой группы профессий связан с: Преобразованием, созданием (архитектор, дизайнер, скульптор, модельер, художник, режиссер, композитор и пр.). Исполнением, изготовлением изделий по образцу в единичном экземпляре (директор, издатель, журналист, актер, клавир, реставратор, оформитель и пр.). С воспроизведением, копированием, размножением художественных произведений (мастер по росписи, шрифтощик по камню, маляр и пр.). Профессия типа «человек — художественный образ» Труд людей этой группы профессий связан с: Преобразованием, созданием (архитектор, дизайнер, скульптор, модельер, художник, режиссер, композитор и пр.). Исполнением, изготовлением изделий по образцу в единичном экземпляре (директор, издатель, журналист, актер, клавир, реставратор, оформитель и пр.). С воспроизведением, копированием, размножением художественных произведений (мастер по росписи, шрифтощик по камню, маляр и пр.).
--

Рис. 4. Расшифровка результатов, представленных на диаграмме

№	Название университета	Средний балл 2023
1	Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова	258
2	Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ)	288
3	Московский физико-технический институт (МФТИ)	297
4	Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)	264
5	Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (МГТУ им. Баумана)	249
6	Московский государственный институт международных отношений (МГИМО)	285
7	Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова (РЭУ)	273
8	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	243
9	Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ	282
10	Финансовый университет при Правительстве РФ	276

Рис. 5. Рейтинг университетов для поступления на основе результатов тестирования

Для большего разнообразия после прохождения тестирования можно ознакомиться с субъективным рейтингом университетов со средними баллами за 2023 г. (рис. 5).

Заключение

Индивидуальная социальная работа с современными школьниками требует комплексного подхода, учитывающего динамику изменений на рынке труда и потребности молодежи в профессиональной ориентации. Автоматизация процессов профориентации, основанная на современных технологиях, таких как Web View, открывает новые горизонты для создания доступных и эффективных инструментов поддержки учащихся. Использование платформ, таких как VK Mini Apps, Telegram Mini

Apps, React Native, позволяет не только оптимизировать процесс получения информации о профессиях, но и интегрировать социальные функции, что способствует повышению вовлеченности и интереса школьников к своему будущему.

Таким образом, внедрение автоматизированных систем в сферу социальной работы со школьниками может значительно улучшить качество и доступность информации для мо-

лодежи, особенно в удаленных и недостаточно обеспеченных регионах. Это, в свою очередь, создаст условия для более осознанного выбора профессии, что является важным шагом к успешному карьерному и личностному развитию. Важно продолжать исследовать и развивать такие технологии, чтобы обеспечить каждому школьнику возможность получить необходимую поддержку и информацию для построения своего будущего.

Библиографический список

1. *Липидус Л. В., Гостилович А. О., Омарова Ш. А.* Особенности проникновения цифровых технологий в жизнь поколения Z: ценности, поведенческие паттерны и потребительские привычки интернет-поколения // Государственное управление. 2020. № 83. С. 271–293.
2. Что такое WebView: погружение в мир встраиваемых браузеров // SecurityLab. URL: <https://www.securitylab.ru/analytics/551367.php> (дата обращения: 30.11.2024).
3. *Аграновский А. В., Павлов В. С., Турнецкая Е. Л.* Основы интернет-программирования: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2018. 135 с.
4. Программирование интерактивных веб-приложений: учеб. пособие / А. В. Аграновский, В. С. Павлов, А. А. Сенцов, Е. Л. Турнецкая. СПб.: ГУАП, 2019. 92 с.
6. Продукт деятельности. URL: <https://vk.com/app52704965> (дата обращения: 30.11.2024).
5. React.dev. URL: <https://react.dev> (дата обращения: 30.11.2024).
7. *Липидус Л. В.* Эволюция цифровой экономики // Ломоносовские чтения – 2018. Секция экономических наук. Цифровая экономика: человек, технологии, институты: сб. тез. выступлений. М.: Экон. фак-т МГУ им. М. В. Ломоносова, 2018. С. 153–158.

УДК 378

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-119-123

В. А. Ушаков

кандидат технических наук

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗВИТИЕ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Рассматриваются сложности, вызванные отсутствием надпрофессиональных компетенций у молодежи, и пути их решения. Для решения указанной задачи выбрана интеграция развития надпрофессиональных компетенций в образовательные программы высших учебных заведений. В качестве примера приведена программа по направлению 09.04.02 «Информационные системы и технологии», а также план ее внедрения в учебный процесс.

Ключевые слова: надпрофессиональные компетенции, универсальные компетенции, мягкие навыки, способности, студенты, комплексный подход, магистратура, информационные системы и технологии.

V. A. Ushakov

PhD, Tech.

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF STUDENTS' CROSS-PROFESSIONAL COMPETENCIES THROUGH EDUCATIONAL ACTIVITIES

The proposed article examines the difficulties caused by the lack of supra-professional competencies in young people and ways to solve them. To solve this task, the integration of supra-professional competencies development into educational programs of higher education institutions was chosen. As an example, the program for the direction 09.04.02 «Information systems and technologies» is given, as well as a plan for its implementation in the educational process.

Keywords: cross-professional competencies, universal competencies, soft skills, assessment, university students, integrated approach, master's degree, information systems and technologies.

Введение

После завершения пандемии COVID-19 и отмены удаленной формы работы компании были вынуждены заново учить сотрудников тому, как вести себя в офисе [1]. Согласно опросу Resume Builder, почти половина руководителей сообщила, что проводили занятия по офисному этикету в 2022 г., а еще 18% внедрили их в 2023 г. Некоторые респонденты отметили, что обучение было обязательным только для выпускников колледжей и специалистов моложе 25 лет. По мнению работодателей, у поколения Z мягкие навыки (soft skills) развиты хуже, чем технические. Молодые работники умеют обращаться с офисным оборудованием, но им сложнее воспринимать конструктивную критику и избегать спорных тем в рабочих дискуссиях. Некоторые и вовсе начинали свою карьеру в таком формате.

Сотрудникам нужно заново учиться, например, вести беседы на рабочем месте, соблюдать

дресс-код, делать перерывы на обед и даже поддерживать зрительный контакт. Согласно опросу, умение вести беседы – главный навык, над которым нужно работать представителям всех возрастных групп. На занятиях по этикету сотрудникам также часто объясняют, как одеваться должным образом. Тем не менее в период пандемии рабочий дресс-код изменился, и большое количество работодателей ослабили требования к внешнему виду.

Развитие надпрофессиональных компетенций в образовательных организациях

Для решения описанной задачи необходимо развитие надпрофессиональных компетенций [2]. Это можно сделать двумя способами. Во-первых, можно пройти курсы или тестирование в центрах компетенций. Центры компетенций – это площадки, где студенты сначала проходят диагностику своих универсальных ком-

петений (soft skills, УК), а затем работают над ними в рамках индивидуальной траектории развития. На выходе студенты получают «паспорт компетенций», а работодатель – специалистов с развитыми не только профессиональными, но и надпрофессиональными компетенциями. Во-вторых, студенты могут развивать надпрофессиональные компетенции [3] в образовательных организациях высшего образования в рамках учебных дисциплин. Последний подход является комплексным решением задачи развития надпрофессиональных компетенций [4], поэтому рассмотрим его в статье подробнее.

Для преодоления сложностей, описанных во введении, необходимо разработать образовательные программы, сформировать системы развития надпрофессиональных компетенций [5] студентов в образовательных организациях высшего образования и органично внедрить практики развития универсальных компетенций в учебный процесс.

Кроме того, будет целесообразно развивать у профессорско-преподавательского состава навыки проектирования образовательных программ и внеучебных мероприятий, включающих развитие надпрофессиональных компетенций [2]; сформировать систему обмена лучшими практиками по использованию новых ме-

тодик, техник, форм обучения [6; 7], а также по включению блоков развития универсальных компетенций в образовательные программы и внеучебные мероприятия.

Трансформация образовательной программы 09.04.02 «Информационные системы и технологии»

Актуальность трансформации образовательной программы (ОП) заключается:

1) в соответствии требованиям рынка труда и экономики (трансформация и модернизация ОП позволяют сделать навыки более гибкими, приспособленными к изменяющимся требованиям и ситуациям на рынке);

2) повышении конкурентоспособности (модернизация ОП может помочь университетам стать более конкурентоспособными на международном уровне – это возможно благодаря обновлению учебных планов и методик, а также интеграции современных технологий в образовательный процесс [8]);

3) удовлетворении потребностей студентов (получение востребованной профессии, соответствующей их интересам и способностям, что позволит им стать успешными специалистами и обеспечить свое будущее).

Цель трансформации ОП заключается в повышении конкурентоспособности вуза и реали-

Таблица 1

Соответствие универсальных компетенций компетенция «Россия – страна возможностей»

Код и наименование УК	Модули и дисциплины	Компетенции РСВ	Комментарий
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Основы системных исследований	РСВ ЦК – 1. Анализ информации и выработка решений	Быстро анализирует и корректно работает с различного рода информацией, устанавливает взаимосвязи между разрозненными данными. Принимает взвешенные решения на основе собранных данных, анализирует риски и потенциальные ограничения, рассматривает возможные альтернативные варианты действий. При необходимости предлагает непопулярные решения
		РСВ ЦК – 3. Стратегическое мышление	Мыслит масштабно, определяет перспективные направления, учитывает широкий круг факторов (экономических, политических, социальных и др.), рассматривает ситуацию в долгосрочной перспективе, производит оценку тенденций, предвидит возможные сценарии развития событий и действует исходя из них
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	Технологии разработки сложного программного обеспечения; программная инженерия	РСВ ЦК – 2. Планирование и организация	Составляет комплексный план действий для реализации задач. Организует деятельность компании, прогнозирует возможные варианты развития, расставляет приоритеты, оценивает ресурсы (человеческие, временные, финансовые и т. п.) определяет сроки выполнения работы и меры контроля
		РСВ ЦК – 5. Цифровая грамотность	Понимает цифровые тренды, пользуется трекерами задач, владеет инструментами бизнес-аналитики

Окончание табл. 1

Код и наименова- ние УК	Модули и дисци- плины	Компетенции РСВ	Комментарий
		РСВ ЦК – 7. Правовая грамот- ность	Действует с учетом существующих требований законо- дательства
		РСВ ЦК – 17. Ориентация на результат	Ясно представляет необходимый результат, берет на себя ответственность за достижение поставленной цели, инициирует необходимые действия. Ставит перед собой сложные/амбициозные задачи, дает соб- ственную оценку выполненным задачам
		РСВ ЦК – 19. Ин- новационность	Предлагает и внедряет новые идеи и подходы, ставит под сомнение и оптимизирует устаревшие процессы, стремится к улучшениям
УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая ко- мандную страте- гию для достиже- ния поставленной цели	Инженерия ин- формационных систем	РСВ ЦК – 9. Эмоциональный интеллект	Распознает собственные эмоции и эмоции других лю- дей, действует с учетом индивидуальных особенностей других
		РСВ ЦК – 10. Оказание влия- ния	Продвигает свои решения, демонстрирует навыки переговоров, использует техники влияния, аргументи- рует свою точку зрения
		РСВ ЦК – 12. Лидерство	Принимает на себя ответственность за результаты работы других, мотивирует людей и координирует их работу по достижению целей. Является лидером груп- пы, отдела, компании и может оказывать воздействие на поведение сотрудников и коллег
		РСВ ЦК – 14. Партнерство/со- трудничество	Корректен во взаимодействии с другими людьми, выстраивает отношения сотрудничества, выявляет и учитывает потребности и интересы других, предлагает взаимовыгодные решения и работает над совместным развитием идей/проектов для достижения общей цели
		РСВ ЦК – 15. Развитие других	Способствует развитию других, предоставляет развива- ющую обратную связь, делится своими знаниями
УК-4. спосо- бен применять современные коммуникатив- ные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессиональ- ного взаимодей- ствия	Иностранный язык (професси- ональный)	РСВ ЦК – 13. Коммуникатив- ная грамотность	Владеет культурными нормами общения, четко и структурировано формулирует свои мысли, учитывает особенности собеседников
		РСВ ЦК – 16. Устная коммуни- кация	Говорит ясно и четко, учитывает особенности собесед- ников как при общении с отдельными людьми, так и выступая перед аудиторией или в группе. Понятно для слушателей излагает свое мнение. Обладает навыками презентации, уверенно выступает перед аудиторией
УК-5. Способен анализировать и учитывать разно- образие куль- тур в процессе межкультурного взаимодействия	Методология на- учного познания	РСВ ЦК – 8. Межкультурное общение	Взаимодействует с представителями разных культур, устанавливает контакт с ними на основе признания их культурных норм и толерантного отношения к пра- вилам общения, обычаям, образу жизни, традициям и т. д.

зации в ОП навыков будущего. Работа с уни-
версальными компетенциями представлена
в табл. 1.

Пример работы с универсальными компе-
тенциями показан в табл. 2, практического за-
нятия – в табл. 3.

Таблица 2

Работа с УК-1

Универсальная компетенция	Параметры	Образовательные инструменты	Внеучебные мероприятия
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Субъектная позиция студента	Возможность выбора варианта лабораторной работы	Спорт
	Интерактивный способ взаимодействия	Использование презентаций при проведении занятий	Наука
	Достижение результата	Выполнение лабораторной работы	Спорт

Таблица 3

Пример плана практического занятия

Этап	Время, мин	Содержание. Используемые образовательные технологии	Материалы
Актуализация	15	Введение, рассмотрение терминов адаптация, адаптационный потенциал. Инструменты оценки адаптационного потенциала. Активный диалог, обсуждение	Презентация, практические кейсы
Опыт	30	Расчет личного адаптационного потенциала, в том числе с использованием цифровых инструментов. Работа в экспертных группах	Описание задачи, инструменты для определения параметров для расчета
Теория	15	Анализ полученных результатов, выявление ошибок, постановка задачи. Публичные выступления	Раздаточный материал
Практика	30	Разработка рекомендаций и мероприятий на основе выявленных ошибок, работа с кейсом. Работа в экспертных группах	Раздаточный материал, презентация

Таблица 4

План внедрения «новой» ОП

Номер этапа	Название этапа	Что будет сделано
1	Анализ ключевых профессиональных дисциплин ОП на развитие УК, анализ образовательных и профессиональных стандартов	Сбор рабочей группы из профессорско-преподавательского состава, занимающихся разработкой ОП. Анализ УК
2	Анализ заинтересованных компаний	Расширение пула технологических партнеров
3	Формирование общей характеристики ОП и компетентностной модели	Общая характеристика, матрица компетенций
4	Совершенствование кадрового и материально-технического обеспечения	Привлечение профессорско-преподавательского состава и научно-педагогических работников, закупка оборудования
5	Выбор образовательных треков, подготовка учебно-методического комплекса дисциплины	Подготовка учебно-методического комплекса дисциплины, утверждение учебного плана

Внедрение надпрофессиональных компетенций в образовательную программу 09.04.02 «Информационные системы и технологии»

Результатом является проект ОП, включающий развитие надпрофессиональных компетенций, а также внеучебные мероприятия к ней. План внедрения указанной ОП с представлен в табл. 4.

Предполагается, что результатом внедрения будет повышение количества трудоустроенных выпускников по направлению подготовки до 90% и более чем на 1,5 года.

Заключение

Необходимы системное изменение в подходе к развитию надпрофессиональных компетенций [9–12] студентов в образовательных организациях высшего образования и расширение

взаимодействия со стратегическими и индустриальными партнерами в решении актуальных задач отрасли. В качестве примера приведена переработанная программа по направлению подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии» с учетом развития надпрофессиональных компетенций, а также приведен план внедрения разработанной образовательной программы.

Библиографический список

1. Компании отменяют удаленку – и вынуждены заново учить сотрудников тому, как вести себя в офисе. URL: <https://rb.ru/story/office-etiquette-training/> (дата обращения: 30.11.2024).
2. Степашкина Е. А., Суходоев Гужеля Д. Ю. Исследование профиля надпрофессиональных компетенций, востребованных ведущими работодателями при приеме на работу студентов и выпускников университетов и молодых специалистов. М.: НИУ ВШЭ, 2022. 32 с.
3. Общие результаты оценивания надпрофессиональных компетенций у студентов 1–4-го курсов / А. Г. Комиссаров, Е. А. Степашкина, О. Б. Соболева [и др.] // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2023. № 13(2). С. 56–71.
4. Технология формирования надпрофессиональных компетенций студентов в условиях неопределенности будущего мира профессий: монография / А. В. Пеша, М. Н. Шавровская, М. А. Николаева [и др.]; под общ. ред. А. В. Пеша. Казань: Бук, 2022. 240 с.
5. Михайлова С. В. Развитие надпрофессиональных компетенций студентов технических направлений университета: дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург, 2023. 185 с.
6. Григорьева Е. Д. Разработка чат-бота для взаимодействия со студентами // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): матер. Междунар. молодеж. науч. конф. Сб. докл., Казань, 09–10 нояб. 2023 г. Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. С. 3107–3110.
7. Григорьева Е. Д. Постановка задачи и обзор возможных путей решения задачи автоматизации формирования ведомостей // Санкт-Петербургский конгресс «Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке»: сб. тр. (СПб., 28–29 нояб. 2023 г.). СПб.: Первый изд.-полиграф. холдинг, 2023. С. 76–80.
8. Григорьева Е. Д. Применение цифровых технологий в сфере образования // Семьдесят шестая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб. докл.: в 4 ч. (СПб., 17–21 апр. 2023 г.). СПб.: ГУАП, 2023. Ч. 3. С. 99–101.
9. Методология оценки надпрофессиональных компетенций в российских образовательных организациях / А. Г. Комиссаров, Е. А. Степашкина, О. Б. Соболева, Д. Ю. Гужеля // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2022. № 12(6). С. 53–62.
10. Гнатышина Е. А., Евплова Е. В., Малышева Е. В. Надпрофессиональные компетенции педагогов: результаты теоретического и эмпирического исследования // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2020. № 3(156). С. 72–96.
11. Львов Л. В., Лихолетов В. В., Годлевская Е. В. О профессиях будущего, надпрофессиональных навыках и проблемах моделирования в сфере профессионального образования // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2020. Т. 12, № 2(48). С. 91–101.
12. Пеша А. В., Евплова Е. В. Надпрофессиональные компетенции педагога XXI века // Педагогика и просвещение. 2020. № 3. С. 29–46.

УДК 004.738.5

Д. Ф. Хлопцев*

студент

С. Ю. Гуков*

старший преподаватель

В. А. Ушаков*

кандидат технических наук

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

БАЗИС АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассматриваются понятие бюджета производительности клиентской части веб-приложений, основные инструменты для анализа, актуальные метрики и их значимость для аудита веб-страниц. Дополнительно приводятся базовые методы оптимизации клиентской производительности, справедливые для любого стека проекта.

Ключевые слова: оптимизация, метрики клиентской производительности, минификация, frontend-разработка.

D. F. Khloptsev*

Student

S. Yu. Gukov*

Senior Lecturer

V. A. Ushakov*

PhD, Tech.

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

BASIS FOR ANALYZING AND OPTIMIZING THE PERFORMANCE OF WEB APPLICATION CLIENT SIDE DEVELOPMENT TECHNOLOGIES

The article examines the concept of the performance budget for the client side of web applications, the key tools for analysis, relevant metrics, and their importance for web page audits. Additionally, it presents basic methods for optimizing client-side performance that are applicable to any project stack.

Keywords: optimization, client performance metrics, minification, frontend, FCP, First Contentful Paint, TTI, Time to Interactive, SSR, Server Side Rendering, frontend development.

Введение

На момент 2024 г. все больше игроков вступает в гонку IT-сектора России, предлагая собственные решения в разных прикладных областях. Обусловлено это не только стремительным развитием технологий и переходом продуктов «в цифру», но и политикой «импортозамещения», актуальной в новых реалиях. Например, по итогам I полугодия 2024 г. объем российского сектора fintech вырос на 15% [1]. В крупных компаниях, над чьими продуктами работает не один отдел и не одна тысяча прикладных программистов, остро встает вопрос соблюдения определенных стандартов для предоставления конечному пользователю наилучшего опыта ввиду высокой конкуренции на рынке.

Среди предъявляемых стандартов все больше встречается понятие соблюдения бюджета производительности – совокупности метрик, благодаря которым можно измерить динамику развития продукта в разрезе времени: внедрение новых технических решений и функционала не должно ухудшать опыт взаимодействия с продуктом, превращая его в «тяжелое» приложение, отсылающее к программному обеспечению начала нулевых. Соответственно, бюджет производительности – метрика для предотвращения регрессий – может быть применен к файлам/ресурсам приложения или сервиса, определенным общим/пользовательским показателям или пороговым значениям, которые связаны с точками состояния в разрезе времени. Основное преимущество оперирования понятием

в разработке – сокращение регрессии и определение компромиссов между пользовательским опытом и объективными нуждами приложения. Под производительностью подразумеваются конкретные объективные измерения и пользовательские ощущения, связанные с загрузкой и работой веб-приложения.

В рамках современного устройства индустрии прикладные программисты сталкиваются с задачами превышения бюджета «на бою» ввиду разрозненности и отсутствия структурированного изложения возможных превентивных мер. Актуальные труды на тему разработки веб-приложений концентрируются на оптимизации бизнес-логики и организации сервисов backend (например, популярный на данный момент подход с микросервисами), тематическая литература по большей части игнорирует понятие оптимизации производительности, если оно не укладывается в привычную парадигму «поиска оптимального решения с позиции организации логики алгоритма и конечной программы». С развитием тематических ресурсов начинающему разработчику приходится исследовать не один ресурс в поисках полезной прикладной информации по анализу и оптимизации производительности клиентской части веб-приложений.

Инструменты анализа клиентской производительности

С практической точки зрения, прежде чем говорить о самой оптимизации, необходимо выявить инструменты, с помощью которых можно оценить производительность веб-страницы. Если углубиться в предметную область, становится очевидно, что инструментарий прикладного программиста не ограничивается DevTools (инструменты разработчика) в рамках браузера.

1. Инструменты разработчика (DevTools).

В большинстве современных браузеров присутствует панель разработчика – набор инструментов «из коробки», организованных в тематические вкладки и позволяющих взаимодействовать со страницей, исследовать ее структуру. Как правило, начинающие разработчики ограничиваются лишь функционалом эмуляции мобильных устройств для проверки отображения страницы в адаптиве, игнорируя богатый набор функций.

Elements – визуализация DOM (Document Object Model) с просмотром верстки страницы, анализом примененных стилей к тому или иному узлу. Наиболее простая для восприятия па-

нель, наглядно демонстрирующая структуру просматриваемой страницы. Для разработчика практическая польза заключается в оценке верстки и просмотре примененных CSS-правил для выявления пересекающихся стилей или избыточной вложенности узлов.

Network – панель анализа сетевых запросов. В рамках списка отображаются все запросы к серверу, их общее количество и объем загружаемых ресурсов, историю запросов можно сохранить в файл .har для более детального анализа.

Performance – панель оценки производительности. Присутствует возможность записи взаимодействия со страницей для дальнейшего анализа временных показателей выполнения скриптов в рамках очереди, перерасчета CSS-стилей и последующего выявления «узких мест» (так называемых бутылочных горлышек – ситуаций, при которых производительность ограничена одним или несколькими техническими решениями, компонентами или ресурсами).

Sources – панель доступа к исходным ресурсам страницы. Позволяет ставить точки останова (breakpoints, в том числе условные) для пошаговой отладки кода, анализа стека вызовов.

Memory – панель анализа использования памяти. Исследование размера JS heap («куча» – область памяти, используемая движком JavaScript для хранения объектов и данных) и утечек памяти (после выполнения функции интерпретатор старается автоматически очистить задействованную память, однако возможны сценарии неоптимальной организации кода, например внешнего хранения ссылки на переменную, из-за которой «сборщик мусора» проигнорирует часть выделенной памяти, так как переменная еще существует в рамках другой области видимости) [2].

2. Google Lighthouse.

В 2016 г. компания Google представила инструмент Google Lighthouse – утилиту для оценки и анализа веб-страниц, поставляемую «из коробки» в Chrome-браузере в панели разработчика DevTools. Lighthouse позволяет визуализировать значимость, вес той или иной метрики в рамках круговой диаграммы, показывая ее приоритет при аудите страницы. В отношении производительности инструмент учитывает время первичной отрисовки и время оживления, предоставляя конкретные числовые значения и их отклонения от стандартов, объявленных компанией (характеристики распределяются по диапазонам возможных значений от «плохого» до «отличного» результата) [3].

3. HAR-анализаторы.

HTTP Archive – формат файлов, который записывает данные о запросах и ответах между браузером и сервером. Он используется для анализа производительности и выявления проблем загрузки веб-страниц.

Существует широкий ряд сервисов, платформ и расширений для IDE (интегрированная среда разработки), предоставляющих функционал визуализации данных о запросах к серверу, например в виде водопада – цепочки зависимых операций со временем их выполнения. Такой подход позволяет наглядно отследить «зависимости» между файлами, определить, какие библиотеки «тянут» тот или иной функционал, и сделать вывод о его необходимости для первичного построения страницы.

Актуальные метрики производительности

Рассмотрим применяемые сегодня метрики производительности.

1. Объем загружаемых ресурсов.

Под ресурсами подразумеваются любые файлы, загружаемые с сервера и необходимые для построения и оживления страницы на клиенте. К ним относятся:

- CSS – стили;
- HTML – верстка;
- JS – скрипты для обеспечения интерактивности;
- Fonts – шрифты, используемые на странице;
- Media – любой медиаконтент, например видео или изображение.

Общее количество загружаемых файлов определяет значение запросов к серверу для первичного построения, их суммарный вес – объем ресурсов.

Для оптимизации первого аспекта, как правило, файлы группируют по их функциональной области – вместо CSS-файла для каждого отдельного компонента может быть использован один файл, содержащий стили для группы компонентов одной библиотеки, или, как альтернатива, может быть выделен один общий файл, содержащий базовые стили, справедливые для всех элементов на странице. Последняя парадигма организации ресурсов присуща сторонним библиотекам для стилизации, например tailwind – каждое CSS-правило выделено в отдельный класс, который навешивается на элемент верстки. Все классы объявлены в одном корневом CSS-файле-конфиге.

Вес загружаемых ресурсов может быть уменьшен посредством минификации.

2. FCP.

First Contentful Paint – первичная отрисовка контента, время, через которое пользователь начинает видеть хоть что-то на загружаемой странице. Значение во многом влияет на восприятие и впечатления от взаимодействия с сайтом: чем раньше поступит «обратная реакция» веб-страницы от перехода по URL, тем меньше возможный дискомфорт. «Если на странице что-то появилось, значит, все работает в штатном режиме» – ориентир в желаемом мышлении конечного пользователя. В рамках аудита Google Lighthouse вес метрики оценен в 10% от общей оценки «качества» веб-страницы. Оптимальное время FCP укладывается в 1 с.

3. TTI.

Time to Interactive – время оживления, интервал, необходимый для того, чтобы страница стала полностью интерактивной.

В 2023 г. компания Google отказалась от TTI в пользу более наглядной и простой для восприятия альтернативы – TBT. Total blocking time измеряет общее количество времени после первой отрисовки содержимого (FCP), когда основной поток был заблокирован на достаточно долгое время, чтобы предотвратить реагирование на ввод.

Критические этапы рендеринга страницы включают построение DOM-дерева, CSS Object Model, комбинирование результатов в дерево рендера (Render Tree), компоновку (определение положения элементов относительно друг друга) и непосредственную отрисовку (Paint). При первичной загрузке документа будет отрисован весь экран. Только после этого основной поток освободится и взаимодействие с сайтом будет регистрироваться [4].

В рамках Lighthouse «вес» метрики составляет 30%.

4. DOM-дерево и расчет стилей.

Любые теги в верстке преобразуются в узлы – элементы иерархического дерева DOM. Очевидно, что избыточная вложенность узлов ведет к увеличению конечного документа и потреблению больших ресурсов/времени на рендеринг страницы.

Второй важный аспект – расчет стилей (style calculation) – этап применения CSS-правил к элементам. Важно четко понимать процесс определения узлов, к которым будет применено то или иное правило в зависимости от селектора; осознавая механизм, становится очевидным «бутылочное горлышко» быстрого действия при злоупотреблении сложными селекторами: браузеры обрабатывают любые селекторы справа налево.

В качестве одного из способов достижения оптимального расчета стилей можно использовать соглашения по именованию элементов верстки, например БЭМ – методологию Яндекса по компонентному подходу к веб-разработке. Каждый класс формируется по правилу Блок_элемент_модификатор. Блок – определенная функциональная единица, элемент – составляющая блока, модификатор – признак состояния. При верстке по БЭМ большая часть селекторов может быть заменена на простой селектор по классу [5].

Общие методы оптимизации

1. Минификация.

На самом деле любой код, написанный прикладным разработчиком, с позиции JS-интерпретатора будет избыточным: для движка нет практической пользы от человекочитаемого именования переменных, функций, соблюдения табуляции на вложенных конструкциях или комментариев [6]. Большой процент содержимого файла является «лишним» и нужен исключительно для самого разработчика и его коллег. Но количество символов напрямую влияет на размер полученного файла, соответственно, при сборке проекта для «продакшена» все лишнее можно удалить. Этот процесс и называется минификацией – удаление ненужных символов из исходного кода с сохранением функциональности. Выигрыш в минимизации веса конечного файла обычно составляет 20–40% от исходника.

2. Асинхронная загрузка.

При работе с комплексным веб-приложением полезной является парадигма мышления: если это обязательно для первичного построения, это может быть загружено асинхронно. Под асинхронной загрузкой понимается не только загрузка js-скриптов с атрибутами `async` и `defer`, но и ленивый импорт компонент – исходные файлы компонента будут загружены только тогда, когда мы планируем его встроить в страницу. Еще один вид «асинхронщины» – динамический импорт или импорт по месту. Самый простой пример: на странице есть кнопка, при нажатии на которую необходимо отобразить рорир с контентом. Очевидно, что пользователь может никогда и не нажать на кнопку в рамках своей сессии, это действие опционально – соответственно, функцию `onPage` и сам компонент рорир'а можно загрузить непосредственно в функции `callback`'е на нажатие по кнопке.

3. Виртуализация и пагинация.

Подход исходит из самого дизайна взаимодействия с большим количеством однотипных

элементов: пользователю нет необходимости единовременно предоставлять абсолютно все записи списка, они банально не поместятся во `viewport` браузера.

В случае виртуализации в DOM-дереве будут отображаться только те узлы, что соответствуют элементам, попадающим во `viewport` пользователя. Предыдущие и следующие элементы не отображаются, так оптимизируется документ. При пролистывании подгружаются и встраиваются новые элементы, а часть предыдущих удаляется из верстки.

При пагинации пользователь работает с наглядной навигацией – все элементы распределяются на страницы по `n` записей, при выборе конкретной страницы отображается набор записей, соответствующий странице.

4. SSR.

Server Side Rendering – метод рендеринга веб-страниц, при котором HTML-код формируется на сервере, а затем отправляется на клиент. Преимущество – сокращение FCP, так как пользователь сразу видит готовую страницу, даже если js-файлы еще не подгрузились. В ответ на привычный запрос по URL сервер отправляет готовый HTML с контентом, который сразу отображается (за счет этого сокращается время первичной отрисовки). После загрузки JS-кода браузер запускает клиентскую часть, компоненты рендерятся (технически, так как один и тот же контент рендерится дважды – на сервере и на клиенте) и выполняется гидратация – связь существующей статичной разметки с результатом на клиенте для добавления интерактивности [7].

Заключение

В условиях стремительного развития IT-индустрии и усиления конкуренции в секторе понятие производительности веб-приложений приобретает значимый вес в попытках предоставить наилучший пользовательский опыт, определяющий заинтересованность клиента в конкретном продукте. Анализ ключевых метрик и использование инструментов, например, Google Lighthouse, позволяют оперативно оценивать состояние приложения для предотвращения регрессий.

Оптимизация производительности клиентской части веб-приложений должна рассматриваться как обязательная составляющая разработки любого продукта. Важно помнить, что производительность, оцениваемая как в конкретных числах и показателях, так и в субъективном пользовательском опыте, в итоге кон-

вертируется в общие впечатления от работы с продуктом, что влияет на его востребованность и окупаемость. Применение таких подходов, как минификация, асинхронная загрузка ресурсов, оптимизация HTML и CSS, виртуализация/пагинация и внедрение SSR, выступает базовыми превентивными мерами, позволяющими найти баланс между высоким качеством UI/UX-опыта и непосредственными объективными нуждами веб-приложения любой сложности.

Библиографический список

1. Fintech-рынок вырос на 15% по итогам I полугодия 2024. URL: <https://smartranking.ru/ru/analytics/FINTECH/fintech-rynok-vyros-na-15-po-itogam-i-polugodiya-2024/> (дата обращения: 30.09.2024).
2. *Simpson K.* You don't know JS: Scope & Closures. O'Reilly Media, 2014. 83 p.
3. Introduction to Lighthouse. URL: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview> (дата обращения: 01.10.2024).
4. *Grigorik I.* High Performance Browser Networking. O'Reilly Media, 2013. 382 p.
5. Быстрый старт / Методология / БЭМ. URL: <https://ru.bem.info/methodology/quick-start/> (дата обращения: 11.10.2024).
6. *Flanagan D.* JavaScript: The Definitive Guide. O'Reilly Media, 2020. 1245 p.
7. SSR: ключевой элемент сайта, который требует особого внимания. URL: <https://habr.com/ru/articles/798585/> (дата обращения 11.10.2024).

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 378.147

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-129-135

Т. И. Белая*

кандидат технических наук, доцент

В. С. Анкудинова*

студент

А. В. Красуляк**

начальник научно-исследовательского сектора

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Акционерное общество «Научно-исследовательский институт „Вектор“»

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА
БЛОКА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ КОМПЛЕКСА
РАДИОМОНИТОРИНГА**

Работа посвящена разработке алгоритма определения динамического диапазона блока первичной обработки сигналов комплекса радиомониторинга в частотном диапазоне. Представлены основные критерии, определяющие границы динамического диапазона. Приведены блок-схемы основного и вложенного алгоритмов. Практическая значимость разработанного алгоритма заключается в том, что за счет автоматизации процесса нахождения динамического диапазона можно ускорить сбор данных, снизить затраты на проведение измерений и повысить точность получаемых результатов. На основе предложенного алгоритма создано программное обеспечение, интегрируемое в цикл проверки блоков обработки сигналов существующих комплексов радиомониторинга. Подход, использованный при разработке данного алгоритма, может быть адаптирован для автоматизированной оценки точности определения частотно-временных параметров сигналов при сложных сигнально-помеховых воздействиях, достоверности распознавания типов внутриимпульсной модуляции и других актуальных задач, связанных с оценкой качества работы комплексов радиомониторинга. Это расширяет возможности применения разработанного алгоритма при их создании.

Ключевые слова: динамический диапазон, чувствительность, автоматизация измерений, первичная обработка сигналов, первичный анализ сигналов, комплекс радиомониторинга, радиомониторинг.

T. I. Belaya*

PhD, Tech., Associate Professor

V. S. Ankudinova*

Student

A. V. Krasulyak**

Head of the Research Sector

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

**Joint-Stock Company «Scientific Research Institute „Vector“»

**THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE DYNAMIC RANGE
OF THE PRIMARY SIGNAL PROCESSING UNIT
OF THE RADIO MONITORING COMPLEX**

The work is devoted to the development of an algorithm for determining the dynamic range of the primary signal processing unit of the radio monitoring complex in the frequency range. The main criteria defining the boundaries of the dynamic range are presented. Block diagrams of the main and nested algorithms are given. The practical significance of the developed algorithm lies in the fact that by automating the process of finding the dynamic range, data collection can be accelerated, measurement costs can be reduced and the accuracy of the results obtained can be improved. Based on the proposed algorithm, software has been created that is integrated into the verification cycle of signal processing units of existing radio monitoring complexes. The approach used in the development of this algorithm can be adapted for automated evaluation of the accuracy of determining the time-frequency parameters of signals under complex signal interference effects, the reliability of recognition of types of intra-pulse modulation and other urgent tasks related to evaluating the quality of operation of radio monitoring complexes. This expands the possibilities of using the developed algorithm when creating them.

Keywords: *dynamic range, sensitivity, measurement automation, primary signal processing, primary signal analysis, radio monitoring complex, radio monitoring.*

Введение

В современных системах радиомониторинга одним из ключевых параметров, определяющих качество работы блока первичной обработки сигналов, является его динамический диапазон (ДД) [1–3]. Данный параметр характеризует способность приемного устройства корректно воспринимать сигналы различной мощности без значительных искажений [4]. Определение ДД блока обработки включает выявление точки чувствительности и верхней границы (ВГ) ДД, что позволяет оценить его способность работать в условиях широкого диапазона уровней входного сигнала. Нижняя граница (НГ), или чувствительность, соответствует минимальной мощности сигнала, обнаруживаемой с заданным качеством, в то время как ВГ ДД – это максимально допустимый уровень сигнала, который устройство способно обрабатывать без искажений или перегрузки [4].

Традиционные методы измерения ДД часто связаны с ручным управлением оборудованием и требуют значительного времени на проведение измерений [2]. В связи с этим возникает необходимость в разработке алгоритма для автоматизации процесса измерения. К основным преимуществам автоматизации данного процесса можно отнести: сокращение времени, затрачиваемого на проведение измерений, и расходов на их проведение; повышение достоверности результатов измерений за счет устранения влияния человеческого фактора; повышение качества продукции за счет повторяемости операций, увеличения числа измерений и получения более полных данных о характеристиках изделия. Таким образом, создание алгоритма для автоматизации определения ДД позволяет улучшить как технические, так и экономические показатели процесса измерений.

Широкополосный блок первичной обработки сигналов

Широкополосный анализ сигналов используется при решении задач радиомониторинга для контроля функционирования различных источников радиоизлучения (ИРИ) и анализа сигнальной обстановки в широком диапазоне частот [5; 6]. Такой анализ позволяет выявлять случаи несанкционированного использо-

вания критически важных участков радиодиапазона.

Ключевым элементом системы радиомониторинга служит блок первичной обработки сигналов. В рамках данного исследования разработка алгоритма определения ДД ведется для широкополосного блока первичной обработки, работающего без сканирования в сверхширокой полосе частот. Для реализации сверхширокого мгновенного диапазона рабочих частот использован приемник с субдискретизацией. Принцип действия приемника описан в [7], методика его проектирования – в [8], а основные достигнутые на практике характеристики, полученные в том числе с использованием описываемого в настоящей работе алгоритма – в [9–11].

Задачей первичной обработки является обнаружение сигнала в радиоэфире и измерение его первичных параметров: несущая частота, длительность, амплитуда, время прихода каждого импульса и др. [12]. Важным требованием к аппаратуре на данном этапе оказывается пропускная способность по количеству обрабатываемых импульсов [1]. Пропускная способность – это комплексный показатель, который связывает ДД, разрешающее время и точность измерения. При значительном различии мощности одновременно принимаемых сигналов узкий ДД может приводить к снижению пропускной способности. Это, в свою очередь, вызывает потерю полезной информации и нарушает точность последующей классификации ИРИ, снижая эффективность работы в сложной сигнальной обстановке [13]. Кроме того, потерянная на этапе первичной обработки информация часто не подлежит восстановлению на последующих этапах обработки [1; 12]. Поэтому критически важно обеспечить максимально возможный ДД при проектировании блоков первичной обработки, что обеспечивается разнообразными программно-аппаратными решениями [14–17].

Описание алгоритма

Для определения ДД на вход блока первичной обработки с высокочастотного генератора подается сигнал с заданными параметрами.

Основными характеристиками генерируемого сигнала являются частота f и мощность P . Для каждого из этих параметров задаются

рабочие диапазоны, в пределах которых генератор формирует сигналы, последовательно изменяя их значения с шагами перестройки f_{step} для частоты и P_{step} для мощности. Это позволяет детально исследовать реакцию блока на сигналы в различных точках его рабочего диапазона и обеспечить полноту анализа.

При подаче с генератора импульсных сигналов дополнительно задаются период следования и длительность импульса, которые используются в алгоритме для оценки точности принимаемого сигнала.

Широкополосный блок первичной обработки осуществляет поиск в радиоэфире фрагментов сигналов (импульсов или участков непрерывных сигналов), подаваемых с генератора, определяет параметры данных фрагментов, формирует дескрипторы с их описанием. Под дескрипторами понимаются структуры данных, представляющие описания импульсов во встроенном программном обеспечении блока обработки [1]. Затем эти дескрипторы передаются на вход алгоритму для дальнейшего анализа и определения ДД.

С целью оценки точности принятого сигнала на вход алгоритму поступают значения допусков, которым должны соответствовать дескрипторы импульсов для принятия решения о нахождении нижней $P_{нг}$ или верхней $P_{вг}$ границы ДД. Далее представлены подробное описание задаваемых допусков и их влияние на принятие решений в процессе анализа полученных дескрипторов импульсов.

Для повышения гибкости алгоритма предусмотрены два режима работы. В первом алгоритм выполняет только обнаружение НГ ДД, что позволяет быстро оценить минимально обнаруживаемый уровень сигнала. Для этого мощность сигнала, подаваемого с генератора, постепенно увеличивается на P_{step} до тех пор, пока данные в дескрипторах не будут соответствовать заданным допускам чувствительности или пока не будет достигнут предел рабочего диапазона мощности. После этого определение ДД продолжается на следующей частоте в соответствии с заданным шагом перестройки f_{step} .

Во втором режиме работы алгоритм определяет как НГ, так и ВГ ДД, обеспечивая более полное представление о рабочих пределах системы. Мощность сигнала, подаваемого с генератора, увеличивается до тех пор, пока не выполнится хотя бы один из критериев для определения ВГ ДД. После этого процесс продолжится на следующей частоте в соответствии с заданным шагом перестройки f_{step} .

Выбор режима работы алгоритма позволяет адаптировать его под различные задачи – от быстрой оценки чувствительности до детального анализа всего диапазона, повышая эффективность и универсальность его применения.

Допуски, предъявляемые к сигналам для определения чувствительности

Параметр Δ_f представляет собой величину порога точности определения частоты. Например, если значение допуска составляет 1 МГц, а частота, измеренная с помощью блока обработки, отличается от f , установленной на генераторе, более чем на 1 МГц, то описание импульса считается некорректным.

На вход алгоритму могут подаваться дескрипторы как импульсных, так и непрерывных сигналов. При работе с импульсными сигналами для повышения точности принятия решения о нахождении чувствительности может быть задан дополнительный параметр допуска Δ_t – отклонение длительности импульса, измеренной блоком обработки, от ее истинного значения длительности t , задаваемого на генераторе. Например, если значение допуска 1 мкс, длительность импульса, измеренная с помощью блока обработки, отличается от t более чем на 1 мкс, то описание импульса считается некорректным.

Параметр N_{Π} представляет собой процент безошибочно принятых описаний импульсов, сформированных блоком первичной обработки. Этот параметр рассчитывается как процент от ожидаемого количества импульсов N , которые должен обнаружить блок обработки. Ожидаемое количество импульсов рассчитывается по формуле $N = \lfloor T_{сб} / T_{сл} \rfloor$, где $T_{сл}$ – период следования импульсов, $T_{сб}$ – время сбора описаний импульсов на одной частоте и мощности, $\lfloor \dots \rfloor$ – оператор округления к меньшему значению. При этом в расчет N_{Π} не включаются импульсы, отброшенные во время перестройки генератора. Время, затраченное на перестройку, добавляется к заданному времени $T_{сб}$ на каждой частоте. Если количество дескрипторов импульсов, удовлетворяющих условию Δ_f , равно или превышает необходимое количество успешно принятых импульсов, это свидетельствует о том, что на данной частоте и мощности достигнута требуемая точность распознавания сигнала. В таком случае точка чувствительности считается достигнутой. При обработке импульсных сигналов аналогичным образом оценивается количество дескрипто-

ров, соответствующих установленному допуску Δ_t .

Описанные допуски позволяют разработать алгоритм для проверки достижения точки чувствительности (рис. 1). Переменная *sens* хранит результат проверки соответствия параметров импульсов допускам для точки чувствительности. Она принимает значение *true*, если параметры импульсов соответствуют допускам чувствительности, и *false* в противном случае. Переменная N_f показывает количество импульсов, удовлетворяющих допуску по частоте Δ_f , а N_t – количество импульсов, удовлетворяющих допуску по длительности Δ_t .

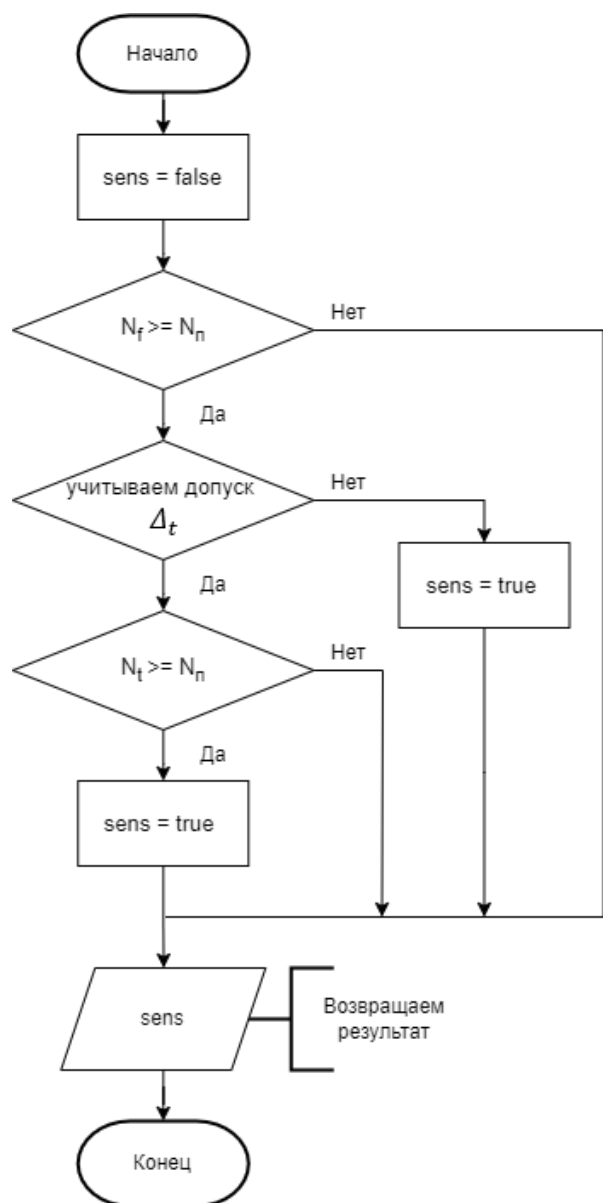


Рис. 1. Блок-схема вложенного алгоритма определения точки чувствительности

Критерии, предъявляемые к сигналам для определения верхней границы динамического диапазона

ВГ ДД определяется как максимально допустимая мощность сигнала, подаваемая на вход

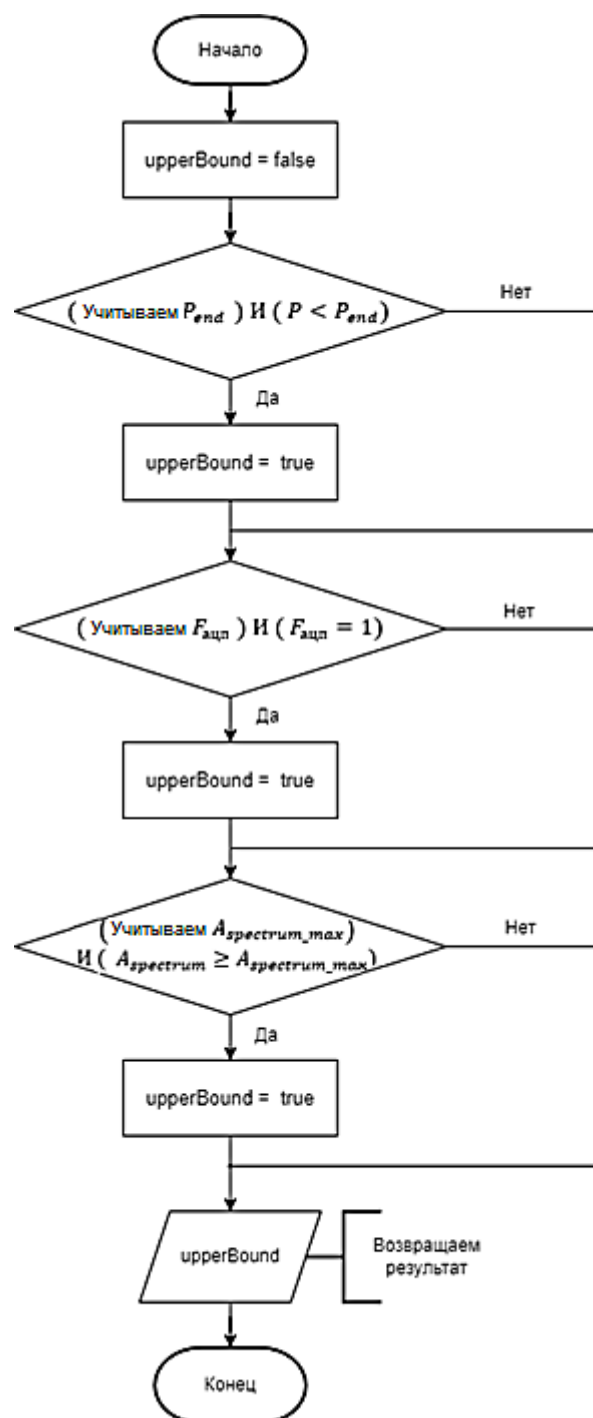


Рис. 2. Блок-схема вложенного алгоритма определения верхней границы динамического диапазона

устройства. При этом максимально допустимая мощность определяется на основании следующих критериев.

Критерий P_{end} представляет собой формальное достижение порога конечной мощности, указанной в диапазоне мощности изменений. Если $P > P_{end}$, где P – текущая мощность, установленная на генераторе, то ВГ ДД обнаружена.

Критерий $F_{АЦП}$ представляет собой значение флага в дескрипторе импульсов, который указывает на выход сигнала за пределы допустимого диапазона для аналого-цифрового преобразователя (АЦП), используемого в блоке первичной обработки. В случае переполнения АЦП флаг в дескрипторе импульсов принимает значение 1, а при нормальной работе блока обработки – 0.

Критерий $A_{spectrum_max}$ представляет собой максимальное допустимое среднее значение амплитудного спектра сигнала. Анализ среднего амплитудного спектра сигнала $A_{spectrum}$ при первичной обработке полезен для точной идентификации характеристик радиоизлучений в условиях помех и шумов. Если рассчитанное значение $A_{spectrum} \geq A_{spectrum_max}$, это свидетельствует о достижении ВГ ДД.

Алгоритм предоставляет возможность гибкой настройки критериев для определения ВГ ДД. Для ее определения необходимо выбрать как минимум один критерий: P_{end} , $F_{АЦП}$, $A_{spectrum_max}$. ВГ считается определенной, когда выполняется условие хотя бы одного из выбранных критериев.

Описанные критерии служат основой для разработки алгоритма проверки достижения ВГ ДД (рис. 2). В представленной блок-схеме переменная *upperBound* отражает результат проверки соответствия параметров импульсов критериям ВГ ДД. Она принимает значение *true*, если ВГ успешно определена, и *false* в противном случае.

Блок-схемы работы основного алгоритма

На рис. 3 представлена общая блок-схема алгоритма определения ДД. В начале работы алгоритма задаются описанные ранее критерии и допуски для определения ДД, рабочие диапазоны для частоты и мощности, а также инициализируются начальные значения частоты и мощности, которые устанавливаются на генераторе.

Далее запускается внешний цикл, контролирующий работу внутри указанного диапазо-

на частоты. После настройки параметров генератор формирует сигналы с заданными характеристиками. Блок обработки выполняет поиск фрагментов сигналов в радиоэфире и формирует дескрипторы импульсов, которые затем передаются в алгоритм для определения ДД (рис. 4).

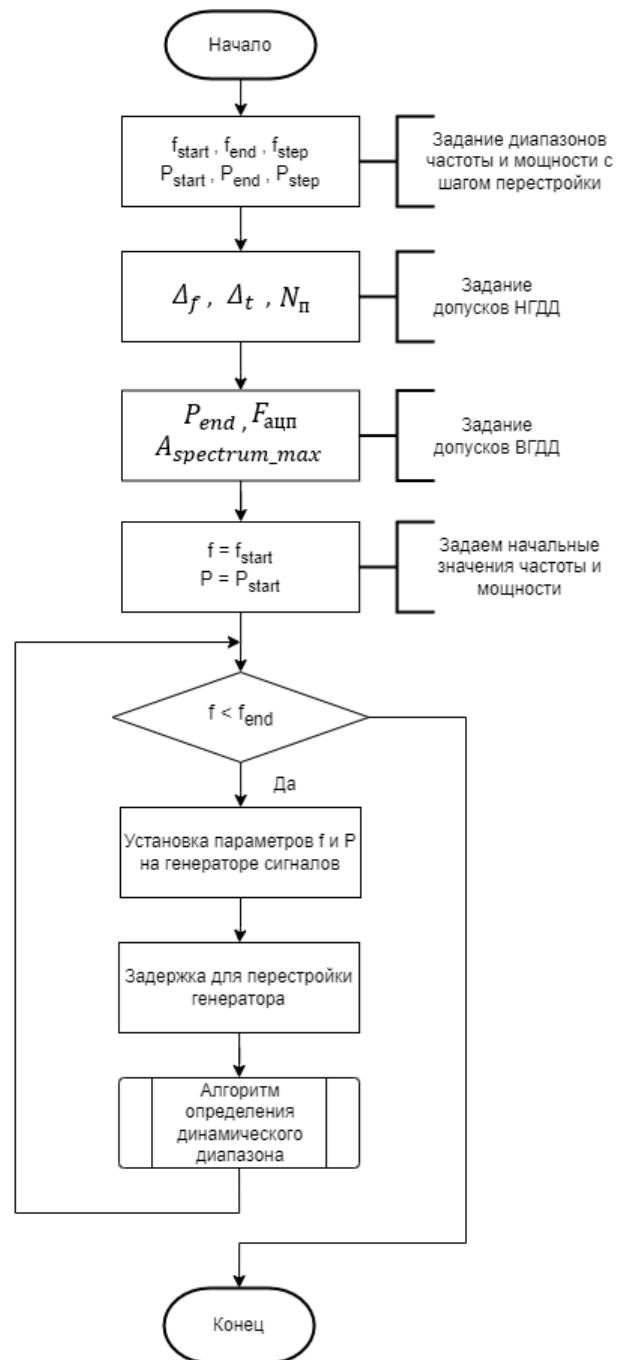


Рис 3. Общая блок-схема алгоритма определения динамического диапазона

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет с заданной точностью анализировать дескрипторы импульсов, полученные от блока первичной обработки сигналов, и на основании результатов анализа определять нижнюю и верхнюю границы динамического диапазона. Задание допусков для параметров сигналов и критериев для определения границ ДД обеспечивает гибкость его оценки для блоков обработки, использующих различные алгоритмы и режимы обработки.

Практическая значимость разработанного алгоритма заключается в том, что за счет автоматизации процесса нахождения динамического диапазона можно ускорить сбор данных, снизить затраты на проведение измерений и повысить точность получаемых результатов. На основе предложенного алгоритма создано программное обеспечение, интегрируемое в цикл проверки блоков обработки сигналов существующих комплексов радиомониторинга. Подход, использованный при разработке данного алгоритма, может быть адаптирован для автоматизированной оценки точности определения частотно-временных параметров сигналов при сложных сигнально-помеховых воздействиях, достоверности распознавания типов внутриимпульсной модуляции и других актуальных задач, связанных с оценкой качества работы комплексов радиомониторинга. Это расширяет возможности применения разработанного алгоритма при их создании.

Библиографический список

1. Подстригаев А. С., Смоляков А. В., Лихачев В. П. Программно-определяемые средства широкополосного анализа сигналов на основе технологий субдискретизации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 184 с.
2. Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 640 с.
3. Токарев А. Б. Развитие методов и алгоритмов обработки сигналов при радиотехнических измерениях и радиоконтроле в условиях априорной неопределенности: дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2013. 443 с.
4. Фомин Н. Н. Радиоприемные устройства: учеб. для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 520 с.
5. Подстригаев А. С., Смоляков А. В., Лихачев В. П. Выбор приемника для широкополосного анализа сигнальной обстановки на основе оценки ее сложности // Радиотехника. 2022. № 1. С. 143–153.

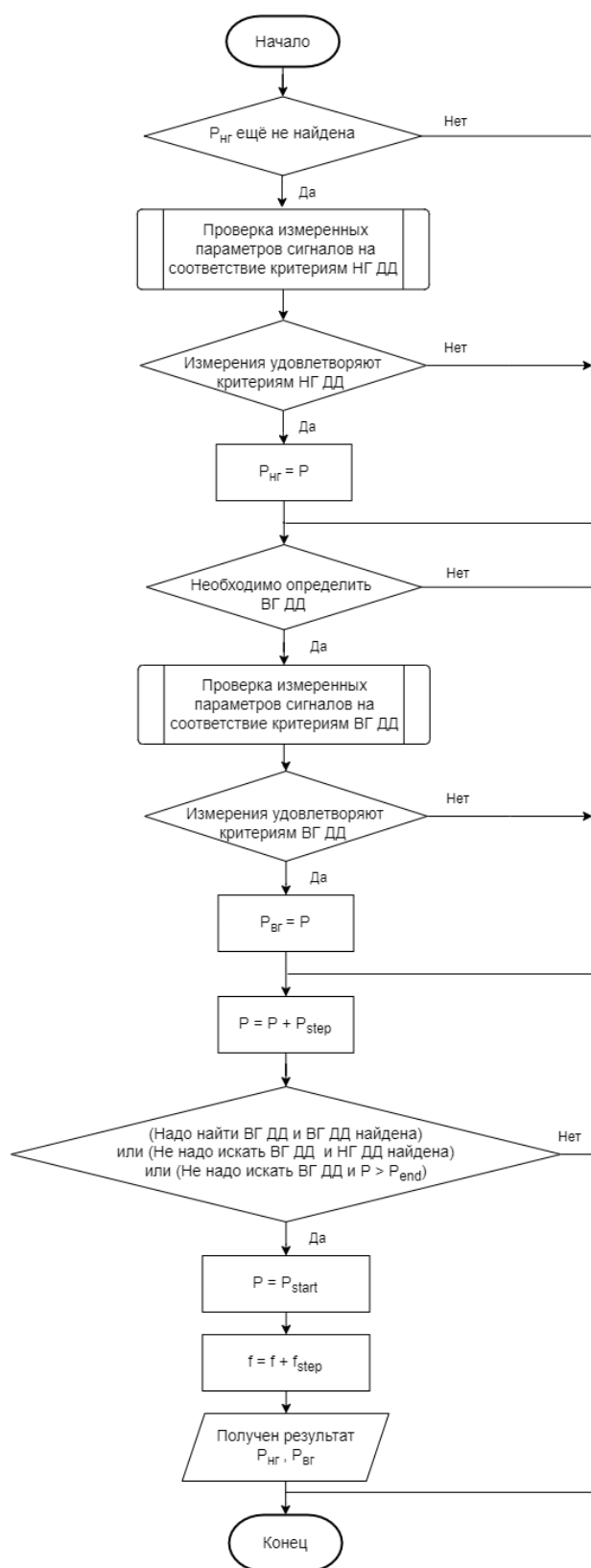


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения динамического диапазона

6. Горшков Д. В., Мещеряков Ю. Ю., Токарев А. Б. Экспресс-тест наличия в диапазоне частот сигналов с ППРЧ при панорамной обработке данных системой радиомониторинга // Вестник Воронежского института МВД России. 2018. № 2. С. 124–132.
7. Смоляков А. В., Подстригаев А. С. Характеристики обнаружения цифрового приемника с субдискретизацией // Радиотехника. 2021. № 9. С. 95–107.
8. Подстригаев А. С. Методика проектирования сверхширокополосного цифрового приемника с субдискретизацией // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. № 10. С. 11–17.
9. Смоляков А. В., Подстригаев А. С. Экспериментальное исследование коэффициента шума цифрового приемника с субдискретизацией в полосе до 18 ГГц // Труды МАИ. 2022. № 122.
10. Смоляков А. В., Подстригаев А. С. Экспериментальное исследование точности определения частотно-временных параметров импульса в цифровом приемнике с субдискретизацией при односигнальном воздействии // Труды МАИ. 2021. № 121. С. 31.
11. Подстригаев А. С., Смоляков А. В. Экспериментальное исследование точности определения частотно-временных параметров импульса в цифровом приемнике с субдискретизацией при многосигнальном воздействии // Труды МАИ. 2022. № 123.
12. Радзиевский В. Г., Сирота А. А. Информационное обеспечение радиоэлектронных средств в условиях конфликта. М.: ИПРЖР, 2001. 456 с.
13. Подстригаев А. С. Оценка уровня сложности сигнальной обстановки для использования многоканального приемника с субдискретизацией // Труды МАИ. 2023. № 129.
14. Петров С. А. Снижение влияния основных факторов ограничения реального динамического диапазона малогабаритных широкополосных приемных устройств СВЧ: дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. 130 с.
15. Исследование путей расширения динамического диапазона широкополосных приемных устройств СВЧ в многосигнальном режиме / С. А. Богданов, П. В. Куприянов, С. В. Николаев, С. А. Петров // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2018. № 3. С. 85–90.
16. Болтунов Е. В. Нейросетевой метод расширения динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя // Перспективы развития информационных технологий. 2011. № 4. С. 79–83.
17. Кузнецов П. В. Адаптивное увеличение динамического диапазона цифрового приемника // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2012. № 1-1. С. 62–71.

УДК 004.896 + 004.891

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-136-141

А. А. Маркова*

студент

П. А. Охтилев*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены современные подходы к практической реализации технологий параллельного инжиниринга, включая анализ возможности их применения в задаче оптимизации процесса проектирования изделий ракетно-космической техники.

Ключевые слова: параллельный инжиниринг, имитационное моделирование, теория принятия решений, экспертные системы, концептуальное программирование, ракетно-космическая техника.

A. A. Markova*

Student

P. A. Okhtilev*

PhD, Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SYSTEM ANALYSIS OF THE APPLICATION OF CONCURRENT ENGINEERING TECHNOLOGIES FOR THE DESIGN OF SPACE-ROCKET HARDWARE

The article examines modern approaches to the practical implementation of concurrent engineering technologies, including an analysis of their applicability to the task of optimizing the design process for space-rocket systems.

Keywords: concurrent engineering, simulation modeling, decision theory, expert systems, conceptual programming, space-rocket hardware.

Каждое предприятие стремится повысить эффективность своих производственных процессов и сократить затраты, что побуждает его искать новые подходы к применению и оптимизации передовых технологий. Одним из соответствующих этому запросу подходов является внедрение параллельного инжиниринга (иначе – параллельного проектирования) в систему организации разработки и производства. Данный метод позволяет выполнять разные этапы работы одновременно. Его основное отличие от традиционного последовательного проектирования заключается в обеспечении постоянного взаимодействия между разными участниками процесса, что способствует ускоренному внесению изменений и обнаружению проблем на более ранних этапах. Это, в свою очередь, приводит к повышению качества продукции, а также к снижению времени ее изготовления [1]. Отмеченные преимущества могут иметь важную роль в различных сферах, в том числе в про-

цессах разработки ракетно-космической техники (РКТ), проектирование которой сопряжено с экспоненциальным ростом сложности решаемых задач [2].

Эффективность параллельного инжиниринга в сравнении с последовательным проектированием обусловлена тем, что параллельное выполнение различных этапов разработки позволяет снизить риски и оптимизировать затраты в рамках ЖЦИ. При традиционном подходе затраты на внесение изменений возрастают по мере прохождения этапов ЖЦИ, так как ошибки и несоответствия выявляются на более поздних стадиях, когда исправления требуют большего количества ресурсов. Параллельный инжиниринг позволяет согласовать проектные решения и производственные процессы уже на начальном этапе разработки. Это достигается за счет использования единой информационной модели, которая объединяет данные об изделии, технологиях его изготовления и приме-

нением оборудования и тем самым создает целостное представление о проектируемом продукте, что обеспечивает более четкую цель, а также управляемость средствами ее достижения.

Методология параллельного инжиниринга разбивается на три стадии: формирование спецификации требований, концептуальное проектирование и детализированное проектирование [3]. Формирование спецификации требований заключается в определении указаний к разработке продукции, что обосновано важностью составления четкого представления о назначении и имеющихся ожиданиях к создаваемому изделию с учетом всех ограничений. В спецификацию включаются требования к функциональности, качеству, стоимости, а также нормативные и эксплуатационные ограничения. На основе подготовленных данных формируется концепция продукции, что позволяет перейти к следующему этапу – концептуальному проектированию, на котором осуществляются выбор возможных решений и проработка концепций. Вначале разрабатывается концепция продукции, т. е. общее представление о будущей системе. Затем эта концепция уточняется через разработку концепции технологического процесса (ТП), который будет использоваться для производства данной продукции. Важно также сформировать концепцию производственной системы, чтобы определить, как будут интегрированы различные процессы и элементы для создания готового продукта. На этом этапе решается задача совместимости концепций: необходимо убедиться, что выбранные варианты реализации продукции, ТП и производственной системы могут быть успешно совмещены друг с другом. На последней стадии происходят уточнение и разработка конкретных технических решений для всех элементов. Создаются подробные схемы, чертежи, спецификации, алгоритмы и другие документы, необходимые для реализации каждого аспекта проекта.

Следование описанной схеме невозможно без организации тесной совместной работы специалистов различных областей, которые образуют кросс-функциональную команду – общность людей с высокой степенью взаимозависимости, обладающих взаимодополняющими профессиональными навыками и компетенциями [4]. Суть такой организации в том, чтобы разработчики с самого начала рассматривали весь ход работы с разных сторон, тем самым обеспечивая достижение оптимальных результатов путем объединения знаний и представлений из разных отраслей производства.

В контексте разработки РКТ примером реализации такого подхода служит участие специалистов из разных сфер ракетно-космической отрасли (инженеров-конструкторов, экспертов в области аэродинамики, термодинамики и электроники, материаловедов, системных программистов и т. д.) в формировании спецификации требований. Благодаря имеющимся теоретическим знаниям и практическому опыту такая команда будет способна проанализировать возможность создания проектируемого изделия с учетом множества факторов и ограничений. Например, при разработке космического аппарата специалисты по аэродинамике и термодинамике смогут оценить устойчивость конструкции в различных условиях полета, материаловеды – определить способность материалов выдерживать значительные термические и механические нагрузки, а системные программисты – осуществить разработку модели, симулирующей работу всей системы, включая динамику полета и реакцию на влияние внешних факторов. Такой подход позволяет на ранних стадиях проектирования спрогнозировать поведение конструкции в широком диапазоне эксплуатационных условий. Системное моделирование выявляет потенциальные критические точки проекта, которые могли бы остаться незамеченными в условиях изолированного рассмотрения отдельных аспектов.

Таким образом, к принципам организации параллельного инжиниринга можно отнести следующие аспекты:

- системный подход, при котором все составляющие проектирования рассматриваются как взаимосвязанные;
- разбиение процесса создания изделия на модули с целью одновременной работы над ними;
- синхронизация всех процессов разработки;
- тесная командная работа специалистов различных областей;
- систематическое выявление и оценка рисков на ранних этапах проекта.

Методология проектирования РКТ должна основываться на параллельном нисходящем инжиниринге, основные принципы которого включают:

- разделение процесса проектирования на этапы (эскизное и техническое проектирование, разработка рабочей документации и т. д.);
- соответствие каждому этапу специализации пользователей по ролям, по представлениям данных, по видам моделей, по правам доступа;

- наследование моделями только необходимых данных при переходе к следующему этапу;
- сохранение ассоциативной ссылочности на данные предыдущих этапов.

Использование нисходящего проектирования предполагает создание системы, состоящей из нескольких уровней и управляющей всеми ключевыми параметрами и характеристиками создаваемого изделия. В этой системе основой служат базовые модели, описывающие общую форму и структуру изделия. Информация из таких моделей, созданных на верхнем уровне, передается на следующие уровни. На каждом из них данные дополняются деталями, описывающими более точные и конкретные особенности изделия. Такой подход позволяет постепенно и последовательно формировать целостное представление о проектируемом объекте.

Стоит конкретизировать понятие «параллельности» в контексте разработки изделия, уточнив, что оно включает в себя не только одновременное выполнение различных этапов проектирования, но и проведение оценки вероятности исправной работы модели на всех этапах ее создания. Это означает, что требуется сразу проверять функционирование будущего изделия с целью минимизации рисков и повышения вероятности успеха на этапе эксплуатации. Для реализации этого аспекта можно использовать такую технологию, как имитационное моделирование, основное назначение которого заключается во внедрении реальных процессов, происходящих внутри объекта, в способную к их имитации абстрактную модель с соблюдением всех принципов функционирования оригинала. Благодаря применению данной технологии в проектировании ракетно-космических систем появляется возможность не только прогнозировать поведение изделия на разных стадиях жизненного цикла, но и проводить «виртуальные» испытания, исследуя стабильность работы устройства (например, ракеты при ее запуске) в реальных эксплуатационных условиях. Полученные эксплуатационные показатели системы позволяют сравнить изделие с альтернативными вариантами его реализации и определить, какое из разработанных решений наилучшим образом соответствует исходным требованиям.

Выделяют три вида имитационного моделирования: агентное, дискретно-событийное, системная динамика [5]. Агентное моделирование фокусирует внимание на взаимодействии некоторых «агентов» (объектов) между собой. В процессе такого взаимодействия асинхронно функционирующие «агенты» могут изме-

нять как свое поведение, так и внешнюю среду. Например, агентное моделирование позволяет воссоздать поведение определенных компонентов многоступенчатой ракеты, где «агентами» могут служить такие объекты, как топливный бак, двигатель, система управления, датчики, система отделения ступеней и т. д. Рассмотрение отдельных сценариев поведения «агентов» путем тестирования множества вариантов развития событий позволяет сделать выводы о том, какие изменения в проект потребуется внести для исключения выявленных несоответствий и неисправностей. Суть дискретно-событийного подхода заключается в описании изменений состояния системы, происходящих в дискретные моменты времени. Такой вид моделирования идеально подходит для такого сложного процесса, как, например, запуск ракеты, состоящего из множества взаимосвязанных событий: проверка исправности оборудования и готовности системы, заправка баков, запуск двигателей, отделение ступеней. Каждое из этих событий имеет свои входные и выходные условия, а также временные ограничения. Благодаря такому рассмотрению некоторой последовательности действий появляется возможность выявить слабые места системы еще задолго до проведения реальных испытаний. Системная динамика, в свою очередь, абстрагируется от отдельных объектов и событий [6] и состоит из множества положительных и отрицательных обратных связей, формирующих поведение системы. Примером такой связи может служить явление, наблюдаемое при запуске многоступенчатой ракеты, когда наиболее эффективное использование топлива происходит на последней ступени в связи с наибольшим уменьшением сопротивления среды [7]. Анализ таких взаимосвязей позволяет корректировать конструкции и характеристики изделий с учетом влияния внешних факторов на их работу. Совокупное применение каждого из видов имитационного моделирования дает возможность рассматривать глобальные взаимосвязи и поведение системы в целом.

При проектировании РКТ для выбора наиболее оптимальных вариантов параметров изделия и технологий его разработки следует применять методы теории принятия решений (ТПР). Разработка и эксплуатация РКТ характеризуются высокой сложностью и требуют учета множества факторов. ТПР позволяет систематизировать процесс выбора лучших альтернативных решений, обеспечивая баланс между качеством, надежностью и затратами. Задача исследователя, участвующего в процес-

се принятия решений, заключается в том, чтобы помочь лицу, принимающему решение, выбрать среди имеющихся альтернатив наиболее оптимальный вариант, руководствуясь некоторым набором предпочтений, который отражается функцией полезности $F(X)$ – итоговой числовой оценкой альтернативного решения X [8]. Оптимальное решение x выбирается на основе функции полезности, которая может быть задана в виде:

$$F(X) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x),$$

где α_i – весовой коэффициент для критерия i , $f_i(x)$ – функция оценки по критерию i , определяющая то, насколько альтернатива x удовлетворяет i -му критерию.

Таким образом, процесс принятия решений можно представить следующим образом [9]:

$$\{T, A, K, X, F, G, D\},$$

где T – выбор наиболее эффективного проектного решения (например, определение лучшей конструкции ступени ракеты); A – различные проектные варианты (в частности, имеющийся набор материалов для обшивки изделия); K – критерии выбора (стоимость, масса, срок службы и т. д.); X – множество методов измерения предпочтений (например, использование различных шкал); F – расчеты эффективности каждого варианта; G – система предпочтений эксперта, D – решающее правило, отражающее систему предпочтений.

Соблюдения всех стадий процесса принятия решений – от анализа ситуации и рассмотрения всех вариантов решения до выбора из них оптимального – можно добиться путем использования систем поддержки принятия решений (СППР). Концептуальная модель СППР представляет собой совокупность функциональных блоков и баз данных, определенных для анализа, оптимизации и принятия решений [9]. Так, блок интерфейса обеспечивает взаимодействие между системой и пользователем, блок анализа проблемы распознает и классифицирует текущие проблемы, а блок принятия решений формирует оптимальные решения на основе результатов анализа. В такой системе также должны содержаться модели для анализа систем, распознавания ситуаций и выдвижения гипотез о причинах возникновения конфликтных ситуаций и способах их разрешения. Для обеспечения гибкости СППР добавляется возможность ввода дополнительных алгоритмов и методов, а также включения имеющихся опи-

саний по уже известным ситуациям. Внедрение СППР в процессы проектирования РКТ позволяет не только повысить качество принимаемых решений, но и сократить время на их разработку, минимизировать риски, рационально использовать ресурсы и учитывать опыт предыдущих проектов.

Информационная поддержка процесса проектирования в принятии решений в процессе проектирования РКТ также может обеспечиваться с помощью возможностей искусственного интеллекта, используемых при разработке экспертной системы (ЭС). Экспертная система рассматривается как модель, воспроизводящая процесс мышления и принятия решений специалистов в конкретной области. Она анализирует информацию и выдает рекомендации, опираясь на заранее заданные правила и накопленные знания. Например, в контексте проведения испытаний объектов РКТ ЭС выполняет сравнение получаемых результатов с ожидаемыми и выдает пользователю данные о ходе испытаний и рекомендации о необходимости внесения управляющих воздействий [10]. Процесс принятия решений включает: анализ объекта и среды; определение текущего состояния и проблемы, а также ключевых параметров, влияющих на выбор решений; выбор подходящей модели, отражающей текущую проблему; прогнозирование поведения системы; оценку результатов. Структура ЭС состоит из четырех блоков: базы знаний, машины логического вывода, блока объяснений и интеллектуального интерфейса с пользователем [11]. Машина логического вывода – центральный компонент ЭС. Она принимает данные из базы знаний и применяет к ним заранее заданные правила, алгоритмы или модели, чтобы сформулировать полезные для решения поставленной задачи выводы. В основе работы машины логического вывода лежат различные методы, которые можно разделить на традиционные (логика предикатов, семантические сети, фреймы, продукционный вывод) и основанные на мягких вычислениях (нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети, когнитивные сети и невероятностный вывод) [10]. Использование ЭС, способной адаптироваться к изменяющимся условиям, обеспечивает гибкость и высокую интеллектуальность системы, что позволяет сократить время на оценку степени соответствия функционирования РКТ различного типа исходным представлениям о правильном поведении. Таким образом, применение ЭС в сфере проектирования РКТ может способствовать анализу различных параметров конструкции с учетом заданных

ограничений, поддержке многокритериального проектирования, получению рекомендаций на основе заранее заданных правил и баз знаний и определению альтернативных вариантов при возникновении конфликтов.

Параллельный инжиниринг требует не только использования мощных аналитических инструментов, но и обеспечения их интеграции в единую среду. Для эффективной интеграции экспертной системы, имитационных моделей и методов принятия решений в рамках единой цифровой среды проектирования важно использовать подходы, позволяющие программному обеспечению отражать реальные процессы и понятия из предметной области. Таким подходом является концептуальное программирование. Концептуальное программирование – это способ решения задач на ЭВМ, основанный на описании задачи в формализованных понятиях, достаточных для выражения смысла задачи [12]. В контексте проектирования РКТ концептуальное программирование позволяет отразить специфику предметной области, что упрощает взаимодействие между используемыми инструментами и обеспечивает более точное представление процессов. Это подразумевает подход, при котором структура программного обеспечения напрямую связана с основными понятиями проектируемой системы. В этом случае программирование происходит в терминах предметной области решаемых задач. Например, такие понятия, как «масса конструкции», «расчетная продолжительность полета», «топливный запас», могут быть представлены в виде объектов и использованы для моделирования разных сценариев событий. При этом будет обеспечена согласованность между различными этапами проектирования благодаря применению единой терминологии.

Концептуальное программирование, будучи подходом, ориентированным на представление знаний и задач предметной области, включает применение формальных моделей для эффективной работы с информацией. Среди таких моделей выделяются вычислительные модели – форма представления знаний, которая объединяет преимущества семантических сетей и абстрактных типов данных [12]. Они обеспечивают баланс между принципиальной возможностью описания задач (что характерно для семантических сетей) и эффективностью реализации (преимущество абстрактных типов). Для задач РКТ, где требуется проводить сложные вычисления, такие модели оказываются особенно полезными, так как они не только описывают связи между объектами, но и позволяют выполнять вычисления на основе этих связей.

В связи с повышенной сложностью разработки ракетно-космической техники, при которой важнейшую роль играют точность, надежность и эффективность, введение технологий параллельного инжиниринга становится неотъемлемой частью процесса проектирования. Этот аспект позволяет значительно повысить качество разрабатываемой продукции и сократить временные и финансовые издержки. Рассмотренные технологии и подходы (имитационное моделирование, теория принятия решений, экспертные системы и концептуальное программирование) демонстрируют значительный потенциал для оптимизации процессов проектирования и испытаний. В совокупности они предоставляют возможность создавать аналоги систем, проводить их тестирование в условиях, приближенных к реальным, выявлять слабые места устройств на ранних стадиях разработки, систематизировать процесс выбора проектных решений с учетом множества критериев и обеспечивать интеллектуальную поддержку на всех этапах, при этом будучи интегрированными в единую цифровую среду, отражающую концепции и терминологию предметной области.

Библиографический список

1. Камалов Л. Будущее САПР: Concurrent Engineering. URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=13836 (дата обращения: 19.10.2024).
2. Побирский Е. Ю., Галаев А. С., Филимонов И. С. Управление жизненным циклом изделия в производстве ракетно-космической техники // Решетневские чтения. 2012. Т. 2. С. 633–634.
3. Сенько В. В. Системы автоматизированного проектирования СЭС: учеб. пособие. 2-е изд. Тольятти: ТГУ. 2011. С. 44.
4. Калабина Е. Г., Беляк О. Ю. Кросс-функциональные команды как инструмент развития знаниевого потенциала компании // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. 2020. № 19(3). С. 336–361.
5. Белов А. Г., Моисеев С. А., Григорьев А. В. Методы имитационного моделирования // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2014. Т. 1. С. 277–279.
6. Улыбин А. В., Арзамасцев А. А. Мультиагентный подход в имитационном моделировании // Вестник ТГУ. 2010. Т. 15, вып. 5. С. 1470–1471.
7. Кобелев В. Н. Основы теории полета ракет: лекции. URL: https://www.researchgate.net/publication/342451894_OSNOVY_TEORII_POLETA_RAKET_Lekcii (дата обращения: 17.11.2024).

8. *Иванов А. В., Корячко В. П., Сериков С. А.* Анализ влияющих факторов и построение системы поддержки принятия решений при испытании РКТ на основе многокритериальной оптимизации // Цифровая обработка сигналов. 2010. № 3. С. 13–16.

9. *Рогозин О. В.* Математические основы теории принятия решений // Школьные технологии. 2012. № 1. С. 133–141.

10. *Лоскутов А. И., Сирота С. В., Сакулин А. Н.* Совершенствование с помощью экспертной системы испытаний объектов ракетно-космической техники // Проблемы управления. 2011. № 4. С. 68–73.

11. *Анисимова Э. С.* Экспертные системы // Экономика и социум. 2015. № 3(16). С. 7–10.

12. *Тыгуз Э. Х.* Концептуальное программирование. М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит., 1984. 256 с.

УДК 519.711.2

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-142-145

М. Д. Поляк*

старший преподаватель

Е. М. Глушкова*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКАР ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЙ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Рассматривается подход к изучению реакции замкнутой системы на внешние воздействия с помощью методов синергетической теории управления, в частности с помощью метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов. Сформулирована задача управления численностью фитопланктона с помощью внешнего воздействия на количество питательных веществ, получена открытая модель, учитывающая различные сценарии управления.

Ключевые слова: NPZ model, nutrient, phytoplankton, zooplankton, аналитическое конструирование агрегированных регуляторов, АКАР, синергетическая теория управления.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-29-00336).

М. D. Polyak*

Senior Lecturer

E. M. Glushkova*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

APPLICATION OF THE ADAR METHOD FOR DESCRIBING EXTERNAL FORCES IN A CLOSED AQUATIC ECOSYSTEM MODEL

The paper discusses an approach to studying the response of a closed system to external forces using methods of synergetic control theory, specifically through the method of analytical design of aggregated regulators. The task of controlling phytoplankton abundance through external forces on nutrient levels is formulated, resulting in an open model that accounts for various control scenarios.

Keywords: NPZ model, nutrient, phytoplankton, zooplankton, analytical design of aggregated regulators, ADAR, synergetic control theory.

Введение

В последние десятилетия уровень эвтрофикации водоемов неуклонно увеличивается. Это подтверждается различными исследованиями воды Балтийского моря [1; 2], которые показывают, что эвтрофикация приводит к повышенному содержанию питательных веществ, таких как азот и фосфор. Это, в свою очередь, вызывает цветение некоторых видов фитопланктона, что негативно сказывается на экологическом состоянии водоема. Цветение наносит ущерб рыболовству, туристической отрасли и жителям прибрежных районов. Оценка масштабов цветения, а также определение продолжительности его роста и угасания являются важными задачами в области охраны окружающей среды.

Математическая модель

В данной работе за основу взята математическая модель «питательные вещества, фитопланктон, зоопланктон» (nutrient, phytoplankton, zooplankton – NPZ), описанная в работах [3–5]. Модель имеет следующий вид формула (1): где V_m – максимальная скорость роста фитопланктона, $N(t)$ – концентрация растворенных питательных веществ, k_s – постоянная полунасыщения питательными веществами, $P(t)$ – размер популяции фитопланктона, m – скорость вымирания фитопланктона, $Z(t)$ – размер популяции зоопланктона, γ – эффективная скорость вымирания зоопланктона, R_m – максимальная скорость выедания зоопланктоном фитопланктона, Λ – постоянная Ивлева, d_1 – уровень смертности зоопланктона.

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = \frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) - mP(t) - P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}); \\ \frac{dZ(t)}{dt} = (1 - \gamma)P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}) - d_1 Z(t); \\ \frac{dN(t)}{dt} = -\frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) + mP(t) + d_1 Z(t) + \gamma P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}) \end{cases} \quad (1)$$

Система (1) описывает следующие взаимосвязанные процессы:

- $V_m N(t)P(t)(k_s + N(t))^{-1}$ – рост численности фитопланктона за счет поглощения питательных веществ (модель Михаэлиса – Ментен),
- $P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)})$ – выедание фитопланктоном зоопланктона,
- $d_1 Z(t)$ – смертность зоопланктона,
- $mP(t)$ – смертность фитопланктона.

Предполагается, что система (1) является замкнутой и количество питательных веществ постоянно. При разложении погибшего фито- и зоопланктона питательные вещества возвращаются обратно в систему. В этом случае выполняется соотношение

$$P + Z + N = N_t \quad [3],$$

где N_t – общее количество питательных веществ в системе. В этом смысле $P(t)$ и $Z(t)$ стоит трактовать как размеры популяций, выраженные через питательные вещества, а не конкретное количество особей каждого вида. Под понятием «питательные вещества» в модели понимается обобщение в рамках одной переменной информации о концентрации множества растворенных в воде биогенных элементов, необходимых для развития фитопланктона, таких как азот, фосфор, углерод и др.

Синергетическая теория управления

Модели сложных динамических систем принято разделять на открытые и закрытые. Открытые системы взаимодействуют с окружающей средой, тогда как закрытые изолированы. С одной стороны, реальные биологические системы являются открытыми, так как в них постоянно идет процесс обмена веществами с окружающей средой. С другой стороны, модели, используемые для описания подобных систем, часто упрощают действительность, игнорируя некоторые внешние факторы и сосредотачиваясь на внутренних механизмах, таких как динамика популяций и ее зависимость от

параметров системы. Такие модели можно считать условно замкнутыми, но важно помнить, что даже внутренние процессы могут быть связаны с внешними воздействиями.

Указанная условность может быть устранена путем применения методов синергетической теории управления (СТУ), позволяющей исследовать реакцию замкнутой системы на то или иное внешнее воздействие. В основе СТУ лежат принципы получения управляемых регуляторов и алгоритмов адаптации, рассмотренные в работах А. А. Колесникова [6–8]. Наиболее распространенный метод СТУ – метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР).

Основная задача метода АКАР – определение такого закона управления, который может обеспечить переход изображающей точки объекта (далее по тексту ИТ), которая отражает текущее значение агрегированной переменной на фазовой плоскости, из исходного состояния в поле целевого многообразия $\psi_k = 0$ и вместе с этим обеспечивает устойчивое удержание объекта ИТ в этом поле.

Искомый закон управления синтезируется на решениях функционального уравнения Эйлера – Лагранжа

$$T_k \psi_k(t)/dt + j(\psi_k(t)) = 0,$$

где $j(\psi_k(t))$ – непрерывная, дифференцируемая функция для всех значений аргумента ψ_k .

Рассмотрим задачу управления объектом (1) с использованием методов СТУ. Целевую макропеременную зададим в виде

$$\psi_k(t) = P(t) - P^* \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow \infty,$$

где P^* – некоторое постоянное значение численности фитопланктона, к которому функция $P(t)$ должна стремиться [9–11]. Управляющее воздействие зададим в виде функции $u(t)$, добавив ее аддитивно в правую часть уравнения $N(t)/dt$ системы (1).

Применяя метод АКАР, получим открытую модель биологической системы, формула (2), где T_1, T_2 – параметры управления.

$$\begin{cases}
\frac{dP(t)}{dt} = \frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) - mP(t) - P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}); \\
\frac{dZ(t)}{dt} = (1 - \gamma)P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}) - d_1 Z(t); \\
\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) + mP(t) + d_1 Z(t) + \gamma P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}) + u(t); \\
u(t) = -\frac{\psi}{T_1} - \frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) + mP(t) + d_1 Z(t) + (1 - \gamma)P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)}) + \varphi(t); \\
\psi(t) = P(t) - P^*; \quad \psi^I(t) = N(t) - \varphi(P(t)); \\
\varphi(t) = \ln \left(1 - \frac{d_1 Z(t) - \psi}{T_2 \gamma P(t) Z(t) \Lambda R_m} \right) (-\Lambda)^{-1}; \\
\frac{d\varphi(t)}{dt} = \varphi(t) \frac{V_m N(t)}{k_s + N(t)} P(t) - mP(t) - P(t)Z(t)\Lambda R_m (1 - e^{-\Lambda P(t)})
\end{cases} \quad (2)$$

Положительное управление в модели (2) может быть интерпретировано как увеличение сброса в водоем биогенных элементов (например, в составе сточных вод), а отрицательное – как применение механических и химических средств очистки воды от избытка биогенов.

Компьютерное моделирование

Моделирование осуществлялось в пакете MatLab со следующими параметрами: $V_m = 1$, $k_s = 1$, $m = 0,1$, $d_1 = 0,2$, $\gamma = 0,3$, $R_m = 1,5$, $L = 1$, начальными значениями $N(0) = 1,6$, $P(0) = 0,3$, $Z(0) = 0,2$ и параметрами управления $T_1 = 1$, $T_2 = 1$ и $P^* = 0,35$.

Результаты моделирования приведены на рис. 1 и 2. Как видно из рис. 1, управляемая система устойчива, заданная цель по макропеременной ψ достигается. Устойчивость системы в новом состоянии подтверждается также графиком управляющего воздействия, которое, как видно из рис. 2, со временем стремится к нулю. Из этого следует, что для нахождения системы в целевом состоянии не требуется внешнее воздействие, а значит, это состояние является устойчивым.

По итогам моделирования видно, что при избытке питания и незначительной разнице между начальной численностью фитопланктона $P(0)$ и целевым значением P^* в модели (2) про-

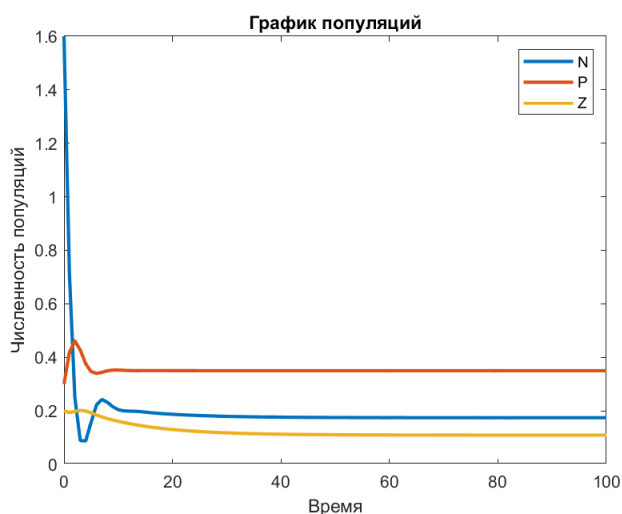


Рис. 1. Динамика популяций во времени, рассчитанная для модели (2)

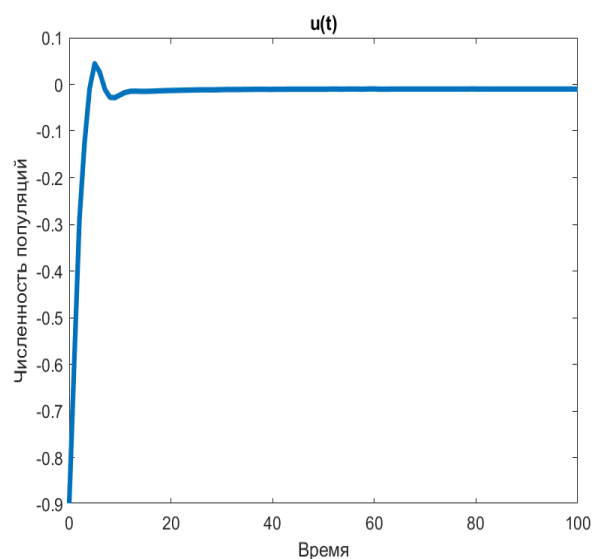


Рис. 2. Изменение управляющего воздействия, рассчитанное для модели (2)

исходит коррекция излишнего питания (управление на рис. 2 в начале отрицательно, а численность фитопланктона ненадолго уходит выше целевого уровня), после чего система приходит в устойчивое состояние.

Заключение

В данной работе показан процесс перевода закрытой (замкнутой) динамической системы в открытую, подверженную воздействию внешней силы. Управляющее воздействие (регулятор) найдено аналитически по методу АКАР. Корректность построенной модели подтверждается результатами компьютерного моделирования.

Библиографический список

1. Overview of trends in plankton communities / P. Licandro, E. Head, A. Gislason [et al.] // ICES. 2011. P. 103–122.
2. Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe / B. Karlson, P. Andersen, L. Arneborg [et al.] // Harmful algae. 2021. Vol. 102. P. 101989.
3. Franks P. J. S., Wroblewski J. S., Flierl G. R. Behavior of a simple plankton model with food-level acclimation by herbivores // Marine Biology. 1986. Vol. 91. P. 121–129.
4. Miller C. B., Wheeler P. A. Biological Oceanography. Second Ed. Wiley-Blackwell, 2012.
5. Lévy M. Exploration of the critical depth hypothesis with a simple NPZ model // ICES Journal of Marine Science. 2015. Vol. 72(6). P. 1916–1925.
6. Колесников А. А., Колесников А. А., Кузьменко А. А. Методы АКАР и АКОР в задачах синтеза нелинейных систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 17(10). С. 657–669.
7. Колесников А. А. Синергетика и проблемы теории управления. М.: Физматлит, 2004. 504 с.
8. Колесников А. А. Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ; М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.
9. Щеголева А. А., Поляк М. Д. Модель «хищник-жертва с питанием» // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах'21: Междунауч. науч. конф.: сб. докл., СПб., 14–22 апр. 2021 г. СПб.: ГУАП, 2021. С. 86–91.
10. 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, 10–12 дек. 2019 г. Vol. 459, 3, Chapter 2. Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 032072.
11. Щеголева А. А., Поляк М. Д. Моделирование состояния экосистемы с использованием стохастических возмущений на примере трехкомпонентной системы токсичного и нетоксичного фитопланктона // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. СПб., 2024. Т. 1. С. 524–526.

УДК 378.1:004.9

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-146-151

Н. В. Путилова*

старший преподаватель

А. В. Туманова*

кандидат технических наук, доцент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММОЙ С ПОДДЕРЖКОЙ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются проблемы автоматизации управления образовательной программой высшего образования, определяются требования к системе разработки общей характеристики образовательной программы. Предложены модель базы данных и архитектура системы, удовлетворяющей данным требованиям.

Ключевые слова: организация образовательного процесса, высшее образование, руководитель образовательной программы, общая характеристика образовательной программы, базы данных, автоматизация, современные образовательные технологии.

N. V. Putilova*

Senior Lecturer

A. V. Tumanova*

PhD, Tech., Associate Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

AUTOMATION OF EDUCATIONAL PROGRAM MANAGEMENT WITH SUPPORT OF MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

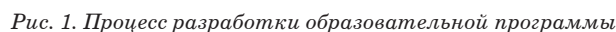
The article discusses the problems of automating the management of an educational program of higher education and defines the requirements for the system for a general characteristics of the educational program design. A database model and system architecture that meets these requirements are proposed.

Keywords: educational process organization, higher education, head of educational program, general characteristics of the educational program, modern educational practices, automation.

Автоматизация организации образовательного процесса – довольно трудоемкая задача. В первую очередь это связано с тем, что образовательный процесс достаточно длителен и распределен по различным подразделениям с вовлечением большого количества исполнителей. Это часто приводит к проблемам управления и распределения ответственности. Автоматизация образовательного процесса чаще всего выполняется в рамках ответственности одного подразделения или одного процесса. Дополнительные сложности связаны с постоянным обновлением образовательных технологий и различных требований Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России). При планировании образовательного процесса одну из основных ролей играет образовательная программа (ОП). Образовательная программа – это комплекс основных характеристик образования, определяющих объем, содержание и планируемые результаты образования,

а также организационно-педагогических условий. С недавнего времени в работе с ОП важную роль стал играть руководитель образовательной программы (РОП). В зависимости от организации учебного процесса в вузе ему приписываются различные функции [1–3], однако основной считается функция управления содержанием образовательной программы. В ОП входят учебный план, календарный учебный график, рабочие программы учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей) и практик, оценочные и методические материалы, общая характеристика (ОХ) ОП, программа государственной итоговой аттестации (ГИА), рабочая программа воспитания и календарный план воспитательной работы, по решению вуза могут входить и другие документы.

Над разработкой и реализацией ОП работают различные подразделения (такие как учебно-методический отдел, кафедры и деканаты) и отдельные люди, однако большая часть раз-



Таким образом, систему явно можно разделить на систему мониторинга ОП, систему разработки ОХ, систему актуализации профессиональных стандартов. В данной статье наибольшее внимание будет уделено системе разработки ОХ.

При проектировании системы автоматизированной разработки ОХ можно выделить следующие проблемы:

- общая характеристика должна содержать четко регламентированные параметры образовательной программы, при этом также может содержать любые не оговоренные заранее свойства ОП, способные стать конкурентным преимуществом при выборе ОП;

- некоторые элементы ОХ могут представлять собой данные, представленные в различных форматах (текст в свободной форме, таблицы, изображения, дополнительные файлы);

- общая характеристика должна поддерживать работу с современными образовательными технологиями, включая сетевую форму реализации ОП, индивидуальные образовательные траектории, компетенции будущего, дополнительные квалификации и др.;

- часть информации, прописанной в ОХ, является ограниченной по срокам действия, которые также необходимо хранить, несмотря на то, что они непосредственно элементами ОХ не являются;

- для элементов ОХ с заданными сроками действия должна отслеживаться их актуальность на всем протяжении жизненного цикла ОП;

- для регламентированных элементов ОХ необходимо отслеживать корректность структуры и непротиворечивость данных;

- необходима регулярная актуализация перечня профессиональных стандартов с официального сайта <https://profstandart.rosmintrud.ru/> [4].

Определим составляющие ОХ, которые необходимо проверять на соответствие параметрам ФГОС и нормативным документам Минобрнауки России:

- наименования укрупненной группы направлений подготовки и специальностей;

- уровень высшего образования;

- наименования направлений подготовки и специальностей высшего образования, даты утверждения ФГОС;

- квалификации выпускника;

- перечень формируемых у выпускника универсальных и общепрофессиональных компетенций;

- форма обучения;

- срок получения образования;

- объем образовательной программы в зачетных единицах;

- структура программы бакалавриата, специалитета или магистратуры;

- объем обязательной части, без учета объема ГИА;

- области и сферы профессиональной деятельности;

- типы задач профессиональной деятельности;

- количество экземпляров одного печатного издания на одного обучающегося при использовании в образовательном процессе печатных изданий;

- процент численности педагогических работников, участвующих в реализации ОП, ведущих научную, учебно-методическую и (или) практическую работу, соответствующую профилю преподаваемой дисциплины;

- процент численности педагогических работников, участвующих в реализации ОП, являющихся руководителями и (или) работниками иных организаций, осуществляющими трудовую деятельность в профессиональной сфере, соответствующей профессиональной деятельности, к которой готовятся выпускники;

- процент численности педагогических работников и лиц, привлекаемых к образовательной деятельности, имеющих ученую степень или звание.

К неограниченным стандартам требованиям можно отнести поддержку сетевых форм обучения, индивидуальных образовательных траекторий, компетенций будущего, применение электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, различные формы взаимодействия с работодателями и индустриальными партнерами. Также в общей характеристике могут быть отражены параметры материально-технического обеспечения. На основе выбранных профессиональных стандартов (обобщенных трудовых функций/трудовых функций), анализа опыта (анализ требований рынка труда) РОПы формируют перечень профессиональных компетенций (ПК) выпускников и индикаторы их достижения.

Поскольку система предназначена для мониторинга и управления, важное место в ней занимает разделение сфер ответственности за разные действия. Для работы системы необходимы следующие роли пользователей: проректор по образовательным технологиям и инновационной деятельности, заведующий кафедрой, руководитель образовательной программы, сотрудник учебно-методического отдела, робот для обновлений. Заведующий кафедрой имеет следующие функции: создание новой образовательной программы кафедры, назначение РОП и ответственных за ОП кафедры, просмотр элементов ОП кафедры, проверка состояния ОП кафедры в целом, провер-

ка состояния элементов ОП, утверждение элементов ОП, в которых кафедра выступает в качестве реализующей. Проректор по образова-

тельным технологиям и инновационной деятельности обладает функциями мониторинга и проверки состояния ОП всего вуза. Руководи-

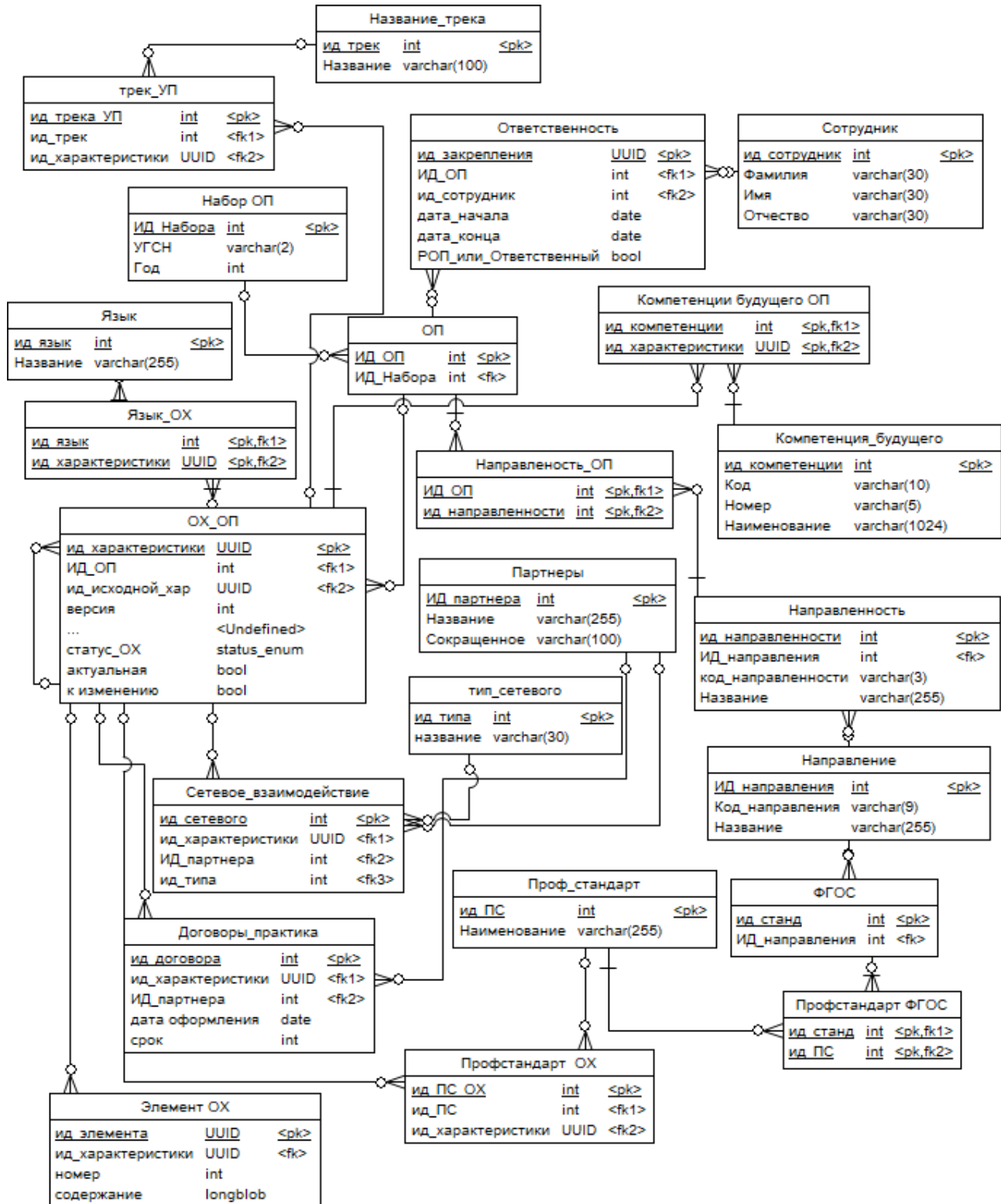


Рис. 2. Фрагменты физической модели базы данных общих характеристик с поддержкой современных образовательных технологий

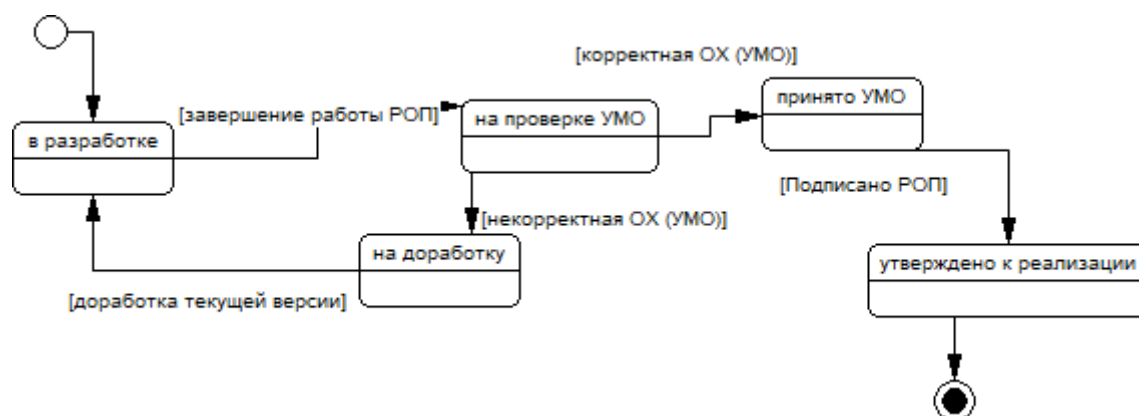


Рис. 3. Диаграмма состояний общей характеристики

тель образовательной программы выполняет следующие функции: создание, удаление и редактирование элементов ОП, отправка составляющих ОП (ОХ, учебный план и т. д.) на проверку в учебно-методический отдел путем предоставления соответствующего статуса элемента ОП, утверждение элементов ОП.

Робот для обновлений выполняет плановое обновление локальной базы профессиональных стандартов с сайта и изменяет статус затронутых изменениями ОХ и ОП на «требующий доработку по причине изменений требований».

Требования четко регламентированных параметров и необязательной структуры ставят вопрос о модели данных используемой СУБД: документные СУБД хорошо работают с произвольными структурами данных, но поддержание корректности и целостности данных и структур реализуется только в рамках приложения, при этом использование реляционной базы данных позволяет переложить на СУБД отслеживание корректности хорошо структурируемых параметров, но плохо работает с произвольными структурами. Так как количество регламентированных параметров достаточно велико, целесообразнее использовать реляционную базу данных, реализуя гибкость структуры за счет соответствующей схемы базы данных, фрагменты которой изображены на рис. 2.

На данной модели базы данных все регламентированные составляющие общей характеристики вынесены в отдельные таблицы и приведены к третьей нормальной форме, что позволяет переложить на СУБД основную часть проверок. Нерегламентированные составляющие вынесены в отдельную таблицу «Элемент ОХ» и позволяют сохранять содер-

жимое элемента в формате бинарной строки, подходящем для любого типа данных, включая прикрепление различных файлов. Поддержка версий в системе реализована за счет специфической структуры хранения ОХ: сочетания использования параметра актуальности ОХ, статусов ОХ, ссылок на ОХ, исходную для данной характеристики. Общая характеристика может иметь один из следующих статусов: в разработке, на проверке УМО, на доработку, принято УМО, утверждено к реализации. Правила перехода между этими состояниями отображены на рис. 3.

После того как ОХ утверждается к реализации, она может быть выложена на сайт и служить основой для других составляющих ОП и получает признак актуальной (текущей) версии. Утвержденная к реализации общая характеристика не меняется. В случае если после утверждения общую характеристику необходимо доработать, по инициативе РОПа в связи с новыми условиями реализации ОП, такими как, например, заключение новых сетевых договоров, или после того как профессиональные стандарты, связанные с ОП, утратили актуальность, на основе дорабатываемой ОХ создается ее новая версия. Это позволяет всегда иметь актуальную версию ОХ на сайте, но при этом отслеживать изменения.

Разработанная система удовлетворяет выявленным требованиям и позволяет упростить работу с ОП и мониторинг ее состояния. В следующей версии системы целесообразно добавить дополнительный модуль управления материально-техническим обеспечением ОП. Также необходимо предусмотреть вопросы цифровой подписи утверждений различных элементов ОП и их юридических обоснований.

Библиографический список

1. Черницов А. Е., Лаврентьева А. К. Руководитель образовательных программ современного вуза: должность, позиция, функции // Друкеровский вестник. 2023. № 2(52). С. 106–112.

2. Исаева Э. Л. Актуальные аспекты в управлении образовательными программами // Экономические и гуманитарные исследования регионов. 2021. № 2. С. 57–59.

3. Рябухин П. Б. Поиск решения вопроса автоматизации процесса обеспечения образовательных программ материально-техническими средствами // Проблемы высшего образования. 2018. № 1. С. 187–191.

4. Профессиональные стандарты. URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru/> (дата обращения: 26.11.2024).

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-152-154

С. А. Рогачев

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Представлен подход к автоматизированному расчету температуры земной поверхности по данным аэрокосмического мониторинга. Описаны схема и технологии, использованные при разработке программного модуля, реализующего расчет температуры земной поверхности, а также визуализацию полученных результатов. Приводятся выводы о дальнейшем развитии модуля.

Ключевые слова: температура земной поверхности, визуализация.

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».

S. A. Rogachev

Senior Lecturer

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR CALCULATING AND VISUALIZING THE TEMPERATURE OF THE EARTH'S SURFACE

The paper describes an approach to calculating the earth's surface temperature based on the aerospace Triptych data. The paper describes the scheme and technologies used in developing a software module that calculates the earth's surface temperature, as well as visualization of the results obtained. Conclusions are provided on the prospects for developing the module.

Keywords: land surface temperature, visualization.

Температура поверхности Земли (LST – Land Surface Temperature) – важный параметр, который используется в различных областях, включая метеорологию, экологию, агрономию и управление природными ресурсами. С ростом доступности данных, получаемых с помощью спутниковых систем, возрастает необходимость в эффективных методах их обработки и визуализации. Одним из наиболее мощных инструментов для работы с геопространственными данными является QGIS, который предоставляет возможность применять цветовые карты для наглядного представления значений LST. В данной статье представлен подход разработки программы на Python, которая автоматизирует расчет LST и процесс применения цветовых карт QGIS к полученным данным, что позволит существенно упростить анализ и визуализацию данных [1].

Для составления тепловых карт полигона (расчета LST) могут использоваться данные космических аппаратов (КА) группировки

Landsat. Расчет температуры земной поверхности по данным спутников Landsat-8,9 возможен благодаря наличию инфракрасных каналов (канал 10 и канал 11). Они специально предназначены для измерения теплового излучения от земной поверхности. Космические аппараты Landsat-8, Landsat-9 имеют пространственное разрешение 100 м для инфракрасных диапазонов спектра [2]. Это позволяет получать детализированные данные о температуре поверхности в пределах небольших участков земли, что делает возможным анализ изменений температуры на локальном уровне. Данные КА Landsat-8, Landsat-9 могут быть интегрированы с другими спутниковыми данными и наземными наблюдениями для более глубокого анализа и верификации результатов.

На рис. 1 представлена общая схема расчета температуры земной поверхности LST, по данным космического аппарата Landsat-8 [3; 4]. В схеме использованы следующие обозначения:



Рис. 1. Схема расчета температуры земной поверхности (LST) по данным KA Landsat-8

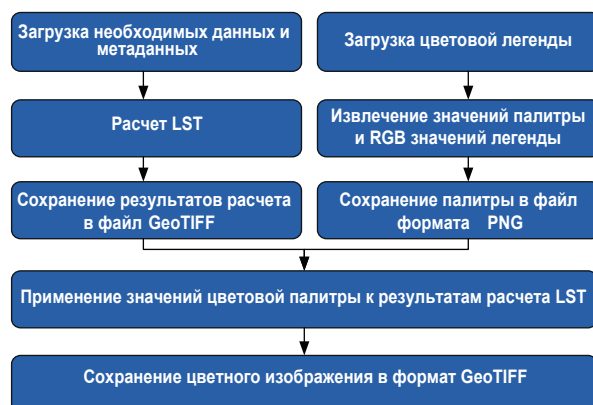


Рис. 2. Обобщенная схема работы программного модуля

– Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормализованный разностный вегетационный индекс;

– Land Surface Emissivity (LSE) – коэффициент отражательной способности земной поверхности;

– Land Surface Temperature (LST) – температура земной поверхности.

Для разработки программы был выбран стек технологий, который включает следующие компоненты:

– Python – язык программирования, обладающий широкими возможностями для работы с данными и интегрированный в QGIS;

– rasterio – библиотека для работы с растровыми данными, которая позволяет считывать и записывать геопространственные данные в различных форматах, включая GeoTIFF;

– numpy – библиотека для работы с многомерными массивами, обеспечивающая эффективные математические операции, необходимые для обработки данных (в том числе больших изображений);

– matplotlib – библиотека для визуализации данных, которая предоставляет инструменты для работы с цветами и цветовыми картами;

– argparse – библиотека для обработки аргументов командной строки, позволяющая пользователю задавать необходимые параметры при запуске программы.

На рис. 2 представлена обобщенная схема работы программного модуля. На вход программе подается адрес директории, содержащей файлы аэрокосмического изображения, полученного с KA Landsat-8. Программа самостоятельно выбирает необходимые данные (каналы изображения), а также осуществляет поиск необходимой информации в файле с метаданными (мультипликативный коэффициент, аддитивный коэффициент, тепловые константы).

Также на вход программного модуля подается адрес цветовой палитры в формате QGIS.

Программа, в соответствии со схемой на рис. 1, осуществляет расчет LST и сохраняет полученный результат в указанную директорию в формате GeoTIFF (формат изображения, имеющего геопространственную привязку). Данный результат уже можно самостоятельно загрузить в геоинформационный проект QGIS и применить к нему цветовую палитру (в виде стиля). Однако для осуществления оперативного анализа полученных результатов (без использования стороннего программного обеспечения), а также использования результатов в презентационных материалах программа осуществляет построение визуальной легенды на основе предоставленной цветовой палитры. Файл цветовой легенды сохраняется в директорию с исходным изображением в формате PNG, также программа применяет полученную цветовую палитру к полученным ранее результатам расчета LST и сохраняет цветной файл (в цветах соответствующих легенде) в формате GeoTIFF в исходную директорию.

На рис. 3 приведены файлы, которые были получены в результате работы программного модуля: а) результат расчета LST; б) результат расчета LST с примененной палитрой; в) полученная цветовая легенда к цветовой палитре.

Стоит отметить, что пиксели изображения результата расчета LST (одноканальное изображение) содержат значения рассчитанной температуры, в то время как пиксели изображения с примененной цветовой палитрой (трехканальное изображение) содержат только значения, соответствующие цветам из легенды, т. е. не могут быть использованы для дальнейшей работы с температурой.

Полученные данные позволяют осуществлять оперативный анализ результатов обра-

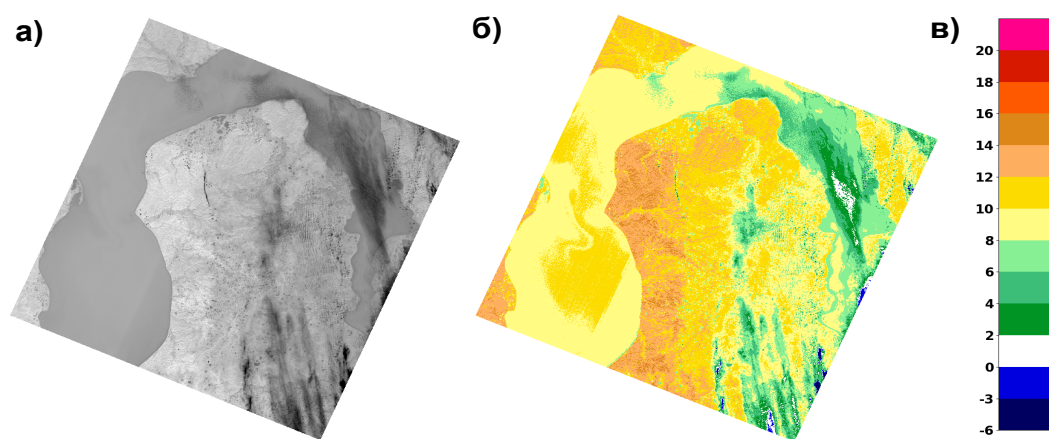


Рис. 3. Результаты работы программного модуля

ботки аэрокосмических изображений. Существует ряд направлений для дальнейшего развития модуля: разработка графического интерфейса; адаптация модуля к потоковой обработке аэрокосмических изображений; оптимизация производительности; интеграция с другими модулями (например, автоматизированной публикации материалов на геопортале [5; 6]).

Библиографический список

1. Documentation // QGIS. URL: <https://www.qgis.org/resources/hub/> (дата обращения: 24.11.2024).
2. Landsat Missions // United States Geological Survey. URL: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (дата обращения: 24.11.2024).
3. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 89. P. 467–483.
4. Юрченко А. Е., Рогачев С. А. Разработка программного модуля мониторинга температуры водной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах' 22: сб. докл. Второй Междунар. науч. конф., СПб., 11–15 апр. 2022 г. СПб.: ГУАП, 2022. С. 133–137.
5. Рогачев С. А., Матьяш В. А. Веб-картография. Представление разнородной пространственной информации // Труды СПИИРАН. 2013. № 6(29). С. 132–143.
6. Чичкова Е. Ф., Кочин Д. А., Рогачев С. А. Информационно-аналитический сервис: подход к анализу геопространственных данных спутникового мониторинга // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 4. С. 375–379.

УДК 004.932

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-155-158

Я. О. Сениченкова*

студент

М. Д. Поляк*

старший преподаватель

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АНАЛИЗ ВРЕДОНОСНЫХ АТАК МЕТОДОМ БЕЛОГО ЯЩИКА НА НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТИПА МУСОРНОГО БАКА

Рассмотрены способы генерации вредоносных атак, которые относятся к атакам типа белого ящика, на нейросетевую модель. Для проведения атаки были сгенерированы вредоносные входные данные, на основе которых модель, решающая задачу классификации, совершает ошибку и неверно определяет класс изображения.

Ключевые слова: компьютерное зрение, кибератаки.

Ya. O. Senichenkova*

Student

M. D. Polyak*

Senior Lecturer

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYSIS OF WHITE-BOX ATTACKS ON A NEURAL NETWORK CLASSIFIER FOR DETERMINING DUMPSTER TYPE

The paper examines methods for generating malicious attacks classified as white-box attacks on a neural network model. Malicious input data was generated to conduct the attack, causing a classification model to make an error and incorrectly determine the class of an image.

Keywords: computer vision, cyberattacks.

Введение

Нейросетевые модели становятся неотъемлемой частью многих IT-продуктов, что привело к появлению нового направления кибератак. Злоумышленники пытаются обмануть нейросети при помощи вредоносных входных данных, которые кажутся человеку безобидными. Например: наложение заплаток, не слышимых человеческим ухом, на аудиозапись [1], наложение шума на изображения [2] (рис. 1).

Перечисленные способы относятся к созданию цифровых искажений, но также существуют атаки, осуществляемые в физическом мире. Ярким примером служит опыт, проведенный авторами статьи [3]: на 3D-принтере была распечатана вредоносная модель черепахи. На рис. 2 в красных рамках представлены фотографии вредоносной черепахи, которая была распознана как винтовка.

В рамках данной публикации будут изучены способы атак на нейросетевую модель, которая была разработана авторами статьи в работах [4; 5]. В данной публикации не рассматриваются атаки в физическом мире. Атаки были сгенерированы при помощи python-библиотеки foolbox [6].

Целевая атака

Под целевой атакой подразумевается атака, которая превращает изображение в глазах нейросети в изображение определенного класса. Один из таких методов называется Carlini&Wagner Approach [7]. На рис. 3 представлены изображения до атаки, после нее и наложенный шум на первые изображения.

Опыт с данным методом был повторен, но в качестве целевого класса был выбран класс «Неизвестный бак». Фотографии после обработки и наложенный шум представлены на рис. 4.

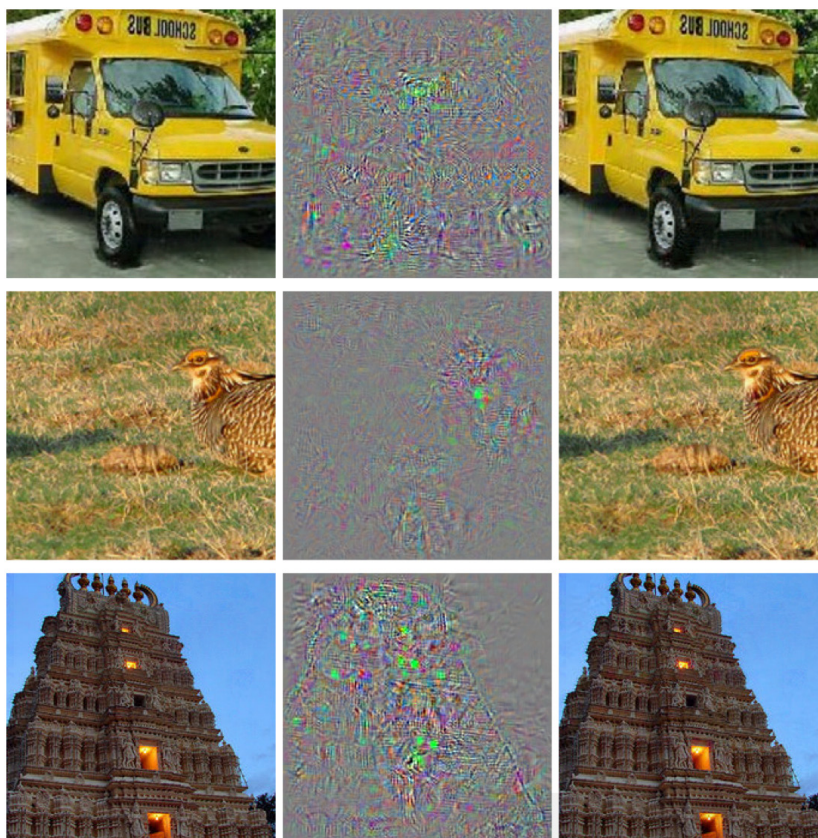


Рис. 1. Пример влияния искажений входных данных на классификацию.
Слева – исходные изображения, справа – изображения с наложенными искажениями,
представленными по центру. Изображения справа были ошибочно отнесены к классу «страус» в работе [2]



Рис. 2. Изображения вредоносной фигурки черепахи

Можно обратить внимание, что изображения после обработки практически идентичны изображениям до обработки. Изменения крайне мелкие и часто даже незаметны человеческому глазу, что и является целью злоумышленника.

Нецелевая атака

Не всегда злоумышленнику необходимо добиться конкретного предсказания от модели. Иногда задача заключается в том, что необо-



Рис. 3. Вредоносное изменение изображений мусорных баков при помощи метода Carlini&Wagner Approach

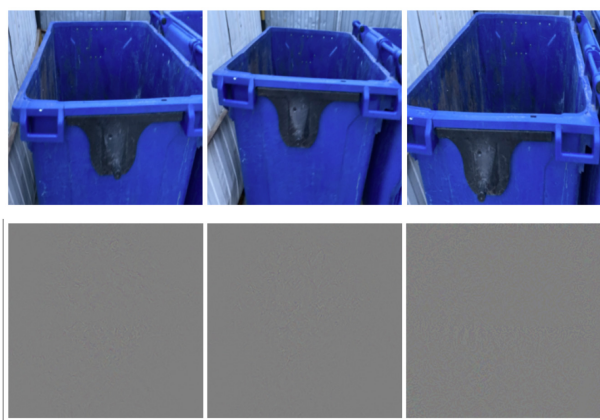


Рис. 4. Вредоносное изменение изображений мусорных баков при помощи метода Carlini&Wagner Approach

димо, чтобы модель не предсказала истинный класс, причем предсказанный класс абсолютно не важен. Перед проведением опыта при помощи методов, встроенных в библиотеку foolbox, была оценена метрика ассигура модели на выборке, состоящей из 10 изображений. Итоговая точность составила 90%. В качестве нецелевой атаки была выбрана вариация атаки Deep Fool [8]. После проведения атаки все 10 изображений были вновь пропущены через нейросетевую модель. Значение ассигуры упало до 0%. Изображения, полученные после применения

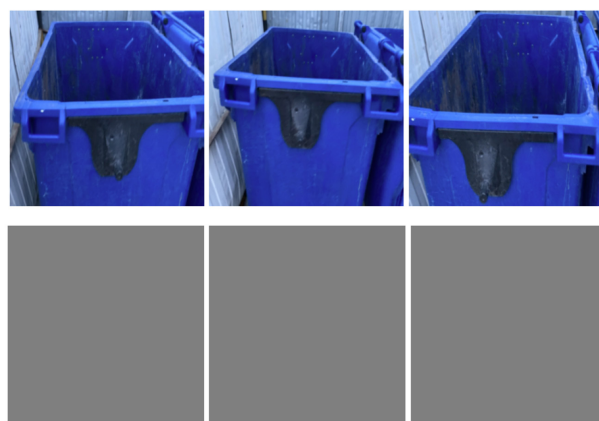


Рис. 5. Вредоносное изменение изображений мусорных баков при помощи метода Deep Fool

метода, и наложенные на них шумы представлены на рис. 5.

Заключение

Были выявлены уязвимости нейросетевой модели, разработанной в [4]. Это является угрозой безопасности в случае встраивания нейросетевой модели в сервис, который собирает заявки на жалобы на несвоевременный вывоз мусора: злоумышленники могут посылать ложные вызовы на вывоз мусора. Однако стоит отметить, что вероятность использования злоумышленником описанных методов в реальной жизни маловероятна, поскольку данные подходы относятся к подходам белого ящика (т. е. предполагается, что у злоумышленника есть доступ к весам нейросетевой модели). Также, вероятнее всего, злоумышленник будет создавать атаки в физическом мире, а не генерировать шумы на изображении. Однако стоит отметить, что цифровые атаки несут большую опасность в связи с тем, что человек часто не способен отличить вредоносное изображение от обычного, что может скрыть факт проведения атак на модель.

Библиографический список

1. Carlini N., Wagner D. Audio adversarial examples: Targeted attacks on speech-to-text // 2018 IEEE security and privacy workshops (SPW). 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1801.01944> (дата обращения: 01.12.2024).
2. Szegedy C. Intriguing properties of neural networks // arXiv preprint arXiv:1312.6199. 2013.
3. Synthesizing robust adversarial examples / A. Athalye, L. Engstrom, A. Ilyas, K. Kwok //

International conference on machine learning. 2018. P. 284–293. URL: <https://arxiv.org/abs/1707.07397> (дата обращения: 01.12.2024).

4. Сениченкова Я. О., Поляк М. Д. Определение степени заполненности мусорных баков при помощи компьютерного зрения // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. СПб., 2024. Т. 1. С. 226–229.

5. Сениченкова Я. О., Поляк М. Д. Сравнительный анализ нейросетевых методов классификации степени наполненности мусорных баков // Прикладной искусственный интеллект: перспективы и риски: Междунар. науч. конф. (СПб., 17 окт. 2024 г.): сб. докл. СПб.: ГУАП, 2024. С. 318–323.

6. Foolbox native: Fast adversarial attacks to benchmark the robustness of machine learning models in pytorch, tensorflow, and jax / J. Rauber, R. S. Zimmermann, M. Bethge, W. Brendel // Journal of Open Source Software. 2020. Т. 5, № 53. P. 2607.

7. Carlini N., Wagner D. Towards evaluating the robustness of neural networks // 2017 IEEE symposium on security and privacy (sp). San Jose, USA, 2017. P. 39–57.

8. Moosavi-Dezfooli S. M., Fawzi A., Frossard P. Deepfool: a simple and accurate method to fool deep neural networks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas, USA, 2016. P. 2574–2582.

УДК 004.8

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-159-165

В. Ю. Скобцов

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Выполнен обзор высокопроизводительных вычислительных решений задач машинного/глубокого обучения и искусственного интеллекта. Рассмотрены преимущества и недостатки аппаратных решений на основе применения GPU-, FPGA/ASIC-, TPU- и нейроморфных процессоров. Проанализированы существующие облачные сервисы и платформы для решения задач ИИ и анализа Big Data.

Ключевые слова: высокопроизводительные вычисления, искусственный интеллект, машинное/глубокое обучение, нейронные сети, облачные сервисы.

V. Yu. Skobtsov

PhD, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

HIGH-PERFORMANCE COMPUTING SOLUTIONS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING PROBLEMS

A review of high-performance computing solutions for machine/deep learning and artificial intelligence problems is provided. The advantages and disadvantages of hardware solutions based on the use of GPU, FPGA/ASIC, TPU and neuromorphic processors are considered. Existing cloud services and platforms for solving AI problems and analyzing Big Data are analyzed.

Keywords: high performance computing, artificial intelligence, machine/deep learning, neural networks, cloud services.

Введение

Условия для возникновения искусственного интеллекта (ИИ) как направления научных исследований, сложились к середине XX в. [1]. В это время появляются вычислительные машины, открывающие возможности для математического моделирования сложных систем. С середины 2000-х гг. ИИ, машинное и в особенности глубокое обучение стали набирать эффективность и показывать хорошие результаты с новой силой как в исследовательских, так и в «продуктовых» задачах. Это было вызвано появлением аппаратного обеспечения – графических процессоров, позволяющих в десятки раз ускорять нейросетевые вычисления, возникновением новых сверточных и рекуррентных нейросетевых моделей. С 2015 г. начинается новый «золотой век» ИИ, связанный с качественно новыми результатами, полученными за счет применения глубоких нейросетей, положившими основу методологии глубокого обучения. Сегод-

ня основной прогресс в применении нейросетей наблюдается в областях компьютерного зрения, анализе естественного языка, генеративных моделях нейронных сетей, обучении с подкреплением, анализе временных рядов в различных прикладных областях.

Также повышенный интерес к методам искусственного интеллекта и машинного обучения возрождается с повышением доступности больших данных. Впервые термин «Большие данные» / Big Data появился в прессе в 2008 г., когда редактор журнала Nature Клиффорд Линч опубликовал статью на тему развития будущего науки с помощью технологий работы с данными больших объемов. С тех пор термин Big Data буквально «ворвался» и прочно закрепился в теории и практике современных информационных и компьютерных технологий. В последние годы Big Data, высокопроизводительные суперкомпьютерные системы (High Performance Computing – HPC systems) и платформы облачных сервисов являются общепризнанным признаком экономического и техно-

логического развития и цифровой трансформации экономики. Исследования консалтинговой компании Gartner прогнозируют, что технологии ИИ, Big Data, HPC-суперкомпьютерных систем и платформ облачных сервисов окажут существенное влияние на информационные технологии в науке, производстве, здравоохранении, торговле, государственном управлении и в других отраслях, которые используют большой поток информации.

Применение ИИ-решений является важным стратегическим инструментом для деятельности многих стартапов и научных, аэрокосмических, производственных, медицинских и финансовых организаций по всему миру. Благодаря

ря возможности быстро анализировать огромные объемы данных для получения важных выводов и информации ИИ используется для повышения эффективности и распознавания закономерностей, которые могут улучшить процесс принятия решений во всех перечисленных направлениях человеческой деятельности. Например, положительный эффект от использования ИИ для мировой банковской системы, по оценкам McKinsey, оценивается ежегодно до 1 трлн долл. добавленной стоимости. По прогнозу исследовательской компании Autonomous Next, к 2030 г. банки смогут сократить расходы на 22% с помощью технологий ИИ. Системы на базе ИИ позволяют за оперативно про-

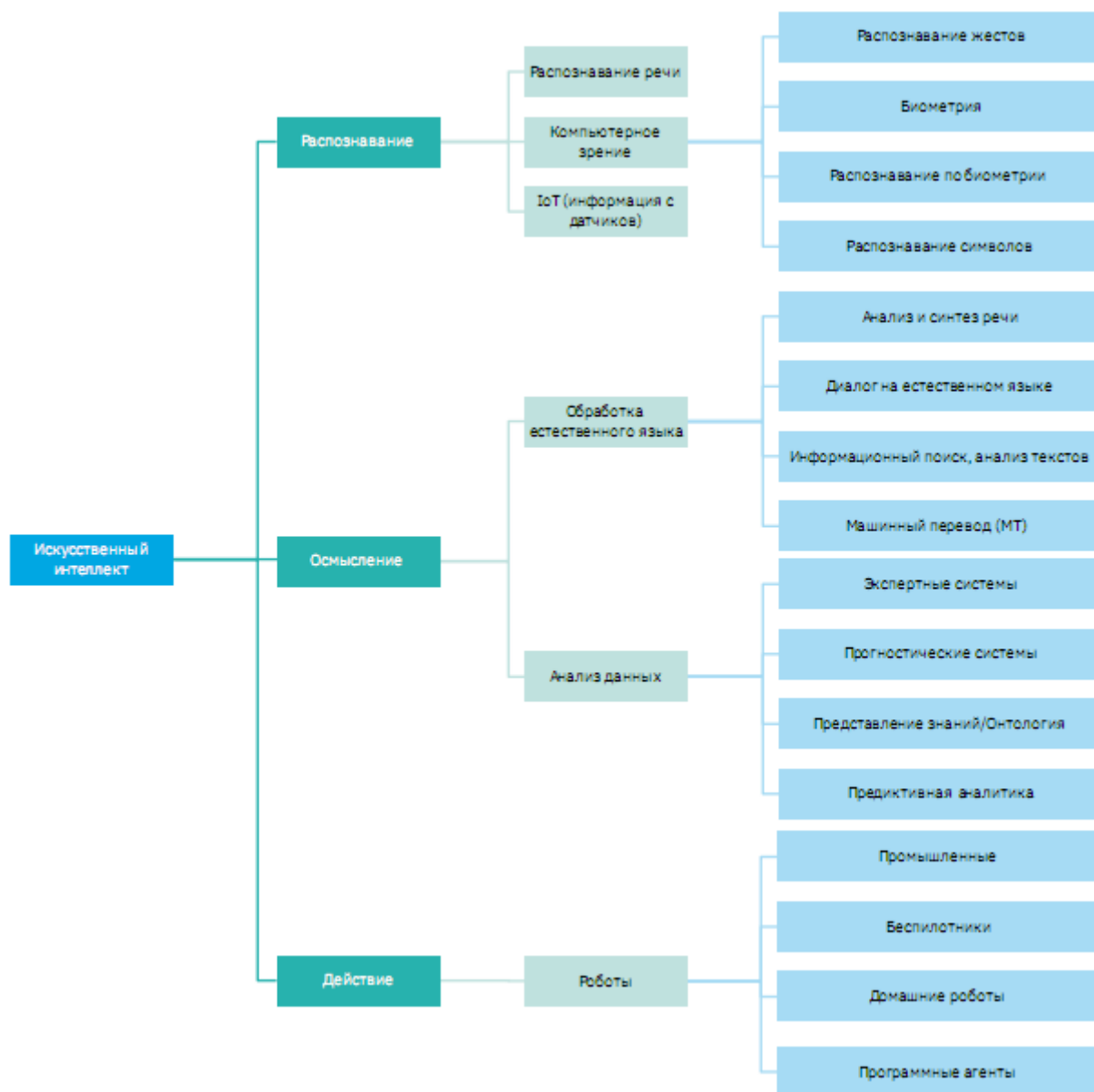


Рис. 1. Области применения методов и технологий искусственного интеллекта

водить кредитный скоринг клиентов или осуществлять финансовые транзакции. Чат-боты или виртуальные ассистенты используются для консультирования, круглосуточной поддержки, платежей. Одним из способов, который дополняет традиционные политики и программы предотвращения мошенничества, является постоянное развитие подходов к предотвращению мошенничества с использованием МО. Технологии ИИ позволяют отслеживать аномалии поведения, предотвращать угрозы безопасности и выявлять факты мошенничества с гораздо большей точностью. И особенно важным это оказалось в период пандемии. Основные области применения методов и технологий ИИ на сегодняшний день представлены на рис. 1.

1. Аппаратные высокопроизводительные вычислительные решения

Для последующей корректной работы модели машинного обучения в частности глубокие нейронные сети должны обучаться на значительных объемах данных. Поэтому для работы с продвинутыми и сложными алгоритмами искусственного интеллекта необходима колоссальная вычислительная мощность. С таким объемом задач могут справиться так называемые суперкомпьютеры.

Высокопроизводительные вычисления (High Performance Computing, HPC) предполагают параллельную обработку данных для решения сложных вычислительных задач с помощью

компьютерного моделирования, симуляции и анализа данных. Вычислительные мощности суперкомпьютера позволяют достаточно быстро обучить модели машинного обучения и нейросетевые архитектуры на огромных объемах данных и создать качественные ИИ-продукты.

Суперкомпьютеры необходимы в первую очередь для обучения сложных моделей на больших объемах данных. И сегодня арендуемые вычислительные мощности не удешевляют, а позволяют сэкономить через ускорение процесса там, где обучение на более слабом «железе» будет вести к неоправданным издержкам. Поэтому использование суперкомпьютеров – вопрос долгосрочной стратегии. В будущем стоимость более совершенных устройств может сокращаться из-за удешевления комплектующих, однако требуемые вычислительные ресурсы для решения задач будет только увеличиваться.

1.1. GPU HPC-аппаратные решения

Основными массово применяемыми сейчас для обучения моделей машинного обучения и в особенности глубоких нейросетевых архитектур являются графические процессоры GPU [2; 3] – специализированные процессоры, изначально созданные для задач компьютерной графики. Современные графические процессоры содержат множество простых ядер и обладают высокой степенью параллельности, что и отличает их от CPU, закрывая их основной недостаток. У GPU в случае нейросетей существенное преимущество по производительности на массивно-параллельных задачах (рис. 2).

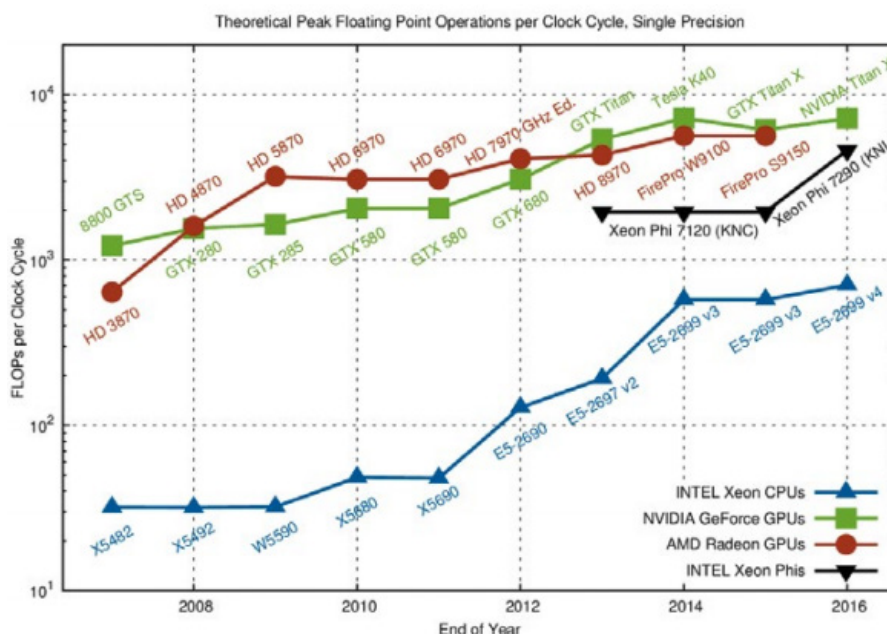


Рис. 2. Вычислительные характеристики CPU, GPU and MIC [4]

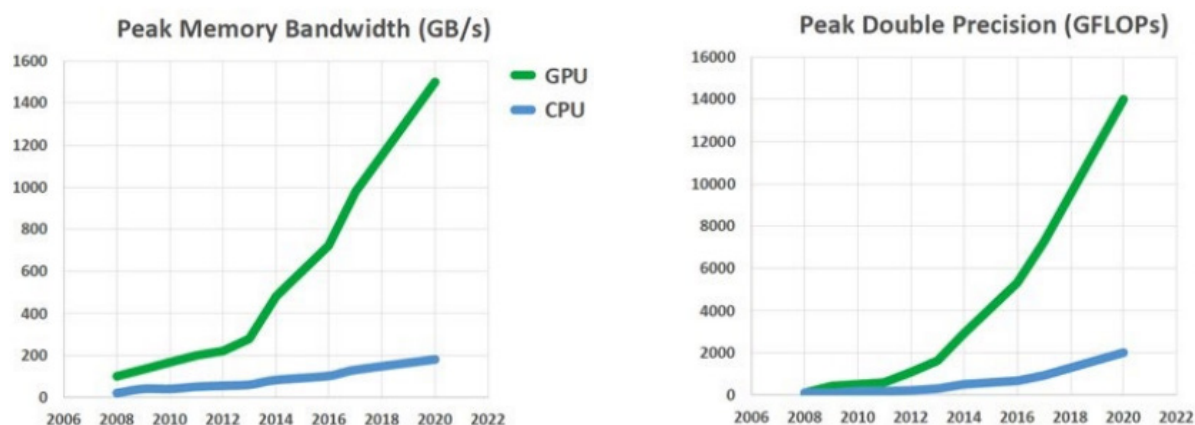


Рис. 3. Сравнительные данные для Nvidia Tesla V100 и Intel «Cascade Lake» Xeon SP

Высокоскоростная память «на борту» GPU и более гибкая система управления кэш-памятью, чем на CPU, позволили победить в этом соревновании (последние данные для Nvidia Tesla V100 и Intel «Cascade Lake» Xeon SP, рис. 3 [5]).

Лидирующие позиции среди GPU-процессоров на сегодняшний день занимают процессоры от NVIDIA серии Tesla. Более бюджетными решениями являются процессоры NVIDIA серий RTX 3060, 3070, 3080, 4070, 4090.

1.2. FPGA/ASIC HPC-аппаратные решения

Альтернативой использования CPU для нейросетевых моделей являются также устройства на программируемых логических матрицах

FPGA. Ключевой плюс FPGA в том, что мы можем хранить сеть непосредственно в ячейках, т. е. тонкое место в виде перегоняемых 25 раз в секунду (для видео) в одном и том же направлении сотен мегабайт одних и тех же данных пропадает. Это позволяет при более низкой тактовой частоте и отсутствии кэшей вместо понижения производительности получить заметное повышение. Кроме того, кардинально снизить энергопотребление на единицу вычислений. Intel выпустил в 2018 г. в открытых исходниках фреймворк OpenVINO Toolkit, включающий Deep Learning Deployment Toolkit. Причем производительность на FPGA на разных нейронных сетях выглядит довольно интересно, и преимущество у FPGA по сравнению с GPU

Increase Deep Learning Workload Performance on Public Models using OpenVINO™ toolkit & Intel® Architecture. Comparison of Frames per Second (FPS)

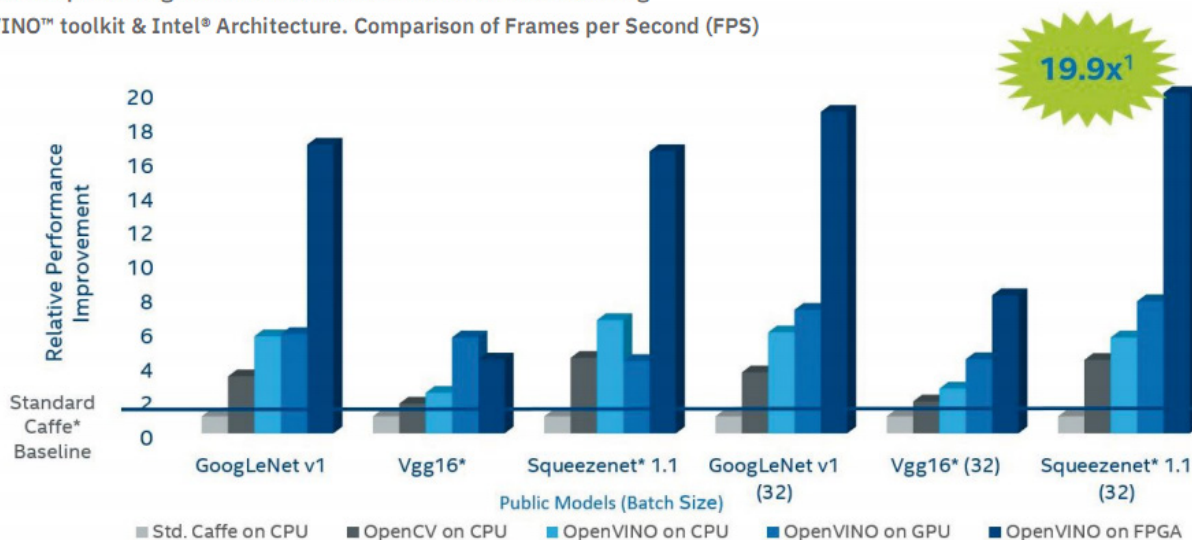


Рис. 4. Сравнительные результаты нейросетевых моделей для FPGA, CPU и интегрированной GPU [6]

(правда интегрированным GPU от Intel) весьма существенное [6] (рис. 4).

Альтернативой применения FPGA являются решения на основе заказных интегральных схем ASIC. Однако в этом случае очень ограничены возможности обновления сети и логики, также имеем самую высокую стоимость разработки по сравнению со всеми предыдущими решениями.

1.3. TPU HPC-аппаратные решения

При работе нейронных сетей и других моделей машинного обучения есть две задачи – обучение (training) и выполнение (inference). Если FPGA/ASIC ориентированы в первую очередь на ускорение выполнения (в том числе какой-то фиксированной сети), то TPU (Tensor Processing Unit или тензорные процессоры) – это еще и аппаратное ускорение обучения. Термин TPU происходит из разработок Google. Предварительные работы по специализированным процессорам для нейросетей они начали, с их слов, еще в 2006 г., в 2013-м создали проект с хорошим финансированием, а в 2015-м начали работать с первыми чипами, которые ускорили работу нейросетей для облачного сервиса Google Translate и не только. Важным преимуществом для дата-центров является на два порядка более высокая энергоэффективность TPU по сравнению с CPU [7]. Также, как правило, по сравнению с GPU в 10–30 раз в лучшую сторону отличается производительность выполнения сети [7; 8]. Разница даже в 10 раз существенна. Понятно, что такое ускорение по сравнению с GPU определяет развитие этого направления. TPU в свою очередь собираются в TPU Pod (по сути, масштабируемый суперкомпьютер). Google TPU v4 появился в 2021 г. и по вычислительной мощности превосходит предыдущий TPU v3 в 2,2–3,7 раза. TPU v4 Pod-ы от Google состоят из 4096 чипов TPU v4, каждый из которых обеспечивает 275 терафлопс производительности bfloat16, предназначенной для машинного обучения. В совокупности это означает, что каждый TPU Pod содержит около 1,13 bfloat16 эксафлопс мощности ИИ, а блоки в центре обработки данных Mayes County в сумме составляют около 9 эксафлопс. Google говорит, что это делает его крупнейшим центром в мире «с точки зрения совокупной вычислительной мощности», по крайней мере среди тех, которые доступны для широкой публики [9].

Huawei также начал разработку TPU несколько лет назад под именем Huawei Ascend, причем сразу в двух версиях: для дата-центров и для мобильных устройств (как Google недав-

но). Если верить материалам Huawei, то они обогнали Google TPU v3 по FP16 в 2,5 раза и NVIDIA Tesla V100 в 2 раза. При этом Huawei уже сегодня создает суперкомпьютерные кластеры на базе своего чипа (256–1024 PetaFlops для операций FP16), по сути составляя прямую конкуренцию Google Cloud, AWS (Amazon) и облакам других компаний. Становится понятно, почему многие производители внимательно изучают успехи Huawei, обогнавшей по выручке все компании-производители «железа» в США, включая Intel в 2018 г., до введения санкций.

1.4. Нейроморфные HPC-аппаратные решения

Перспективными считаются разработки нейроморфных процессоров – чипов, цифровая схема которых построена по принципам условно нефоннеймановской вычислительной архитектуры нейронной сети, делая машинное обучение быстрее и эффективнее. Такие процессоры уже реализуются TrueNorth (IBM, проект DARPA), Loihi (Intel), Cloud AI 100 (Qualcomm), Tianjic (2019, университет Синьхуа), SpiNNaker (2011, Манчестерский университет), BrainScaleS (2020, Гейдельбергский университет), GrAIOne (2020, GrAI Matter Labs), Алтай (2020, Мотив НТ, РФ) и готовят к выпуску еще около 30 компаний. Нейроморфные процессоры по принципам своего функционирования ближе к работе человеческого мозга, чем другие процессоры, и превосходят их по скорости. Сводную таблицу с некоторыми характеристиками перечисленных чипов можно посмотреть на рис. 5.

2. Облачные сервисы как высокопроизводительные вычислительные решения

Применение TPU позволяет Google заставить пользователя делать «нелегкий» выбор между дорогим и долгим обучением сети на GPU и быстрым и дешевым обучением на TPU. Разница даже для «старого» по нынешним временам TPU v2 на некоторых архитектурах сетей весьма ощутима (рис. 6).

Ход вычислений внутри нейросети идет по фиксированной схеме, т. е., где будут происходить все «ветвления» и «переходы», в подавляющем большинстве случаев точно известно заранее, при этом теряется необходимость в спекулятивном исполнении инструкций, ранее заметно повышающих производительность. Это делает не столь эффективными суперскалярные механизмы предсказания ветвления и предвычислений, активно развивавшиеся

	Вычисления в памяти	Представление информации	Обучение на устройстве	Аналоговость	Событийность	Техпроцесс (нм)	Энергопотреб- ление
CPU / GPU / TPU Высокая популярность, богатая экосистема, продвинутое инженерные технологии	нет	числа, импульсы	Backprop / STDP	нет	нет	5	Google Edge TPU: 2 Tops/watt
TrueNorth Первый нейроморфный чип без обучения (IBM)	рядом с памятью	импульсы	нет	нет	да	28	400 GOPS/watt 25 pj/operation
Loihi Первый нейроморфный чип с обучением (Intel)	рядом с памятью	импульсы	STDP	нет	да	14	80 pj/operation
Tianjic Гибридный чип с эффективной поддержкой как SNN так и ANN, энергоэффективность	рядом с памятью	числа, импульсы	нет	нет	да	28	1278 MACGOPs/watt 649 GSOPs/watt
Spinnaker Масштабируемая вычислительная платформа оптимизированная для выполнения SNN и rate based DNN	рядом с памятью	импульсы, числа	STDP	нет	нет	22	20 nj/operation
BrainScaleS Аналоговые нейроны на RC контурах, большой размер	да	импульсы, числа	STDP, Surrogate gradient	мембранный потенциал	да	65	10 pJ/synaptic event 200 mW - total
GrAIOne Архитектура NeuronFlow, эффективная поддержка разреженных вычислений, поддержка ANN и SNN	рядом с памятью	числа, импульсы	нет	нет	да	28	20 pj/operation 10 pj/operation
Eyeriss Ускоритель DCNN за счет пространственной разреженности данных	рядом с памятью	числа	нет	нет	нет	65	278 mW
Алтай Первый отечественный нейроморфный чип без обучения, масштабируется	рядом с памятью	импульсы	нет	нет	да	28	500 mW

Рис. 5. Характеристики нейроморфных процессоров

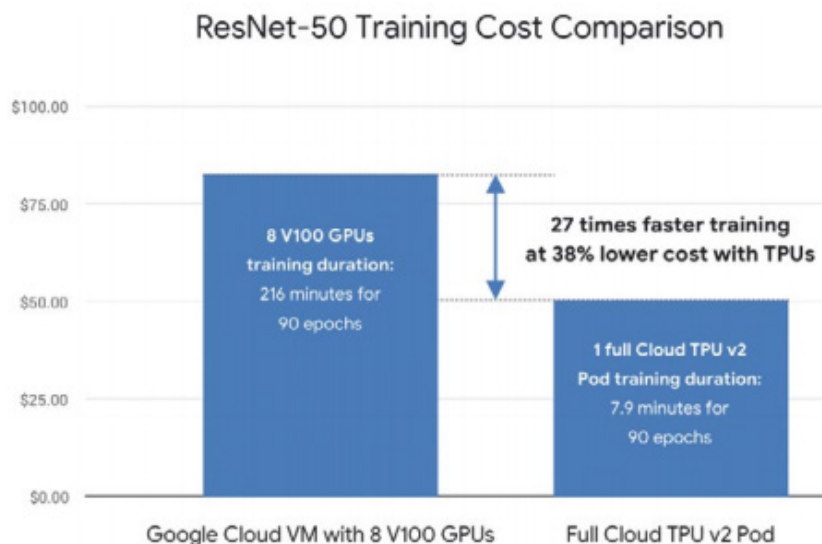


Рис. 6. Разница в скорости и стоимости обучения нейросетевой модели на облачной системе из GPU NVIDIA V100 и TPU v2

в предыдущие десятилетия [10]. При этом обучение нейросети относительно слабо масштабируется горизонтально, т. е. мы не можем взять 1000 мощных компьютеров и получить линей-

ное ускорение обучения в 1000 раз, пока не решена теоретическая проблема ухудшения качества обучения на большом размере батча. Поэтому, если у исследователя будет доступ к 1000

мощных компьютеров, он их все займет, но, скорее всего, обучаться там будет много нейросетей с разными гиперпараметрами. То есть при увеличении количества компьютеров эффективность работы и вероятность достичь результата будут расти, но не линейно. Но в этом случае возможны перебор гиперпараметров для одной ИИ-модели или обучение параллельно разных моделей, дообучение, аугментация и другие эффективные подходы, что позволяет нам существенно ускорять процесс автоматического поиска эффективных ИИ-моделей. И системы AutoML, экономя время исследователя, кардинально повышают спрос на вычислительные мощности, включая классические суперкомпьютерные архитектуры. Таким образом, можно сделать вывод, что перспективной на сегодняшний день является разработка специализированных для задач ИИ суперкомпьютерных систем с реализацией облачных сервисов на платформе TPU либо гибридных систем, совмещающих оба подхода к вычислениям, позволяющих также решать классические высокопроизводительные вычислительные задачи.

Библиографический список

1. Искусственный интеллект. Текущее состояние в России и мире. Стратегия России // Альманах «Искусственный интеллект» / МФТИ, Центр компетенций НТИ «Искусственный интеллект». 2019. Вып. № 1. 151 с. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/investitsionnaya-aktivnost/2019_alymanah_iskusstvennyy_intellekt_tekushee_sostoyanie_v_rossii_i_mire_strategiya_rossii_mfti/ (дата обращения: 27.11.2024).
2. Искусственный интеллект. Аппаратное обеспечение для ИИ // Альманах «Искусственный интеллект» / МФТИ, Центр компетенций НТИ «Искусственный интеллект». 2021. Вып. № 9. 176 с. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/razrabotka-i-issledovaniya-v-oblasti-ii/2021_alymanah_ii_9_apparatnoe_obespechenie_ii_mfti/ (дата обращения: 27.11.2024).
3. Graphics processing unit. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_processing_unit (дата обращения: 27.11.2024).
4. Rupp K. CPU, GPU and MIC Hardware Characteristics over Time. URL: <https://www.karlsruhp.net/2013/06/cpu-gpu-and-mic-hardware-characteristics-over-time> (дата обращения: 27.11.2024).
5. Natoli V. A Decade of Accelerated Computing Augurs Well For GPUs. URL: <https://www.nextplatform.com/2019/07/10/a-decade-of-accelerated-computing-augurs-well-for-gpus> (дата обращения: 27.11.2024).

В связи с доступностью облачных сервисов активно осуществляется переход компаний к нимервисам. Все больше компаний приоритезируют развитие удаленных форматов обслуживания клиентов. Облачный рынок будет расти высокими темпами, рост сохранится на уровне 30–60% в ближайшие 2–3 года. В 2025 г., по прогнозам Gartner, более 95% новых цифровых рабочих нагрузок будут развернуты на облачных платформах по сравнению с 30% в 2021 г. По данным Accenture, расходы на облака в России будут расти на 5,3% ежегодно до 2024 г. Лишь 32% компаний используют облака более 5 лет, 47% начали работать с ними только в последние 3–5 лет.

Основной тенденцией развития облачных сервисов в настоящее время является реализация облачных сервисов комплексно, т. е. реализация пакета услуг, например IaaS-, PaaS-, SaaS- и CRM-системы, которые включают развитие сервисов искусственного интеллекта и машинного обучения, разработка схемы использования 5G-сетей и периферийных вычислений.

com/2019/07/10/a-decade-of-accelerated-computing-augurs-well-for-gpus (дата обращения: 27.11.2024).

6. Performance Index. URL: <https://edc.intel.com/content/www/us/en/products/performance/benchmarks/overview/> (дата обращения: 27.11.2024).

7. In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit / N. P. Jouppi, C. Young, N. Patil [et al.] // Proceedings of the 44th annual international symposium on computer architecture, 2017, June. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3079856.3080246> (дата обращения: 27.11.2024).

8. Sato K., Young C. An in-depth look at Google's first Tensor Processing Unit (TPU). URL: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/an-in-depth-look-at-googles-first-tensor-processing-unit-tpu> (дата обращения: 27.11.2024).

9. Hampton J. Google Claims Its TPU v4 Outperforms Nvidia A100. URL: <https://www.hpcwire.com/2023/04/06/google-claims-its-tpu-v4-outperforms-nvidia-a100/> (дата обращения: 27.11.2024).

10. Суперскалярность. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C> (дата обращения: 27.11.2024).

УДК 519.6

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-166-170

Ю. А. Скобцов

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

МУРАВЬИНЫЕ КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ

Представлены новые метаэвристики на основе квантово-механических моделей. Для кодирования потенциального решения используются кубиты. Путем бинарного наблюдения за квантовым (кубитовым) представлением формируются и обрабатываются двоичные потенциальные решения, которые далее доводятся до (суб)оптимальных с помощью муравьиных алгоритмов.

Ключевые слова: муравьиные алгоритмы, метаэвристики, квантовые эволюционные алгоритмы.

Yu. A. Skobtsov

Dr. Sc., Tech., Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANT QUANTUM ALGORITHMS

New metaheuristics based on quantum mechanical models are presented. Qubits are used to encode a potential solution. By binary observation of the quantum (qubit) representation, binary potential solutions are formed and processed, which are then brought to (sub)optimal ones using ant colony algorithms.

Keywords: ant colony algorithms, metaheuristics, quantum evolutionary algorithms.

Введение

Муравьиный алгоритм – это метаэвристика для решения вычислительно сложных задач оптимизации; его основная идея состоит в том, чтобы распределить вычислительные ресурсы по множеству относительно простых агентов, называемых искусственными муравьями [1]. При этом поведение муравья описывается простыми правилами, которые сформулированы на основании модели повелений реальных муравьев в процессе поиска пути между гнездом и источником пищи. Далее приведем основные положения классического муравьиного алгоритма, на основе которого разработан квантовый муравьиный алгоритм.

Традиционные муравьиные алгоритмы

Искусственный муравей выполняет простые функции АСО в двух режимах работы [1]: вперед (от гнезда к пище) и назад (от источника пищи обратно к гнезду). Муравьи, идущие вперед, строят решение, вероятностным образом выбирая следующий узел, к которому нужно перейти, среди узлов, находящихся в соседних позициях относительно текущего узла. Этот вероятностный выбор зависит от концентрации фе-

ромона, ранее оставленного на следах других муравьев. Муравьи, идущие вперед, не откладывают феромон, что, когда они связаны с детерминированными движениями назад, помогает устранить петлю.

Каждый муравей строит свое решение проблемы, при этом пошаговое принятие решений каждым муравьем опирается на локальную информацию, содержащуюся на самом узле (вершине графа) или на исходящих дугах. Процесс поиска начинается с присвоения всем дугам графа постоянного небольшого количества феромона ($\tau_{ij} = \tau_0$). Для k -го муравья, находящегося в узле i , вероятность выбора j в качестве следующего узла на основе концентрации феромона τ_{ij} вычисляется следующим образом:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{d \in \text{feasible}_k(t)} [\tau_{id}(t)]^\alpha \eta_{id}^\beta}, & \text{if } j \in \text{feasible}_k(t) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (1)$$

где τ_{ij} – концентрация феромона дуги ij в момент времени t , η_{ij} – эвристическая информация, характерная для конкретной задачи (чаще всего длина дуги), коэффициенты α и β опреде-

ляют степень влияния концентрации феромона и эвристической информации соответственно, r – случайное число с равномерным распределением в $[0; 1]$, r_0 – заранее заданный параметр в диапазоне от 0 до 1 включительно.

Пошаговый обход по тому же пути в обратном режиме начинается с процесса сканирования на предмет устранения образовавшихся петель в графе, после чего путем отложения $\Delta\tau_k$ количества феромона каждым муравьем. Муравей k перемещается в обратном порядке построенного пути по дуге $(i; j)$ и увеличивает концентрацию феромона следующим образом:

$$\tau'_{ij} = \tau_{ij} + \Delta\tau^k. \quad (2)$$

Этот шаг обновления феромонов повышает вероятность следования муравьев по тому же пути.

Кроме этого, моделируется процесс испарения феромона на всех дугах графа путем умножения текущего значения концентрации на число меньше 1 согласно формуле

$$\tau^*_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} \quad \forall (i, j) \in E(G). \quad (3)$$

Этот механизм позволяет избегать преждевременной сходимости муравьев к локально лучшему решению, что эквивалентно неоптимальному пути. Кроме этого, он способствует исследованию различных путей в пространстве поиска решений. Здесь $E(G)$ представляет собой множество всех дуг графа, $\rho \in (0, 1]$ – параметр, τ^*_{ij} – обновленный уровень феромонов после испарения.

Квантовое представление потенциальных решений

Квантовые муравьиные алгоритмы (КМА) основаны концепции квантовых бит и суперпозиции состояний. Минимальная единица информации, запоминаемой в квантовом компьютере с двумя состояниями, называется квантовым битом или кубитом [2]. Кубит может находиться в состоянии 0 или 1 либо суперпозиции этих состояний [2]. Представление (кодирование) потенциального решения в КМА использует концепцию кубитов. Состояние кубита может быть представлено следующим образом [2; 3]:

$$\Psi = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle, \quad (4)$$

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 состоянии 1, и выполня-

ется нормализация $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Итак один кубит определяется парой комплексных чисел

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}, \text{ а кубит-особь (потенциальное решение)}$$

определяется

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_m \\ \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_m \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $|\alpha_i|^2 + |\beta_i|^2 = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m$.

В КМА квантовая хромосома i определяется как строка из j кубитов, представляющая квантовую систему $|\psi\rangle^i$ с 2^j текущими состояниями [3; 4]:

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_j \\ \beta_1 & \beta_2 & \dots & \beta_j \end{pmatrix}_i \rightarrow |\psi\rangle^i = \sum_j c_i |\psi\rangle^j. \quad (6)$$

Квантовая популяция определяется множеством квантовых хромосом или векторов, как показано далее. 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 и поэтому имеет лучшие характеристики относительно разнообразия решений.

Далее, на втором этапе, генерируется (в процессе наблюдения) популяция $P(t)$, состоящая из классических хромосом – битовых строк или вещественных векторов, в зависимости от используемого вида наблюдения. Двоичное наблюдение дает популяцию особей – битовых строк, а реальное наблюдение генерирует популяцию особей – вещественных векторов [4; 5]. 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):

$$\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & \dots & x_{j-1} & x_j \end{pmatrix}_1 \\ \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & & & x_{j-1} & x_j \end{pmatrix}_2 \\ \vdots \\ \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & & & x_{j-1} & x_j \end{pmatrix}_i$$

Например, наблюдение за кубитом можно моделировать путем коллапса волновой функции следующим образом:

$$\begin{cases} p(\alpha) \leq |\alpha_j^2|, & x_j = 0 \text{ состояние } 0 \\ p(\alpha) > |\alpha_j^2|, & x_j = 1 \text{ состояние } 1 \end{cases}, \quad (7)$$

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. 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).

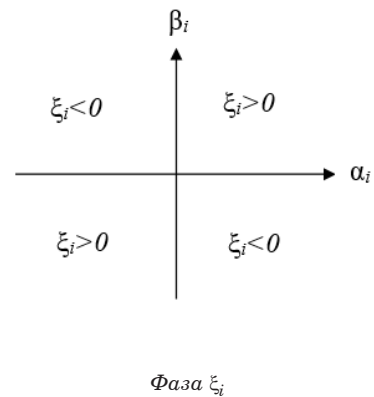
Квантовые муравьиные алгоритмы

В КМА с двоичным наблюдением после наблюдения (измерения) квантового (кубитового) представления формируются и обрабатываются двоичные потенциальные решения, которые далее улучшаются до (суб)оптимальных с помощью муравьиных алгоритмов. Данный алгоритм продолжает работы [6; 7] и 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.

В алгоритме используется популяция n квантовых хромосом $P(t) = (p_1^t, p_2^t, \dots, p_n^t)$, где каждая j -я особь $p_j^t (j = 1, 2, \dots, n)$ поколения t представляется следующим образом:

$$p_j^t = \begin{pmatrix} \alpha_1^t & \alpha_2^t & \dots & \alpha_m^t \\ \beta_1^t & \beta_2^t & \dots & \beta_m^t \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Здесь m – число квантовых бит α_i, β_i , которые при инициализации получают значения



$1/\sqrt{2}$. Обозначим ξ ($\xi \in (-\pi, \pi)$) фазу квантового бита, где $\xi_i = \arctan(\beta_i/\alpha_i)$. Символом d_i обозначим произведение вероятностей квантовых бит $d_i = \beta_i/\alpha_i$, где d_i представляет фазу ξ_i в плоскости координат квантовых бит, которые показаны на рисунке. Использование фазы позволяет существенно сократить время и пространство поиска решений.

В рассматриваемой версии алгоритма используется двоичное наблюдение, которое из квантовой хромосомы строит двоичные хромосомы, используемые далее при поиске решений.

В квантовом алгоритме для изменения значений следующего решения часто используется вентиль квантового вращения, функционирование которого можно описать следующим образом:

$$\begin{pmatrix} \alpha_i' \\ \beta_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Здесь $i = 1, 2, \dots, m$, $[\alpha_i, \beta_i]^T$ – амплитуды вероятностей i -го квантового бита, θ_i – угол вращения этого бита, размер и направление которого определяют стратегию поиска. В данном алгоритме размер и ориентация вычисляются согласно формуле $\theta_i = \Delta\theta \cdot f(\alpha_i, \beta_i)$, где приращение $\Delta\theta = 20 \cdot \exp(-t/t^{\max})$ зависит от номера поколения t . Фактически $\Delta\theta$ управляет величиной вращения угла θ_i . При этом функция $f(\alpha_i, \beta_i)$ определяется следующей формулой:

$$f(\alpha_i, \beta_i) = \left(\frac{d_{ibest}}{d_{inow}} \right) (\xi_{ibest} - \xi_{inow}), \quad (10)$$

где $d_{ibest} = \beta_{ibest} / \alpha_{ibest}$ – значение оптимального решения квантового бита i , α_{ibest} and β_{ibest} – значения оптимального решения амплитуд вероятностей, α_{inow} and β_{inow} – значения текущего

решения. При этом $\xi_{ibest} = \arctan(\beta_{ibest} / \alpha_{ibest})$, $\xi_{inow} = \arctan(\beta_{inow} / \alpha_{inow})$, ξ_{ibest} – значение для лучшей фазы квантового бита, ξ_{inow} – значение текущей фазы квантового бита. По определению $f(\alpha_i, \beta_i) > 0$, θ_i при вращении по часовой стрелке и $f(\alpha_i, \beta_i) < 0$, θ_i при вращении против часовой стрелки. Сам процесс изменения значений особи с помощью вентилей вращения можно представить следующей формулой $P_j^{t+1} = G(t) \cdot p_j^t$. Здесь t – номер поколения (итерации), $G(t)$ – матрица квантового вентилей вращения, P_j^t и P_j^{t+1} – амплитуды вероятностей итерации t и $t+1$ соответственно.

В соответствии со значениями амплитуд вероятностей $P(t)$ генерируется популяция двоич-

ных хромосом $R(t) = \{r_1^t, r_2^t, \dots, r_n^t\}$, где r_j^t ($j = 1,$

$2, \dots, n$) – двоичная строка длины m , в которой значение каждого элемента определяется зна-

чениями $|\alpha_i^t|^2$ и $|\beta_i^t|^2$ для ($i = 1, 2, \dots, m$) в p_j^t

($j = 1, 2, \dots, n$). При этом генерируется случай-

ное число w ($w \in [0,1]$) – порог; и если $|\alpha_i^t|^2 > w$, то

$r_i^t = 0$ или $r_i^t = 1$. То есть данный алгоритм использует двоичное наблюдение квантовой хромосомы.

В начале поиска n муравьев случайно размещаются на одну из k вершин графа. Далее каждый искусственный муравей строит свой путь (потенциальное решение) путем выбора на каждом шаге следующей вершины графа в соответствии со стандартным правилом обычного муравьиного алгоритма:

$$b = \begin{cases} \arg \max_{s \in U} \left\{ [\tau(a, s)] \cdot [\eta(a, s)]^\gamma \right\} & q \leq q_0 \\ b' & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (11)$$

где $\tau(a, b)$ – концентрация искусственного феромона дуги (a, b) и $\eta(a, b) = 1/d_{(a, b)}$ определяется длиной дуги (a, b) , γ – параметр, определяющий степень влияния длины следующей дуги. Вероятность выбора следующей вершины определяется стандартной формулой

$$p(a, b) = \begin{cases} \frac{\tau(a, b) \cdot \eta(a, b)^\gamma}{\sum_{s \in U} \tau(a, s) \cdot \eta(a, s)^\gamma} & b \in U \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (12)$$

До тех пор пока не построен путь на графе, выполняются следующие действия:

$$\beta_i(a, b) = \begin{cases} \frac{d_{(a, b)} - E_a}{L_a} \cdot 0,5 + 0,5(a \neq b) \wedge (L_a \neq 0) & \\ 0 & a = b \\ 0,5 & (a \neq b) \wedge (L_a = 0) \end{cases}, \quad (13)$$

$$\alpha_i(a, b) = \sqrt{1 - (\beta_i(a, b))^2}, \quad E_a = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k d_{aj},$$

$$L_a = \max \{ |d_{(a, j)} - E_a|, j = 1, 2, \dots, k \},$$

где $d(a, b)$ – расстояние между a и b . Найденное оптимальное решение сохраняется. Коррекция концентрации феромона для дуг, вошедших в оптимальный путь, выполняется с помощью квантового вентилей вращения. Данный алгоритм апробирован для задачи коммивояжера и показал результаты, лучшие чем традиционный муравьиный алгоритм.

Заключение

Приведенные алгоритмы можно рассматривать как методы комбинаторной 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 лучшей сходимостью к (суб)оптимальным решениям за счет использования прошлой истории потенциальных решений.

Библиографический список

1. Скобцов Ю. А., Сперанский Д. В. Эволюционные вычисления. М.: Нац. открытый ун-т 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. La Jolla, USA, 2000. P. 1354–1360.

4. *Lahoz-Beltra R.* Quantum Genetic Algorithms for Computer Scientists // *Computers*. 2016. № 5. P. 24.

5. *Ross M. H. O.* A review of quantum-inspired metaheuristics: Going from classical computers to real quantum computers // *IEEE Access*. 2020. № 8. P. 814–838.

6. *Alfares F. S., Esat I. I.* Real-coded quantum inspired evolution algorithm applied to engineering optimization problems // *Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISOLA 2006)*. Paphos, Cyprus, 2006. P. 169–176.

УДК 004.413.5

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-171-178

С. В. Щекин

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

Рассматриваются особенности жизненного цикла средств разработки программного обеспечения 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, Tech., Associate Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

FEATURES OF THE EVOLUTION OF MODERN OPEN SOURCE SOFTWARE DEVELOPMENT TOOLS

The article examines the features of the life cycle of modern open source software development tools 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 ростом популярности операционных систем и программного обеспечения с открытым исходным кодом немаловажными становятся вопросы оценки перспектив и грамотного выбора соответствующих средств разработки.

Посмотрим, как менялись исходные тексты набора компиляторов с открытым исходным кодом GCC (GNU Compilers Collection) [1] за последние 25 лет (табл. 1–4). Можно заметить, что появление и исчезновение компилятора очередного языка программирования сопровождается появлением и исчезновением кода на данном языке в исходных текстах GCC. Пример языка Java (табл. 3) хорошо эти процессы иллюстрирует. При этом исчезновение длительно поддерживаемого языка приводит к очень значительному сокращению общих объемов кода GCC (табл. 3).

Отказ от поддержки Java в седьмой версии GCC сразу привел к сокращению кода почти на два миллиона строк (табл. 3). Интересной особенностью компилятора Java GCJ (GNU Compiler for Java) была возможность компиляции Java как в интерпретируемый байт-код, так и в непосредственно исполняемый код программы.

В четвертой версии GCC появилась поддержка языка Go и исходный код на нем, объемы кода на этом языке постепенно увеличивались и в последних версиях GCC в 2024 г. превысили уже миллион строк (табл. 3). В 2019 г. можно заметить в GCC появление значительных объемов кода на языке D синхронно с его поддержкой, а в самых последних версиях GCC – относительно нового перспективного языка Rust и языка Modula 2, сформировавшегося еще в начале 1980-х гг. (табл. 3).

Для реализации основного объема кода компиляторов самых различных языков программирования в GCC используются языки C, C++ и язык ассемблера (табл. 1). В последней версии можно заметить значительное «перетекание» объемов кода с языка C на C++ (табл. 1).

Тем не менее поддержка любого нового компилируемого языка программирования в GCC всегда приводит к добавлению значительных или заметных объемов кода именно на данном языке. Это связано с тем, что для каждого поддерживаемого в GCC компилятором языка в исходных текстах имеется как минимум тестовый набор примеров. Если смотреть на объемы кода на относительно «старых» для GCC поддерживаемых компиляторами языках программиро-

Таблица 1

Объемы кода GCC (C/ C++, Ассемблер)

Версия	Год	Всего строк	C	C++	h,hpp	Ассемблер
gcc-2.95	1999	1147751	844068	8536	203026	17490
gcc-3.1	2002	2543635	1058018	203657	325326	32071
gcc-3.3	2003	2766847	1131275	227544	316249	34275
gcc-3.4.0	2004	3572482	1189863	313008	315233	37503
gcc-3.4.5	2005	3625437	1201467	320663	316884	37515
gcc-4.2.0	2007	5558530	1658955	428793	409369	53042
gcc-4.4.0	2009	7267963	2297154	598773	868969	59130
gcc-4.7.0	2012	8660325	2846256	795243	951838	69378
gcc-5.1.0	2015	10105743	3466228	994335	1153527	98452
gcc-6.1.0	2016	10606613	3684801	1108780	1184318	102819
gcc-6.3.0	2016	10640132	3703081	1118214	1185382	102878
gcc-7.1.0	2017	8779605	3758074	1084125	773868	101260
gcc-7.3.0	2018	8732689	3772002	1019847	773662	101309
gcc-7.4.0	2018	8750251	3780082	1026632	774001	101311
gcc-8.3.0	2019	9269403	4037908	1135826	806692	104467
gcc-9.2.0	2019	10435359	4258083	1240996	853315	105987
gcc-9.5.0	2022	10432417	4286721	1198883	853664	106359
gcc-10.5.0	2023	11461403	4902907	1359674	930411	106725
gcc-11.5.0	2024	12067876	5061063	1543132	997165	107852
gcc-14.2.0	2024	14483823	3658740	4454767	1186231	113655

Таблица 2

Объемы кода GCC (ADA, Фортран, Objective C/ C++)

Версия	Год	Всего строк	ADA	Fortran	Objective C	Objective C++
gcc-2.95	1999	1147751	0	415	597	0
gcc-3.1	2002	2543635	559068	10409	3992	0
gcc-3.3	2003	2766847	568570	10841	4799	0
gcc-3.4.0	2004	3572482	1060248	11027	7107	0
gcc-3.4.5	2005	3625437	1060389	11229	7220	0
gcc-4.2.0	2007	5558530	1215932	64194	10023	5028
gcc-4.4.0	2009	7267963	1308687	105960	10259	5052
gcc-4.7.0	2012	8660325	1469505	158433	24491	17202
gcc-5.1.0	2015	10105743	1525297	204262	24971	17352
gcc-6.1.0	2016	10606613	1544213	226404	25088	17444
gcc-6.3.0	2016	10640132	1544489	230552	25088	17444
gcc-7.1.0	2017	8779605	1564927	242883	25137	17483
gcc-7.3.0	2018	8732689	1566378	244668	25137	17483
gcc-7.4.0	2018	8750251	1566639	246664	25137	17483
gcc-8.3.0	2019	9269403	1569647	258551	25133	17484
gcc-9.2.0	2019	10435359	1590767	276282	25170	17500
gcc-9.5.0	2022	10432417	1591130	282457	25175	17505
gcc-10.5.0	2023	11461403	1633820	304653	25310	17596
gcc-11.5.0	2024	12067876	1691436	319328	25690	17844
gcc-14.2.0	2024	14483823	1686590	406570	25884	18051

Таблица 3

Объемы кода GCC (Java, D, Go, Rust, Modula 2)

Версия	Год	Всего строк	D	Go	Rust	Modula 2	Java
gcc-2.95	1999	1147751	0	0	0	0	0
gcc-3.1	2002	2543635	0	0	0	0	220939
gcc-3.3	2003	2766847	0	0	0	0	336611
gcc-3.4.0	2004	3572482	0	0	0	0	417711
gcc-3.4.5	2005	3625437	0	0	0	0	417721
gcc-4.2.0	2007	5558530	0	0	0	0	1306351
gcc-4.4.0	2009	7267963	0	0	0	0	1494160
gcc-4.7.0	2012	8660325	0	321094	0	0	1496536
gcc-5.1.0	2015	10105743	0	433464	0	0	1497858
gcc-6.1.0	2016	10606613	0	521199	0	0	1497858
gcc-6.3.0	2016	10640132	0	521199	0	0	1497858
gcc-7.1.0	2017	8779605	0	611464	0	0	0
gcc-7.3.0	2018	8732689	0	611517	0	0	0
gcc-7.4.0	2018	8750251	0	611529	0	0	0
gcc-8.3.0	2019	9269403	0	726264	0	0	0
gcc-9.2.0	2019	10435359	663973	802309	0	0	0
gcc-9.5.0	2022	10432417	664523	802347	0	0	0
gcc-10.5.0	2023	11461403	676067	898728	0	0	0
gcc-11.5.0	2024	12067876	686326	993861	0	0	0
gcc-12.4.0	2024	12775937	958987	1064135	0	0	0
gcc-13.3.0	2024	13595411	950458	1064180	13918	240254	0
gcc-14.2.0	2024	14483823	981353	1064231	21649	249848	0

Таблица 4

Объемы кода GCC (Python, Perl, sh, Bash, Java)

Версия	Год	Всего строк	Python	Perl	sh	Bash	Java
gcc-2.95	1999	1147751	0	25	49626	0	0
gcc-3.1	2002	2543635	0	2214	97590	8	220939
gcc-3.3	2003	2766847	0	2218	101762	8	336611
gcc-3.4.0	2004	3572482	0	2393	189572	777	417711
gcc-3.4.5	2005	3625437	0	2396	221124	780	417721
gcc-4.2.0	2007	5558530	736	3836	375681	1492	1306351
gcc-4.4.0	2009	7267963	957	5293	505257	2346	1494160
gcc-4.7.0	2012	8660325	1803	5943	491991	2585	1496536
gcc-5.1.0	2015	10105743	6498	6511	663684	3521	1497858
gcc-6.1.0	2016	10606613	9106	6510	664504	3538	1497858
gcc-6.3.0	2016	10640132	9116	6510	664724	3541	1497858
gcc-7.1.0	2017	8779605	10061	4058	573058	3559	0
gcc-7.3.0	2018	8732689	10061	4058	573344	3559	0
gcc-7.4.0	2018	8750251	10095	4058	573397	3559	0
gcc-8.3.0	2019	9269403	11395	4064	558753	2892	0
gcc-9.2.0	2019	10435359	12297	4064	571050	2921	0
gcc-9.5.0	2022	10432417	15157	4065	570847	2921	0
gcc-10.5.0	2023	11461403	16467	4070	569390	2942	0
gcc-11.5.0	2024	12067876	17063	4315	586137	2961	0
gcc-12.4.0	2024	12775937	17754	4317	572721	2977	0
gcc-13.3.0	2024	13595411	19972	4396	570077	2981	0
gcc-14.2.0	2024	14483823	22081	4393	572492	2994	0

вания (табл. 1, 2), то помимо языков семейства C (C, C++, Objective C, Objective C++) обращает на себя внимание очень длительная и стабильная поддержка языков ADA и Fortran.

В табл. 4 приводятся объемы исходных текстов GCC на различных интерпретируемых языках, из которых только код на языке Java связан с поддержкой этого языка в GCC. Другие интерпретируемые языки в коде GCC используются как вспомогательные языки для управления конфигурированием и сборкой из исходных текстов. Можно заметить постепенный рост объемов кода вспомогательных компонентов. Объемы кода на языках Perl и sh немедленно

но реагировали на появление и исчезновения поддержки языка Java. Аналогичную реакцию можно заметить для кода на языке C++ и для ассемблерной части кода GCC.

С набором компиляторов GCC связан набор утилит для работы с двоичным кодом GNU binutils (GNU Binary Utilities) [2], в их состав входит компоновщик, при помощи которого результат работы компиляторов GCC из объектного кода преобразуется в код библиотек и программ, готовых к выполнению. Кроме того, в состав GNU binutils входит ассемблер GAS (Gnu Assembler), объемы кода которого приведены в табл. 5.

Таблица 5

Объемы кода ассемблера GAS (C, Ассемблер, Perl, sh)

Версия	Год	Всего строк	C	H,hpp	Ассемблер	Perl	sh
gas-2.7	1996	140745	108398	9571	18758	0	2916
gas-2.8	1997	162666	126158	10563	21104	0	3162
gas-2.9	1998	174546	135637	11059	22037	0	3972
gas-2.10.1	2000	213825	159346	12677	30899	0	6144
gas-2.11	2001	381445	186599	13610	167867	980	6914
gas-2.12	2002	418408	208367	14530	179181	980	8430
gas-2.14	2003	463368	231854	16841	197779	980	8651
gas-2.15	2004	491634	236242	16998	215721	980	14203
gas-2.16.1	2005	523682	247935	17642	234655	980	14165
gas-2.17	2006	537091	246461	15622	245387	980	14331
gas-2.18	2007	580155	269016	16390	260473	980	17913
gas-2.19.1	2008	598667	269043	16417	277239	980	18212
gas-2.20.1	2009	625539	288987	17198	282410	980	18085
gas-2.21.1	2011	657752	299883	17679	297601	1210	18372
gas-2.23	2012	741256	331150	19107	343251	1210	18505
gas-2.24	2013	857561	344549	19385	443582	1227	18495
gas-2.25.1	2014	920727	353087	19735	496601	1226	18705
gas-2.26	2015	936558	361988	20184	502492	1475	18673
gas-2.27	2016	948121	365455	20251	508292	1475	18781
gas-2.29	2017	1015398	374910	20722	560893	1475	18867
gas-2.30	2018	1024998	376100	20801	568653	1475	18868
gas-2.33.1	2019	1062921	387477	19823	585757	1475	19368
gas-2.34	2020	1073038	390914	19878	591863	1475	19368
gas-2.35	2020	1085119	393991	19864	598344	1475	19418
gas-2.35.1	2020	1085765	394270	19875	598679	1475	19418
gas-2.35.2	2021	1087330	394832	19887	598835	1475	19418
gas-2.36	2021	1089709	394420	19996	601105	1475	19457
gas-2.36.1	2021	1089647	394406	19996	601057	1475	19457
gas-2.37	2021	1094412	395231	19949	604584	1475	18240
gas-2.38	2022	1120108	402178	20331	620178	1475	18289
gas-2.39	2022	1121815	402010	20300	620418	1475	18291
gas-2.40	2022	1146330	405232	20615	633360	1475	18590
gas-2.41	2022	1173261	408672	20670	646622	1475	18589
gas-2.42	2022	1245070	417690	55383	669659	1475	20646
gas-2.43	2022	1264146	420483	56703	681136	1475	20644
gas-2.43.1	2022	1264211	420486	56703	681196	1475	20644

Можно заметить, что ассемблер GAS написан на языке С и языке ассемблера. С 1996 по 2022 г. исходные тексты увеличивались почти на порядок, а ассемблерная часть – более, чем в 30 раз. Это объясняется появлением новых аппаратных архитектур, поддерживаемых GCC и GAS. Код на интерпретируемых языках используется в целях, аналогичных его использованию в GCC. При разработке свободно распростра-

няемого программного обеспечения помимо ассемблера GAS применяют и другой ассемблер – NASM (Netwide Assembler). Последний ориентирован на архитектуру Intel. Его исходный код также является открытым. Исходные тексты ассемблера NASM, как и ассемблера GAS, написаны на языке С и языке ассемблера (табл. 5, 6).

Объемы кода NASM на языке С регулярно увеличивались, но иногда несколько сокра-

Таблица 6

Объемы кода ассемблера NASM (С, Ассемблер)

Версия	Год	Всего строк	С	h,hpp	Ассемблер
nasm-0.99.05	2007	75676	52769	4055	5760
nasm-2.00	2008	82575	54168	4163	10343
nasm-2.01	2008	82566	54158	4164	10343
nasm-2.02	2008	83601	55035	4184	10375
nasm-2.03	2008	104681	74180	4997	10899
nasm-2.04	2008	107994	75730	5021	11752
nasm-2.05	2008	108915	75892	5027	12397
nasm-2.06	2009	119532	82368	6880	13431
nasm-2.07	2009	121534	84398	6836	13431
nasm-2.08	2010	119238	81143	7393	13430
nasm-2.08.01	2010	119238	81143	7393	13430
nasm-2.08.02	2010	116592	81145	7393	13430
nasm-2.09	2010	115780	79262	8023	13861
nasm-2.09.01	2010	115788	79270	8023	13861
nasm-2.09.02	2010	115911	79325	8023	13929
nasm-2.09.03	2010	115931	79345	8023	13929
nasm-2.09.04	2010	116025	79394	8025	13952
nasm-2.09.05	2011	116031	79391	8025	13961
nasm-2.09.06	2011	116045	79398	8025	13968
nasm-2.09.07	2011	116064	79401	8025	13984
nasm-2.09.08	2011	116079	79411	8030	13984
nasm-2.09.09	2011	116086	79418	8030	13984
nasm-2.09.10	2011	116086	79418	8030	13984
nasm-2.10	2012	123497	84585	8155	16003
nasm-2.11	2013	141549	93222	9021	23964
nasm-2.11.02	2014	141659	93313	9028	23976
nasm-2.11.03	2014	141658	93312	9028	23976
nasm-2.11.08	2015	146763	98092	9154	24004
nasm-2.12rc7	2016	147321	98222	9222	24004
nasm-2.13	2017	151465	100104	10231	24207
nasm-2.13.02	2017	152362	100663	10266	24331
nasm-2.13.03	2017	152748	101000	10293	24353
nasm-2.14.01	2018	157122	103365	11090	24548
nasm-2.14.02	2018	157150	103366	11090	24575
nasm-2.15	2020	198333	113692	13083	48968
nasm-2.15.01	2020	198507	113850	13099	48968
nasm-2.15.02	2020	198832	113833	13131	49130
nasm-2.15.03	2020	199535	114410	12694	49285
nasm-2.15.04	2020	200543	114901	12706	49488
nasm-2.15.05	2020	203321	114899	12713	51808

щались (версии 2.08 и 2.09), что может говорить, скорее всего, о чистках кода при переходе от версии к версии. Интерпретируемые языки в исходных текстах NASM (табл. 7) используются аналогично их назначению в GAS и GCC.

Ассемблерная часть NASM с 2007 г. увеличилась почти на порядок, в то время как аналогичная часть кода GAS за тот же период выросла менее, чем в три раза.

В табл. 8 и 9 приведены объемы исходных текстов набора утилит GNU binutils с 1996 по 2024 г. Основная часть кода написана на языках C, C++ и языке ассемблера (табл. 8). Можно отметить, что объем ассемблерной части достаточно велик и приближается уже к миллиону строк.

Количество различных языков, встречающихся в исходных текстах GNU binutils, также

Таблица 7

Объемы кода ассемблера NASM (Python, Perl, sh, Bash)

Версия	Год	Всего строк	Python	Perl	sh	Bash
nasm-0.99.05	2007	75676	0	4618	7967	96
nasm-2.00	2008	82575	0	5057	8336	96
nasm-2.01	2008	82566	0	5057	8336	96
nasm-2.02	2008	83601	0	5159	8336	96
nasm-2.03	2008	104681	0	5757	8336	96
nasm-2.04	2008	107994	0	6092	8871	96
nasm-2.05	2008	108915	0	6159	8871	96
nasm-2.06	2009	119532	0	6798	9483	96
nasm-2.07	2009	121534	0	6786	9483	96
nasm-2.08	2010	119238	0	6980	9692	96
nasm-2.08.01	2010	119238	0	6980	9692	96
nasm-2.08.02	2010	116592	0	6980	7044	96
nasm-2.09	2010	115780	0	6989	7044	96
nasm-2.09.01	2010	115788	0	6989	7044	96
nasm-2.09.02	2010	115911	0	6989	7044	96
nasm-2.09.03	2010	115931	0	6989	7044	96
nasm-2.09.04	2010	116025	0	6989	7064	96
nasm-2.09.05	2011	116031	0	6989	7064	96
nasm-2.09.06	2011	116045	0	6989	7064	96
nasm-2.09.07	2011	116064	0	6989	7064	96
nasm-2.09.08	2011	116079	0	6989	7064	96
nasm-2.09.09	2011	116086	0	6989	7064	96
nasm-2.09.10	2011	116086	0	6989	7064	96
nasm-2.10	2012	123497	0	7022	7126	101
nasm-2.11	2013	141549	104	7404	7228	101
nasm-2.11.02	2014	141659	104	7404	7228	101
nasm-2.11.03	2014	141658	104	7404	7228	101
nasm-2.11.08	2015	146763	104	7367	7436	101
nasm-2.12rc7	2016	147321	104	7370	7790	101
nasm-2.13	2017	151465	104	7020	9453	105
nasm-2.13.02	2017	152362	104	7020	9625	105
nasm-2.13.03	2017	152748	104	7020	9625	105
nasm-2.14.01	2018	157122	104	7104	10551	105
nasm-2.14.02	2018	157150	104	7104	10551	105
nasm-2.15	2020	198333	532	7503	12262	111
nasm-2.15.01	2020	198507	532	7503	12262	111
nasm-2.15.02	2020	198832	532	7514	12399	111
nasm-2.15.03	2020	199535	532	7551	12769	111
nasm-2.15.04	2020	200543	532	7626	12971	111
nasm-2.15.05	2020	203321	661	7626	12971	111

Таблица 8

Объемы кода GNU binutils (C/ C++, Ассемблер)

Версия	Год	Всего строк	C	C++	h,hpp	Ассемблер
binutils-2.7	1996	459288	339611	226	81188	18938
binutils-2.8	1997	512776	380572	226	87697	21292
binutils-2.9	1998	572216	422704	252	92801	22225
binutils-2.10.1	2000	721208	516154	325	111381	31159
binutils-2.11	2001	949808	591078	364	118448	168137
binutils-2.12	2002	1079918	695481	364	125218	181892
binutils-2.14	2003	1264511	805903	391	136286	239297
binutils-2.15	2004	1312189	828510	391	131453	258726
binutils-2.16.1	2005	1398216	869500	391	131732	283444
binutils-2.17	2006	1639453	1064613	391	138935	296128
binutils-2.18	2007	1737161	1096502	561	148634	315993
binutils-2.19.1	2008	1961171	1163335	50248	203594	352758
binutils-2.20.1	2009	2059445	1238701	60853	210298	361586
binutils-2.21.1	2011	2192033	1305463	79012	225873	380561
binutils-2.23	2012	2430984	1446658	92402	250474	431515
binutils-2.24	2013	2639693	1492180	107935	284975	541181
binutils-2.25.1	2014	2800397	1542678	124151	322042	596018
binutils-2.26	2015	2939101	1603395	135144	354148	611318
binutils-2.27	2016	2975443	1618259	139557	357159	622200
binutils-2.29	2017	3096069	1662684	142276	366011	680329
binutils-2.30	2018	3128444	1670478	143142	377354	691609
binutils-2.33.1	2019	3151844	1682600	147283	340052	712672
binutils-2.34	2020	3170305	1689662	147360	336231	719536
binutils-2.35	2020	3190206	1695451	147491	337614	729017
binutils-2.35.1	2020	3191467	1696115	147576	337658	729451
binutils-2.35.2	2021	3195037	1698210	147911	337731	729683
binutils-2.36	2021	3217944	1708242	147978	345208	734013
binutils-2.36.1	2021	3217686	1708142	147982	345095	733965
binutils-2.37	2021	3226158	1714449	148597	345636	738366
binutils-2.38	2022	3288381	1736676	148743	357420	761952
binutils-2.39	2022	3465517	1777024	232703	374757	755862
binutils-2.40	2023	3537137	1796377	232349	381326	773161
binutils-2.41	2023	3580543	1814160	232615	382249	786909
binutils-2.42	2024	3764906	1935104	234440	407043	811137
binutils-2.43	2024	3807842	1949383	234414	417678	824229
binutils-2.43.1	2024	3808215	1949531	234415	417829	824300

выросло (табл. 9). Некоторые из них носят вспомогательный характер или попали туда случайно вместе с кодом заимствованных библиотек. Например, так произошло с фрагментами кода на языке ADA. Общие объемы кода binutils выросли почти на порядок за период развития GNU binutils и приближаются к четырем миллионам строк. При этом следует учитывать, что в данной работе при подсчете строк исходного кода во всех рассматриваемых примерах мы учитывали только строки, содержащие операторы языка, и не включали строки, содержащие

исключительно строки комментариев или пустые строки.

В процессе анализа исходного кода при помощи собственного программного средства мы ориентировались не только на расширения файлов, но и на фактическое соответствие их содержимого синтаксису различных языков, а также логику их использования в общей структуре исходных текстов. На ряде примеров в данной работе было показано, что колебания объемов языковых компонентов исходных текстов средств разработки с открытым кодом могут служить доста-

Таблица 9

Объемы кода GNU binutils (Python, Perl, sh, Java, Objective C, ADA)

Версия	Год	Всего строк	ADA	Objective C	Python	Perl	sh	Java
binutils-2.7	1996	459288	0	218	0	0	14236	0
binutils-2.8	1997	512776	0	218	0	0	17009	0
binutils-2.9	1998	572216	0	218	0	36	25944	0
binutils-2.10.1	2000	721208	0	218	0	36	49121	0
binutils-2.11	2001	949808	0	218	0	1016	56942	0
binutils-2.12	2002	1079918	0	218	0	1441	60170	0
binutils-2.14	2003	1264511	0	218	0	1876	64746	0
binutils-2.15	2004	1312189	0	218	0	1887	74940	0
binutils-2.16.1	2005	1398216	0	218	0	1886	94001	0
binutils-2.17	2006	1639453	0	218	0	1914	113926	0
binutils-2.18	2007	1737161	0	218	0	2212	148598	0
binutils-2.19.1	2008	1961171	0	218	0	2212	161699	0
binutils-2.20.1	2009	2059445	0	218	0	2212	157115	0
binutils-2.21.1	2011	2192033	0	218	0	2442	164619	0
binutils-2.23	2012	2430984	0	218	0	2442	167771	0
binutils-2.24	2013	2639693	0	234	0	2459	168886	0
binutils-2.25.1	2014	2800397	0	234	0	2461	169886	0
binutils-2.26	2015	2939101	2840	234	0	2862	185330	0
binutils-2.27	2016	2975443	2840	234	0	2862	186327	0
binutils-2.29	2017	3096069	2840	234	0	2860	188132	0
binutils-2.30	2018	3128444	2840	234	0	2860	188649	0
binutils-2.33.1	2019	3151844	2840	234	0	2860	202930	0
binutils-2.34	2020	3170305	2840	234	0	2861	210683	0
binutils-2.35	2020	3190206	2840	234	0	2861	211299	0
binutils-2.35.1	2020	3191467	2840	234	0	2861	211309	0
binutils-2.35.2	2021	3195037	2840	234	0	2861	211309	0
binutils-2.36	2021	3217944	2840	234	0	2864	211898	0
binutils-2.36.1	2021	3217686	2840	234	0	2864	211897	0
binutils-2.37	2021	3226158	2840	234	0	2864	206959	0
binutils-2.38	2022	3288381	2840	234	0	2866	208682	0
binutils-2.39	2022	3465517	2840	234	0	2985	247268	603
binutils-2.40	2023	3537137	2840	234	0	2985	268165	603
binutils-2.41	2023	3580543	2840	234	0	2977	268540	723
binutils-2.42	2024	3764906	2840	234	0	2977	278326	723
binutils-2.43	2024	3807842	2840	234	648	2977	279081	723
binutils-2.43.1	2024	3808215	2840	234	648	2977	279081	723

точно простыми и информативными индикаторами их изменений и тенденций развития.

Библиографический список

1. Щекин С. В. Особенности эволюции средств разработки программного обеспечения с открытыми

исходными текстами // Научная сессия ГУАП. Ч. 2. СПб., 2019. С. 354–358.

2. Щекин С. В. Особенности эволюции средств разработки аппаратно зависимого программного обеспечения с открытыми исходными текстами // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах: Первая Всерос. науч. конф. СПб., 2020. С. 108–112.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

УДК 519.715:614

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-179-182

Н. А. Балонин*

доктор технических наук, профессор

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СОБСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

Показывается существенное различие между непрерывными, на бесконечном времени, и дискретными, на ограниченном временном отрезке, частотными характеристиками систем и сигналов. Приводится определение дискретных частотных характеристик линейных динамических систем финитного времени. Показывается, что дискретные частотные характеристики дополняют классические непрерывные, согласуются с ними по амплитудам и выступают как уточняющие, учитывающие важный для практики фактор – конечное время протекания процессов.

Ключевые слова: динамические системы, финитные системы, частотные характеристики, непрерывный спектр, дискретный спектр, элементарные звенья.

N. A. Balonin*

Dr. Sc., Tech., Professor

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

EIGENFUNCTIONS OF ELEMENTARY DYNAMIC LINKS

A significant difference is shown between continuous, infinite-time, and discrete, limited-time frequency characteristics of systems and signals. The definition of discrete frequency characteristics of linear dynamical systems of finite time is given. It is shown that discrete frequency characteristics complement the classical continuous ones, agree with them in amplitudes, and act as clarifying ones, taking into account an important factor for practice – the finite time of the processes.

Keywords: dynamical systems, finite systems, frequency characteristics, continuous spectrum, discrete spectrum, elementary links.

Введение

Фиксация временного интервала у динамических систем создает условия для возникновения счетного базиса, а дифференциация динамической системы на элементарные звенья порождает инструменты влияния на этот базис в рамках понятной проработанной в теории управления классификации [1; 2]. Частоты описываются координатами точек, лежащих на квадратичной поверхности.

Собственные значения, собственные векторы матриц

Собственное значение λ матрицы $\mathbf{A}$ – это коэффициент усиления ее собственного вектора $\mathbf{v}$, сохраняющего свое направление в простран-

стве при умножении на матрицу $\mathbf{A}\mathbf{v} = \lambda\mathbf{v}$. Это уравнение можно переписать относительно искомого собственного вектора в виде $(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})\mathbf{v} = 0$, где $\mathbf{I}$ – единичная матрица. Тривиальное решение $\mathbf{v} = (\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})^{-1}$ нас не интересует, а нетривиальные возможны лишь при вырожденном $(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})$, т. е. $\det(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I}) = 0$. Это *характеристическое уравнение матрицы*, где в левой части полином порядка n от λ , где n – порядок матрицы. Отсюда следует, что каждая матрица имеет не более, чем n значений собственных чисел.

Спектром матрицы называется совокупность всех ее собственных чисел, представляемых матрицей $\mathbf{D} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, отвечающей матрице $\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n]$ всех ее собственных векторов $\mathbf{A} = \mathbf{VDV}^{-1}$. В дальнейшем будем использовать обобщение этих понятий на динамические системы.

В теории матриц квадратная матрица A и симметричная $A^T A = A A^T$ (квадрирование матрицы) идут связкой в задачах при поиске собственного вектора v матрицы A из уравнения $Av = \lambda v$ или ее сингулярного вектора из уравнения $A^T A x = \sigma^2 x$ (т. е. собственный вектор $A^T A$). $\sigma \geq 0$ – сингулярное число.

Собственные значения, собственные функции динамических систем

Вопрос выделения ортогонального базиса собственных функций связан с тем, что понимается под динамической системой. Если система с флипированным входом или выходом, то он отражен «в зеркале» – это линейная операция. Приведем несколько определений [3].

Определение 1. Не искажаемый линейной динамической системой входной сигнал (при сравнении вход или выход инвертируется во времени) по аналогии с собственным вектором матриц назовем *собственной функцией* системы.

Математически линейные динамические системы, как и матрицы, должны обладать базисом собственных функций. В силу новизны постановки задачи, когда вход или выход флипирован, собственные функции элементарных динамических звеньев не известны даже специалистам по динамике.

Определение 2. Коэффициент усиления λ сигнала в виде собственной функции будем называть *собственным значением* линейной динамической системы.

Определение 3. Совокупность собственных значений динамической системы будем называть ее *спектром*.

Определение 4. Главной собственной функцией (ГСФ) будем называть функцию, отвечающую максимальному по модулю собственному значению.

Остальные собственные функции назовем *младшими*. Можно выделять подмножество старших собственных функций, отличающихся от ГСФ только параметрически.

Передаточная функция динамической системы $Q(p)$ [1] – это изображение по Лапласу сигнала – реакции системы на дельта-функцию, в спектре которой равномерно представлены все возможные гармоники. Введем в рассмотрение функцию $R(p) = Q(p)Q(-p)$ [3], отвечающую не спектру $\lambda(p)$, а значениям $\sigma^2(p)$ линейных динамических систем, описываемых передаточной функцией $Q(p)$.

У симметричных операторов, матриц и динамических систем $\lambda(p)$ вещественно и отвеча-

ет корню квадратному из $\sigma^2(p)$. Флипирование ведет к симметрии [3]. Корень квадратный из модуля $R(p)$ вдоль мнимой оси $p = j\omega$ совпадает с традиционной амплитудно-частотной характеристикой динамической системы, т. е. с коэффициентами усиления амплитуд $|Q(p)|$ гармонических сигналов частоты ω .

Для всех остальных значений комплексного аргумента p эти функции различны между собой, $R(p)$ отражает усиление квадратов норм входных гармонических сигналов. Комплексный аргумент $p = \alpha + j\omega$, кроме привычных в частотном анализе синусов частоты ω , вводит отдельные или умножаемые на них гиперболические синусы (шинусы) частоты α .

Определение 5. Обобщенной АЧХ будем называть корень из модуля $R(p)$. Она обладает парной симметрией относительно вещественной и мнимой осей, графики ее на полной плоскости можно сократить, переходя к вырезанной положительностью α и ω четверти, как представлено на рис. 1.

При фиксированном коэффициенте усиления число подходящих для сборки суммы гармоник, образующих собственную функцию, равно порядку динамической системы.

Следовательно, в плоскости аргумента проходит управляемая высотой сетка линий (решетка), на которых решение возможно. К ней относятся прежде всего мнимая, а потом, с ростом порядка, и вещественная оси.

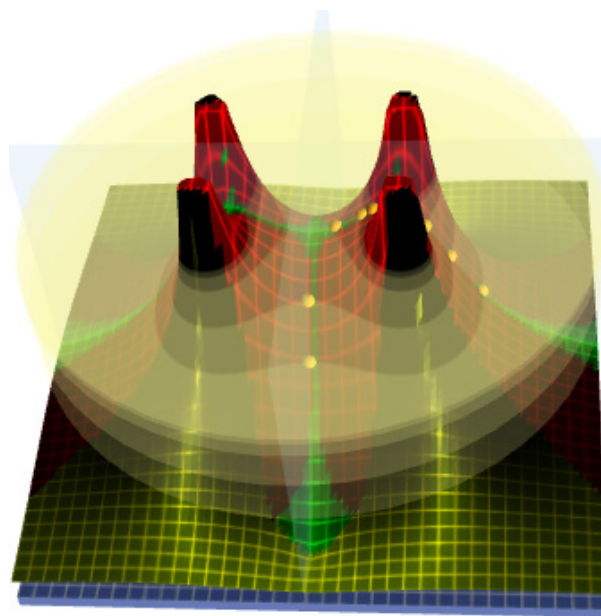


Рис. 1. Двоякосимметричная обобщенная АЧХ

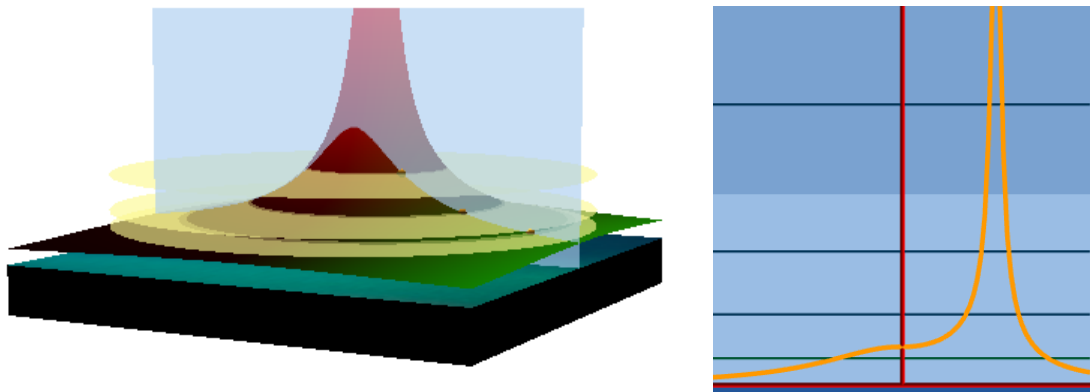


Рис. 2. Виды объемной и плоской АЧХ по срезам $Q(p)$

Резонанс – явление резкого увеличения амплитуды реакции динамической системы при совпадении частоты вынуждающего воздействия с некой резонансной частотой. Если время воздействия ограничено, классический резонанс попросту не успевает развиваться и проявить себя. И вот тогда заново возникает вопрос: что же такое резонанс?

Резонансная частота не соблюдается, она невозможна, но ведь явление повышения амплитуды никто не отменял, по-прежнему есть резонансный сигнал – ГСФ, т. е. полигармонический сигнал из суммы сигналов парных частот, не обязательно синусоидальных. Ортогональные между собой полигармонические сигналы, собственные функции, отвечают резонансным коэффициентам усиления, образующим *дискретный частотный спектр* (ДЧХ).

Логика расчетов состоит в том, что число составляющих полигармонического сигнала равно порядку динамической системы и подаются они так, чтобы возбуждаемые ими собственные (свободные) движения гасили друг друга, не давая им исказить вынужденную реакцию – собственную функцию.

Для анализа простейших звеньев с ГСФ в виде классического биения (разность синусов двух близких частот) чтобы выявлять одинаковые коэффициенты усиления достаточно среза $Q(p)$ вдоль мнимой оси. Можно объединить срезы «вулканчика» АЧХ, осуществленные на комплексной плоскости под 90 градусов для положительных аргументов α и ω . Один срез вдоль вещественной оси корня модуля $R(p)$, равно-го полу-сумме $Q(p)$ и $Q(-p)$, другой (обычная АЧХ) – вдоль мнимой оси $Q(p)$ (рис. 2).

График среза по α разворачиваем, чтобы стыковать их общим для них нулем. Это удобно для выявления двух типов биений, классическое биение объединяет две частоты ω_1 и ω_2 ,

в данном же случае срез выявляет собственные функции с парными частотами α и ω .

Рассмотрим для примера двойной интегратор $Q(p) = 1/p^2$. В теоретической физике это звено отвечает закону Ньютона, связывающему с силой (входным сигналом) массу и ускорение. Для простоты примера пусть масса равна единице. Точки коэффициентов усиления гиперболических гармоник должны размещаться на корне из модуля $R(p)$. Для уравновешенных «вулканчиков» этот корень совпадает с модулем $Q(p)$, причем в силу симметрии $\alpha = \omega$.

Собственная функция двойного интегратора (в отличие от синусоиды одинарного) содержит суммы круговых и гиперболических гармоник:

$$f(t) = \sin(\omega t) - \text{sh}(\omega t) - \eta(\cos(\omega t) - \text{ch}(\omega t)).$$

Функция отвечает нулевым начальным условиям условиям $f(0) = 0, f'(0) = 0$, значение коэффициента связи η установим [3] из $\lambda f''(T) = u(T) = 0$:

$$\eta = (\sin(\omega T) + \text{sh}(\omega T))/(\cos(\omega T) + \text{ch}(\omega T)).$$

С учетом того, что спектр $\lambda = \pm 1/\omega^2$, граничное условие $f''(0) = u(0) = f(T)/\lambda$ дает *характеристическое уравнение* двойного интегратора виде

$$\sin(\omega T) - \text{sh}(\omega T) - (\cos(\omega T) - \text{ch}(\omega T))\eta \pm 2\eta = 0.$$

Перед нами аналог уравнения $\det(\mathbf{A} - \mathbf{I}) = 0$, дающий не несколько, а бесконечное количество решений, т. е. все точки бесконечного спектра. Причем частота ГСФ аппроксимируется простым выражением $\omega = 0,6*\pi/T$ [3]. Для одинарного интегратора собственная функция – четверть синусоиды. Здесь и того меньше – почти острый треугольник по форме: главная собственная функция описывается приближенно как $f(t) = \sin(\omega t + \theta) - \sin(\theta) = 1 - \cos(\omega t)$.

Заключение

Перед нами закон Ньютона в формулировке для финитного времени T , дающий спектральные линии атома водорода значительно более простым путем. На конечный интервал времени взаимодействия намекает атомная структура вещества.

Теория автоматического управления возникла как реакция на преимущества исчисления Хевисайда, избегавшего в выкладках интегралов. Теоретическая физика, решавшая краевые задачи, не опиралась на передаточные функции, это аппарат развился и стал широко известен лишь во второй половине XX столетия. Ближе к началу нового века возникли ганкелевы сингулярные функции, вычисляемые при разнесении интервалов управления и наблюдения (задача дискобола), их популяризировал пакет Матлаб.

Для задач спорта, например, при поднятии штанги за ограниченный интервал времени, ганкелевы функции не интересны, они уступают ГСФ, но аппарат ГСФ мало известен и популяризируется статьей [4].

Мы показали, что для вычисления собственных функций динамических систем предложенный в работе [3] подход приносит успех в решении задач на конечном интервале времени. Также, как и импульсная весовая функция, ГСФ является полным описанием динами-

ческой системы. Это альтернативная форма, через повторяемый системой зеркально отраженный сигнал на входе. Очень важный (и до сих пор мало известный в научной литературе) сигнал, ведь ГСФ описывает резонанс на заданном конечном интервале времени T .

В атомной физике известен дефицит моделей спектров более сложных, чем водород. Этот дефицит отчасти может быть восполнен расчетами ГСФ более сложных динамических звеньев, это методика с широкой сферой приложения и в спорте, и в физике, и в прочих сходных областях.

Библиографический список

1. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. М.: Энергия, 1980. 312 с.
2. Glover K. Alloptimal Hankel-norm approximations of linear multivariable systems // International Journal of Control. 1984. Vol. 39, № 6. P. 1115–1193.
3. Балонин Н. А. Дискретные частотные характеристики элементарных динамических звеньев // Информационно-управляющие системы. 2015. № 4. С. 17–24.
4. Балонин Н. А., Сергеев М. Б., Суздаль В. С. Финитные модели динамики в спорте // Информационно-управляющие системы. 2016. № 3. С. 34–37.

УДК 621.39

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-183-186

А. В. Гордеев

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ВИРТУАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ПАМЯТИ С ПРЯМЫМ ДОСТУПОМ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ТОМА

Рассмотрены основные идеи виртуализации устройств внешней памяти, начиная от разбиения их на разделы и до создания устройств, которые могут изменять свои размеры (объем) непосредственно во время работы с ними, без перезагрузки системы.

Ключевые слова: раздел, том, физический том, логический том, LVM, LDM.

A. V. Gordeev

Dr. Sc., Tech., Professor

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DIRECT ACCESS STORAGE DEVICE VIRTUALIZATION. DYNAMIC VOLUMES

The main ideas of virtualization of external memory devices are considered, starting from their partitioning and up to the creation of devices that can change their size (volume) directly while working with them without rebooting the system.

Keywords: section, volume, physical volume, logical volume, LVM, LDM.

Устройства внешней памяти с прямым доступом – это устройства, при работе с которыми можно произвольно указывать адрес некоторого блока данных, который будет корректным для этого устройства. Чтение и запись данных для таких устройств осуществляется только блоками, и с некоторых пор размер блока стал стандартным и равным 512 байт, а для твердотельных накопителей он считается таковым логически, в то время как физически он может быть равным 2048, 4096 байт, и даже больше. Напомним, что в первые годы работы с такими блочными устройствами пользователь мог самостоятельно осуществлять разбиение общего объема памяти накопителя на блоки и выбирать размер блока. Эта процедура называлась низкоуровневым форматированием. Осуществлялась такая процедура через BIOS. В настоящее время это уже невозможно, и низкоуровневое форматирование выполняется на заводе-изготовителе накопителя.

Технология разбиения накопителей на жестких магнитных дисках (НЖМД) на так называемые разделы (Partitions) имела несколько основных целей. С одной стороны, это позволяло более экономно использовать дорогостоящие накопители и на одном устройстве создавать несколько виртуальных. Это осуществля-

лось за счет того, что каждому разделу сопоставлялся так называемый «логический» (виртуальный) диск. Затем для увеличения возможного числа таких логических дисков ввели специальный раздел, названный «расширенным», который, в свою очередь, тоже можно было разбить на несколько логических дисков. На каждом логическом диске можно было создать свою файловую систему.

С другой стороны, логические диски позволяют ввести и использовать относительную адресацию блоков (абсолютные адреса блоков легко определить, поскольку известны начало и конец каждого раздела), создавать операционные системы, которые не зависят от реально используемых накопителей, а работают с виртуальными.

При всех удобствах этой технологии у нее есть и недостатки. Размеры этих виртуальных (логических) дисков ограничены размерами разделов, а они, в свою очередь, зависят от объемов самих накопителей. Поэтому в последние годы прошлого века была разработана концепция так называемых логических томов (Logical Volume – LV), под которыми понималось уже разрывное множество блоков. Если обычный логический диск представляет собой непрерывное множество блоков, расположенных в преде-

лах одного накопителя, то томом стали называть некое виртуальное блочное устройство, подмножества блоков в котором могут располагаться в разных разделах нескольких накопителей (чаще всего на специальных разделах некоторых накопителей). Специальной сигнатурой раздела в таблице разделов обозначали что он предназначен не для создания из него логического диска, а для создания из таких разделов уже тома. Другими словами, тома могут быть распределенными по устройствам, в то время как логический диск, блоки которого располагаются в одном разделе, является частным случаем тома.

Прежде всего тома стали использовать при создании RAID-массивов [1]. Именно на томе создается файловая система. На каждом томе мы можем создавать свою файловую систему. Вторым направлением использования томов стала технология их расширения (увеличения объема) без необходимости создания нового тома большего размера и переноса туда файлов, а «динамически», «на лету».

Компания IBM и компания Red Hat создали свои версии системного ПО для работы с динамическими томами. И назвали его Logical Volume Manager (LVM), т. е. специальное ПО для работы с логическими томами [2]. А компания Microsoft создала немного другую технологию и назвала ее Logical Disk Manager (LDM) [3]. Возможности LDM оказались более ограниченными. Динамические диски нельзя уменьшать, их можно только расширять. Среди разных типов томов только так называемый «составной» или «расширяемый» том – Spanned Volume – позволяет увеличивать свой размер за счет присоединения к нему новых разделов, причем делать это можно без потери данных и без перезагрузки системы. Уменьшать размеры составного тома в LDM нельзя. В то время как LVM допускает не только расширение тома, но и его уменьшение при условии, что на нем есть свободное пространство, которое и изымается из его объема. Правда, предварительно нужно осуществлять операцию по уплотнению дискового пространства с целью сгруппировать занятые данными блоки в одном месте для дальнейшего их изъятия из тома.

LVM абстрагируется от физических устройств. Вводится понятие группы томов (Volume Group – VG), которое представляет собой множество физических томов (Physical Volume – PV). При этом под физическим томом понимается либо физическое устройство, либо раздел на физическом устройстве. Предпочтительнее использовать разделы, а не устрой-

ства. Дело в том, что при создании раздела на устройстве в predetermined месте создается таблица разделов. И в этой таблице указывается назначение каждого раздела. Для создания группы томов из физических томов даже введена специальная сигнатура, обозначающая их предназначение, что в дальнейшем облегчает формирование такой группы только из заготовленных для этого разделов.

Для изменения размеров томов используются так называемые экстенды (Extent). Изначально экстенды были введены как средство, позволяющее уменьшать фрагментацию файлов. При записи файлов их данные, как правило, располагаются в свободных кластерах. И со временем по мере неоднократного увеличения множества файлов кластеры разных файлов начинают чередоваться; они перемешиваются, что и приводит к сильной фрагментации. Размер кластера задается при форматировании тома.

Экстенд представляет собой неразрывное множество кластеров заданного объема, и размер экстенда многократно больше размера кластера. Например, размер кластера может быть равен 4 КБ и включает 8 блоков по 512 Б каждый. Экстенд может быть равен, например, 4 МБ и, тем самым, группирует сразу 1024 кластера. При увеличении файла его кластеры будут размещаться в зарезервированном экстенде или для него будет выделен очередной экстенд, что позволит в дальнейшем записать туда кластеры с данными этого, а не другого файла. Очевидно, что уменьшение фрагментации заметно ускоряет скорость работы дисковой подсистемы за счет уменьшения излишнего позиционирования головки чтения/записи в НЖМД.

При создании группы томов тоже используют экстенды, в которых измеряются физические тома. И в дальнейшем, при разбиении этой группы на логические тома, получают эти тома с картой распределения экстендов по исходным физическим томам. Это называется отображением виртуальных томов на физические. При этом отображение может быть как простейшим – линейным, так и более сложным, например с чередованием. Чередование (Striping) – это известная технология создания RAID-массивов [1]. Данные разбиваются на порции, называемые полосами (Stripe), и эти полосы можно параллельно записывать на группу НЖМД, из которых собран RAID-массив. Наиболее интересны RAID-массивы, в которых чередование позволяет не только поднять скорость работы с дисковыми накопителями, но и записывать на диски избыточные данные, что повышает

надежность хранения данных. Кстати, технология LVM позволяет использовать технологии RAID уже на этапе создания томов. При этом затем уже из полученных логических томов вновь можно использовать технологии RAID и создавать высокопроизводительные и высоконадежные устройства.

Для изменения объема логического тома следует применять специальную команду `lvresize`, которая входит в состав упомянутого ПО. Не все файловые системы поддерживают такую операцию. Современная файловая система Ext4, которая используется в большинстве инсталляций GNU/Linux, поддерживает такую возможность. Поэтому можно как увеличивать, так и уменьшать размер логического тома. Правда, предварительно нужно изменить размер собственно файловой системы; это делается с помощью команды `resize2fs`. Указанные команды хорошо документированы; справку можно получить с помощью ключа `--help`.

Увы, неправильное использование этих команд может привести к потере данных или некорректной работе файловой системы. Поэтому стоит еще раз заметить, что перед уменьшением логического тома следует уплотнить размещение файлов на этом томе, т. е. переместить файлы в начальную область этого виртуального файлового пространства. Причем не следует забывать о главном правиле: выполнение всех подобных операций должно начинаться с создания резервных копий данных.

Для удаления неиспользуемых физических томов (PV) из группы томов (VG) следует использовать команду `vgreduce`. Команда `vgreduce` уменьшает емкость группы томов, удаляя один или несколько пустых физических томов. Это освобождает указанные физические тома для использования в других группах томов или вообще для удаления из системы. Для освобождения физических томов от содержащихся на них данных тоже есть соответствующая команда – `pvmove /dev/source_pv /dev/target_pv`. Параметры `source_pv` и `target_pv` указывают источник и цель перемещения данных соответственно.

Еще одним интересным механизмом LVM являются так называемые снимки (Snapshots). Снимок – это логический том, который представляет собой копию данных другого логического тома (оригинального тома) в определенный момент времени. Эта функция позволяет администратору создавать новое блочное устройство, представляющее собой точную копию логического тома, зафиксированную на определенный момент времени. При этом не останавливается работающая система, которая

продолжает изменять данные. После создания снимка можно использовать его для различных целей, например для резервного копирования данных, тестирования программного обеспечения, восстановления данных и т. д. При этом основной том продолжает работать, и его содержимое будет изменяться независимо от снимка. Когда снимок больше не нужен, его можно удалить с помощью команды `lvremove`, как для обычного логического тома. При необходимости можно сделать откат к исходному состоянию тома.

В настоящее время реализации LVM существуют практически во всех UNIX-подобных операционных системах, в том числе в системах семейства GNU/Linux. Часто они сильно различаются в реализации, но все они основаны на общей идее и преследуют аналогичные цели. В ОС GNU/Linux используется пакет `lvm2` совместно с программным обеспечением `dmsetup`. Обычно это программное обеспечение входит в состав дистрибутива и устанавливается по умолчанию, но если это не так, то его можно установить в систему. Наиболее удобное использование LVM предлагается в ОС Astra Linux, которая относится к наиболее употребляемой операционной системе семейства GNU/Linux. Уже при установке операционной системы на этапе распределения дискового пространства пользователю предлагается воспользоваться средствами LVM и даже автоматически разбить внешнюю блочную память с помощью технологии LVM. В дальнейшем при возникновении необходимости перераспределять пространство внешней памяти будет больше возможностей и гибкости. Однако гораздо лучше, если пользователь вручную, самостоятельно спланирует создание нужных ему томов и заложит на будущее возможность изменять их размеры в случае необходимости. Поэтому при обучении студентов на кафедре вычислительных систем и сетей поставили несколько лабораторных работ, в которых они должны ознакомиться с описанными технологиями и выполнить задания по работе с динамическими томами, существующими как на платформе Microsoft Windows, так и на платформе GNU/Linux.

Если технология LVM является открытой и полностью документирована, то технология динамических дисков у компании Microsoft является не просто проприетарной, а закрытой. Ее реализация не описана, а есть только руководства по ее использованию. Более того, если некоторый физический диск при инициализации его в какой-нибудь системе Windows сделать динамическим (это осуществляется с помощью про-

граммы LDM), то дальше работа с таким устройством возможна только в системах Microsoft. При этом информация о томах, создаваемых на

динамическом диске, записывается в специальный раздел минимального объема, размер которого определяется размером цилиндра.

Библиографический список

1. Семченко А. RAID. Краткий путеводитель по технологии. URL: <https://miran.ru/blog/raid-kratkiy-putevoditel-po-tehnologii> (дата обращения: 28.11.2024).

2. Уорд Б. Внутреннее устройство Linux. 3-е изд. СПб.: Питер, 2022. 480 с.

3. Microsoft Windows Server 2008 R2. Полное руководство: пер. с англ. М.: Вильямс, 2012. 1456 с.

УДК 004.4

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-187-189

Е. К. Григорьев

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ И МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Представлен обзор программного обеспечения, предназначенного для обучения студентов техническим вычислениям и модельно-ориентированному проектированию. Рассмотрены основные функциональные возможности и преимущества каждого из рассматриваемых инструментов. Обзор поможет выбрать наиболее подходящее программное обеспечение для обновления рабочих программ дисциплин.

Ключевые слова: MATLAB, Engae, Scilab, GNU Octave, модельно-ориентированное проектирование.

E. K. Grigoriev

Senior Lecturer

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

REVIEW OF SOFTWARE FOR TEACHING STUDENTS TECHNICAL COMPUTING AND MODEL-BASED DESIGN

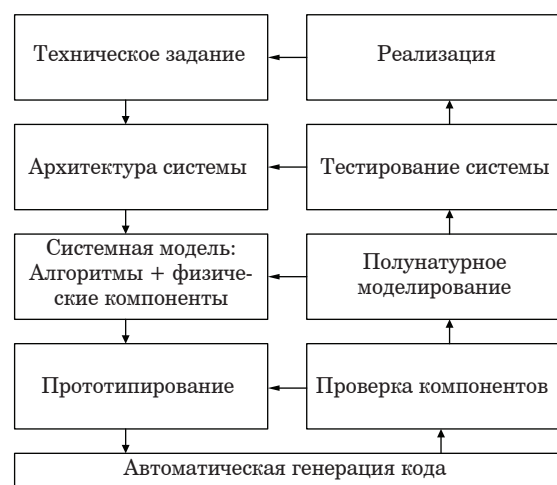
This paper presents an overview of software designed to teach students technical computing and model-based design. The main functional capabilities and advantages of each of the tools under consideration are considered. The review will help to choose the most suitable software for updating the work programs of the disciplines.

Keywords: MATLAB, Engae, Scilab, GNU Octave, model-based design.

Традиционные процессы разработки сложных технических систем, например в аэрокосмической отрасли, предполагают тестирование разрабатываемой системы на последних этапах цикла разработки, когда выявленные ошибки требуют значительных экономических затрат, а изменение проектной документации затягивает сроки разработки.

Современный процесс разработки предполагает использование модельно-ориентированного проектирования (МОП). МОП – «это математический и визуальный метод решения задач, связанных с проектированием систем управления, обработки сигналов и связи» [1]. Структурная схема модельно-ориентированного подхода к проектированию представлена на рисунке. Использование принципов МОП в аэрокосмической отрасли, как отмечается участниками международного конгресса по авионавтике, позволяет: «выявить ошибки и отклонения от требований на ранних стадиях создания систем, гарантировать качество, снизить стоимость разработки и изготовления, повысить степень коммуникации между участниками проекта» [2].

Традиционно в высших учебных заведениях, ведущих подготовку специалистов в сфере авиационной и ракетно-космической техники, для обучения студентов использовалось зарубежное программное обеспечение от компании



Структурная схема модельно-ориентированного подхода к проектированию

MathWorks – MATLAB, поскольку в данной сфере именно использование MATLAB/Simulink являлось стандартом. Однако на упомянутом конгрессе по авионавтике также отмечается, что «ограничительные политические и экономические меры, введенные государствами и международными организациями в отношении России, привели к тому, что дальнейшее использование зарубежных инструментов проектирования сложных систем таких брендов, как IBM, Dassault, MathWorks, Siemens, Ansys и т. п., стало стратегически бесперспективным для предприятий отечественной промышленности. Это требует адаптации и плавного управляемого внедрения новых программных инструментов обеспечения непрерывного процесса разработки авиационных систем в ключевых проектах государственной программы развития авиационной промышленности» [2]. Таким образом, целесообразно провести обзор программного обеспечения для возможности замены MATLAB/Simulink в рамках преподаваемых дисциплин.

Исторически первой альтернативой MATLAB было GNU Octave [3] – открытое программное обеспечение для математических вычислений, главным достоинством которого является совместимость программного кода с MATLAB. Однако для решения задач МОП Octave не подходит ввиду отсутствия аналога Simulink.

Другой альтернативой MATLAB служит Scilab [4] – открытое программное обеспечение. Синтаксис Scilab обладает сходством с MATLAB, однако не совместим. Существуют встроенные средства, позволяющие конвертировать MATLAB-код для работы в Scilab, но их использование ограничено несложными проектами. Главным достоинством Scilab в сравнении с GNU Octave как альтернативы MATLAB является наличие системы для модельно ориентированного проектирования Xcos.

Отечественная альтернатива MATLAB – облачная платформа математических вычислений и динамического моделирования Engage [5], написанная на языке программирования Julia. Как отмечают разработчики, «Engage поддерживает полный рабочий процесс по анализу данных», «не зависит от операционной системы пользователя» [6]. Пользователи могут запускать любые проекты, написанные с использованием MATLAB/Simulink, что позволяет облегчить переход на новое ПО.

Анализ источников по тематике работы [7–10] позволил провести сравнительный анализ программного обеспечения. Результаты приведены в таблице.

Сравнительный анализ ПО

Название	MATLAB	GNU Octave	Engage	Scilab
Лицензия	Да	Нет	Да	Нет
Расширения доступны бесплатно	Нет	Да	Да	Да
Совместимость с MATLAB	–	Да	Да	Нет
Кросс-платформенность	Да	Да	Да	Да
Поддержка МОП	Да	Нет	Да	Да

Таким образом, в качестве альтернативы MATLAB в рамках обучения студентов подходят две системы: Scilab и Engage. С точки зрения свободы распространения ПО и, как следствие, доступности студентам Scilab подходит больше, однако после 2022 г. и с учетом распоряжения правительства РФ от 02.03.2022 № 83 в российских вузах предпочтение следует отдать Engage, несмотря на то, что лицензия на ее использование является платной. Со временем все больше предприятий-разработчиков будут использовать именно отечественную среду МОП, а преподавателям высших учебных заведений не составит труда перенести свои курсы в Engage ввиду полной совместимости с MATLAB/Simulink.

Библиографический список

1. Ефремов А. А., Сорокин С. С., Зенков С. М. Модельно-ориентированное проектирование – международный стандарт инженерных разработок. URL: <https://matlab.ru/upload/resources/EDU%20Conf/pp%2040-43%20Sorokin.pdf> (дата обращения: 01.11.2024).
2. Богославский Н. В., Солоделов Ю. А., Чекин А. Ю. Импортзамещение инструментов для модельно-ориентированного проектирования // Международный конгресс по авионавтике: сб. тез., М., 04–05 дек. 2023 г. М.: Центр. аэрогидродинам. ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского, 2023. С. 646–648.
3. GNU Octave. URL: <https://octave.org/> (дата обращения: 01.12.2024).
4. Scilab. URL: <https://www.scilab.org/> (дата обращения: 01.12.2024).
5. Engage. URL: <https://engage.com/> (дата обращения: 01.12.2024).
6. Engage – лучшая альтернатива MATLAB, Simulink, Amesim. URL: <https://start.engage.com/Matlab-alternative> (дата обращения: 01.12.2024).
7. Ушаков В. А. Отечественная платформа математического моделирования Engage // Обработка, передача и защита информации в компьютерных

системах'24: Четвертая Междунар. науч. конф., 8–15 апр. 2024 г. СПб.: ГУАП, 2024. С. 120–122.

8. Семенцов М. Н., Алексеев С. А., Кургуз П. М. Проблемы модельно-ориентированного подхода к разработке авиационной техники в свете импортозамещения прикладного инженерного ПО // Международный конгресс по аэронавтике: сб. тез., М., 04–05 дек. 2023 г. М.: Центр. аэрогидродинам. ин-т им. проф. Н. Е. Жуковского, 2023. С. 665–667.

9. Сергеева В. В., Ляшенко Т. А. Применение современных информационных технологий в подготовке обучающихся технических направлений //

Актуальные вопросы энергетики в АПК: матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Благовещенск, 14 дек. 2023 г. Благовещенск: Дальневост. гос. аграр. ун-т, 2024. С. 187–190.

10. Жуковская И. Е. Основные направления импортозамещения программных продуктов в учебном процессе вузов в условиях цифровизации мировой экономической системы // Современные проблемы социально-экономических систем в условиях глобализации: сб. науч. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 27 окт. 2023 г. Белгород: БГНИУ, 2023. С. 364–368.

УДК 004.946

DOI: 10.31799/978-5-8088-2022-7-2025-5-190-200

А. В. Никитин*

кандидат технических наук, доцент

Е. Е. Майн*

преподаватель

Н. Н. Решетникова*

кандидат технических наук, доцент

И. А. Ситников*

ведущий программист

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ МЕТАВСЕЛЕННОЙ ГУАП

Рассмотрены основные программно-аппаратные решения ресурсов метавселенной, связанных с созданием и поддержкой экспериментальной среды для реализации перспективных учебно-исследовательских задач.

Ключевые слова: метавселенная, виртуальные двойники, пространственные вычисления, биологическая обратная связь, шлем Pico 4.

A. V. Nikitin*

PhD, Tech., Associate Professor

E. E. Main*

Lecturer

N. N. Reshetnikova*

PhD, Tech., Associate Professor

I. A. Sitnikov*

Lead Coder

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS IN THE SUAI METAVERSE

The main software and hardware solutions of the metauniverse resources related to the creation and support of an experimental environment for the implementation of promising educational and research tasks are considered.

Keywords: metaverse, virtual twins, spatial computing, biofeedback, Pico 4 helmet.

Повышение эффективности цифровизации деятельности человека в широком смысле связано с необходимостью решения таких базовых задач, как непосредственное взаимодействие с объектом деятельности, вовлечение в рабочий процесс всех органов чувств и моторики человека, поддержка совместной работы, что характерно для деятельности человека в обычной жизни – естественным и привычным путем. Один из подходов к решению вышеперечисленных задач и на их основе построение цифрового общества базируется на концепции метавселенной, которая находится на ранней стадии своей эволюции, ее содержание развивается, и разные исследователи по-своему обогащают ее значение.

Метавселенная ГУАП представляет собой объединение физического и 3D-цифрового мира, в котором географически распределен-

ные пользователи могут взаимодействовать в реальном времени друг с другом и с цифровыми объектами через своих аватаров. Взаимодействие может происходить как с помощью персональных компьютеров, мобильных устройств, так и устройств цифровых реальностей (шлемы, трекеры, симуляторы и т. п.).

В настоящее время результатом реализации проекта является прототип метавселенной в настольном и нашлемном исполнении с набором ресурсов для поддержки учебно-исследовательской работы и свободного общения. В качестве основных ресурсов разработаны голосовой и текстовый чаты, интерактивные 3D-модели ГУАП с прилегающими территориями, аватаров, многофункциональных аудиторий, виртуальных двойников, симуляторов дрона и автомобиля, полигонов для машинного обучения неигровых персонажей и беспилотного вождения

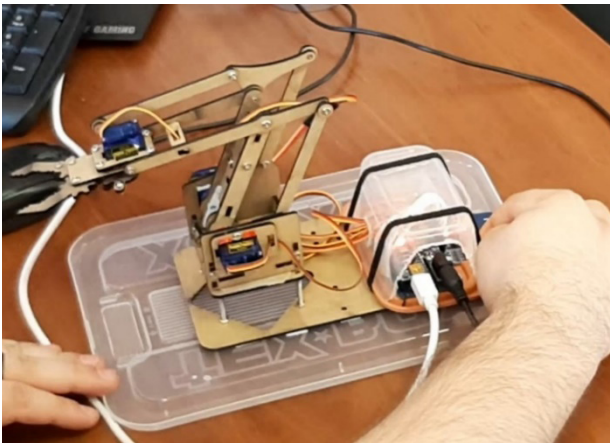


Рис. 1. Макет манипулятора

транспортных средств, управления аватарами за счет пространственных перемещений пользователя, стриминга, игровых приложений, включая управление игровым процессом пульсом игрока [1–3].

Рассмотрим основные программно-аппаратные решения ресурсов метавселенной, связанных с реализацией перспективных учебно-исследовательских задач.

1. Виртуальный двойник

Географически распределенные участники в период сессии совместной работы могут находиться в следующих пространствах:

- в реальной среде, в том числе в помещении лаборатории «Цифровые реальности» ГУАП, в которой находится макет манипулятора;
- в виде своих аватаров в локации метавселенной, в которой находится 3D-модель манипулятора.

А. Автономный режим.

В аудитории находятся несколько участников сессии, один из которых работает с макетом манипулятора (рис. 1, 2). За счет установленной в помещении камеры изображение передается на экран в 3D-локацию метавселенной, которое могут наблюдать находящиеся в ней участники

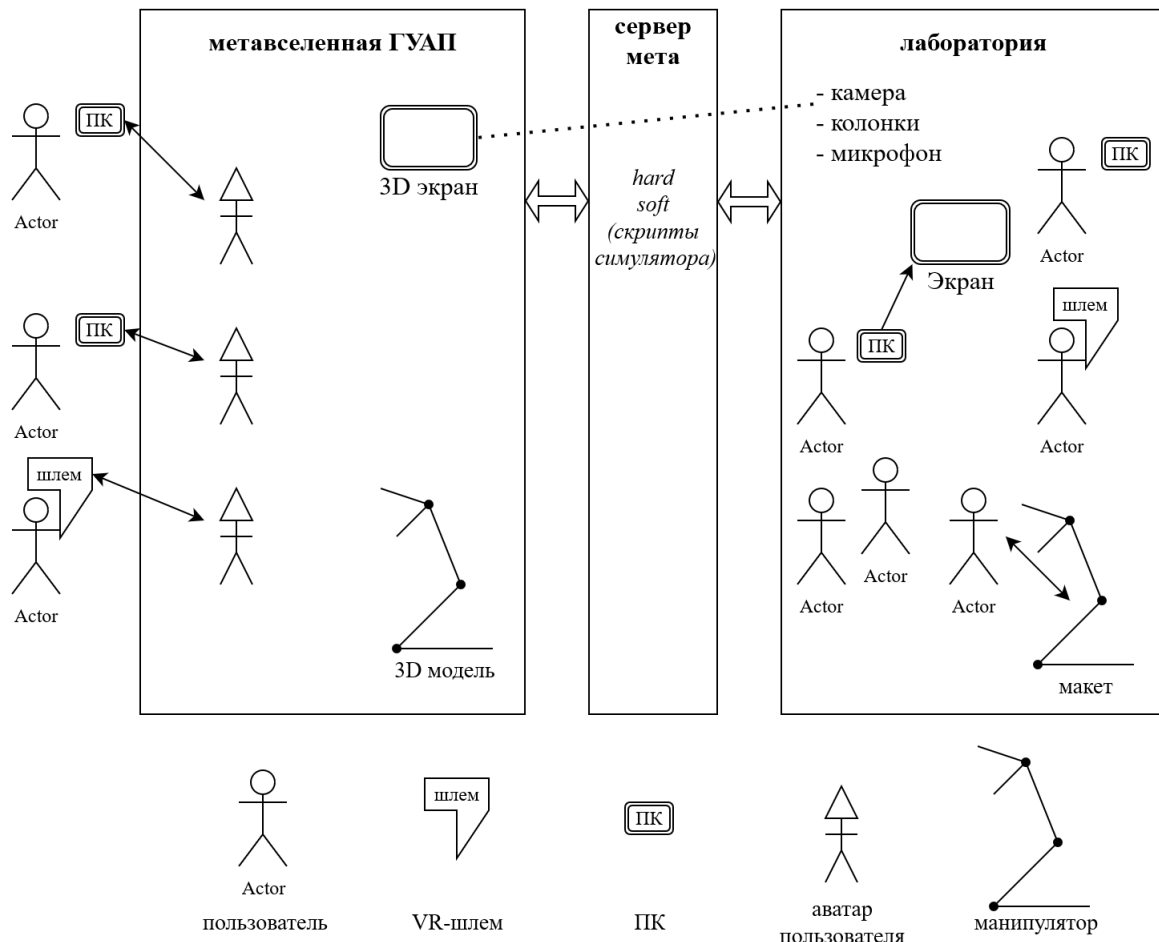


Рис. 2. Схема автономного режима



Рис. 3. 3D-модель на ПК



Рис. 4. 3D-модель на VR-шлеме

сессии в виде своих аватаров. Данный режим можно использовать как для демонстрации работы манипулятора, так и для пошагового обучения пользователей.

Б. Режим симуляции.

Участники в виде своих аватаров находятся в локации метавселенной с 3D-моделью мани-

пулятора (рис. 3, 4). Один из участников демонстрирует работу манипулятора на его 3D-модели с дальнейшей передачей управления другому участнику с целью проверки полученных им знаний. В данном режиме возможен вывод изображения локации на экран, установленный в аудитории для просмотра разработки (рис. 5).

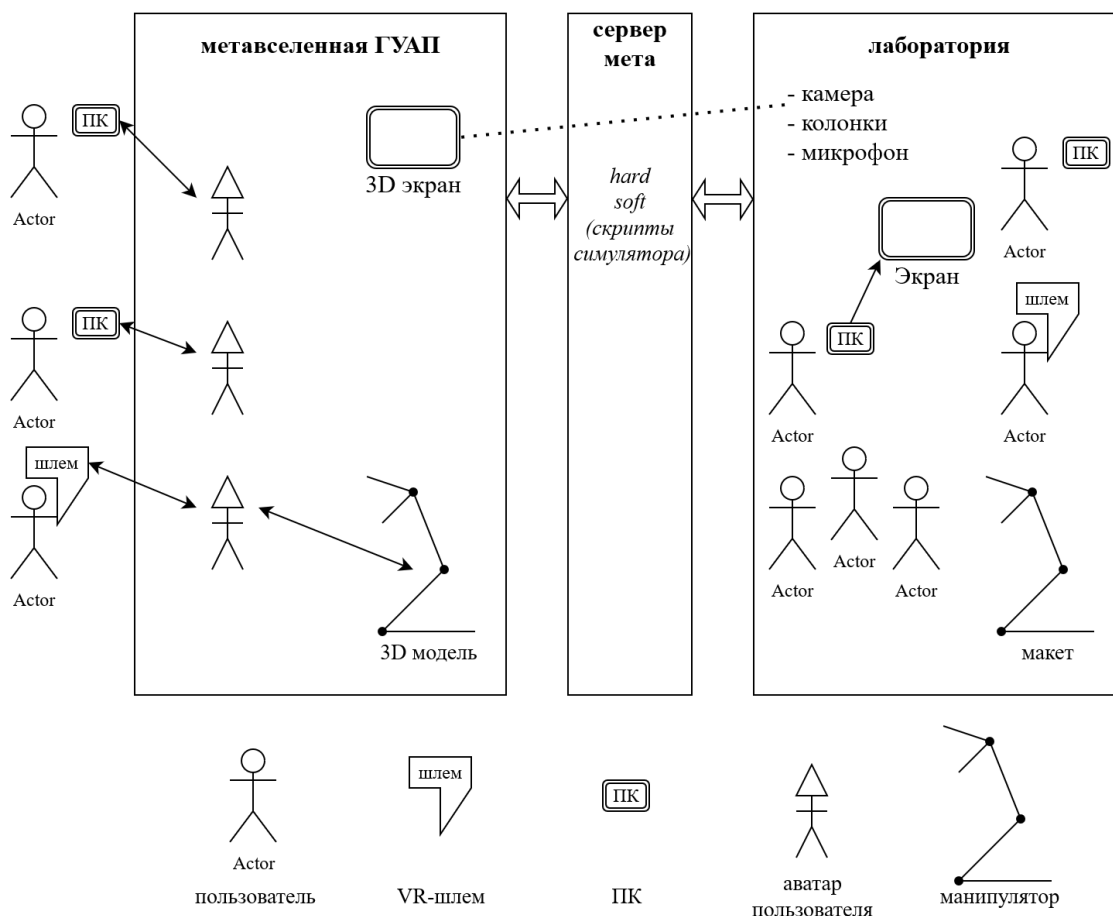


Рис. 5. Схема режима симулятора

В. Режим синхронизации.

В данном режиме поддерживается двухсторонняя связь макета с моделью (см. рис. 4). В первом случае, участники в виде своих аватаров находятся в локации метавселенной с 3D-моделью манипулятора. Один из участников демонстрирует работу манипулятора на его 3D-модели, изменяя положение его звеньев, которые синхронно управляют соответствующими звеньями макета, наблюдаемые участниками в аудитории. При этом изменение состояний макета могут наблюдать на видеопанели в локации участники-аватары.

Во втором случае происходит обратный процесс: один из участников, находящихся в аудитории, управляет макетом, изменяя положение его звеньев, которые синхронно управляют соответствующими звеньями модели, наблюдаемые участниками в виде аватаров в локации метавселенной. Кроме того, изменения модели

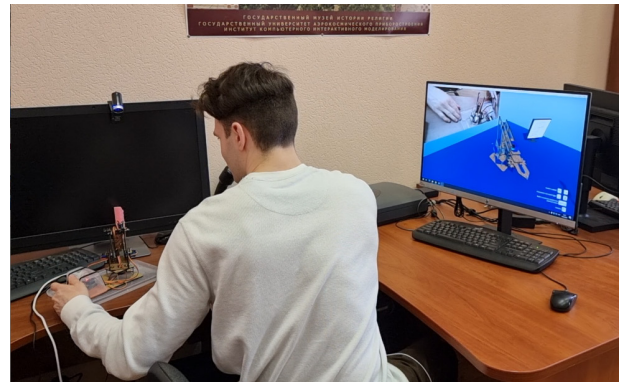


Рис. 6. Режим синхронизации

и макета транслируются на видеопанели соответственно в аудитории и локации (рис. 7).

Г. Совместная работа.

Участники, один из которых через своего аватара в локации метавселенной, берет

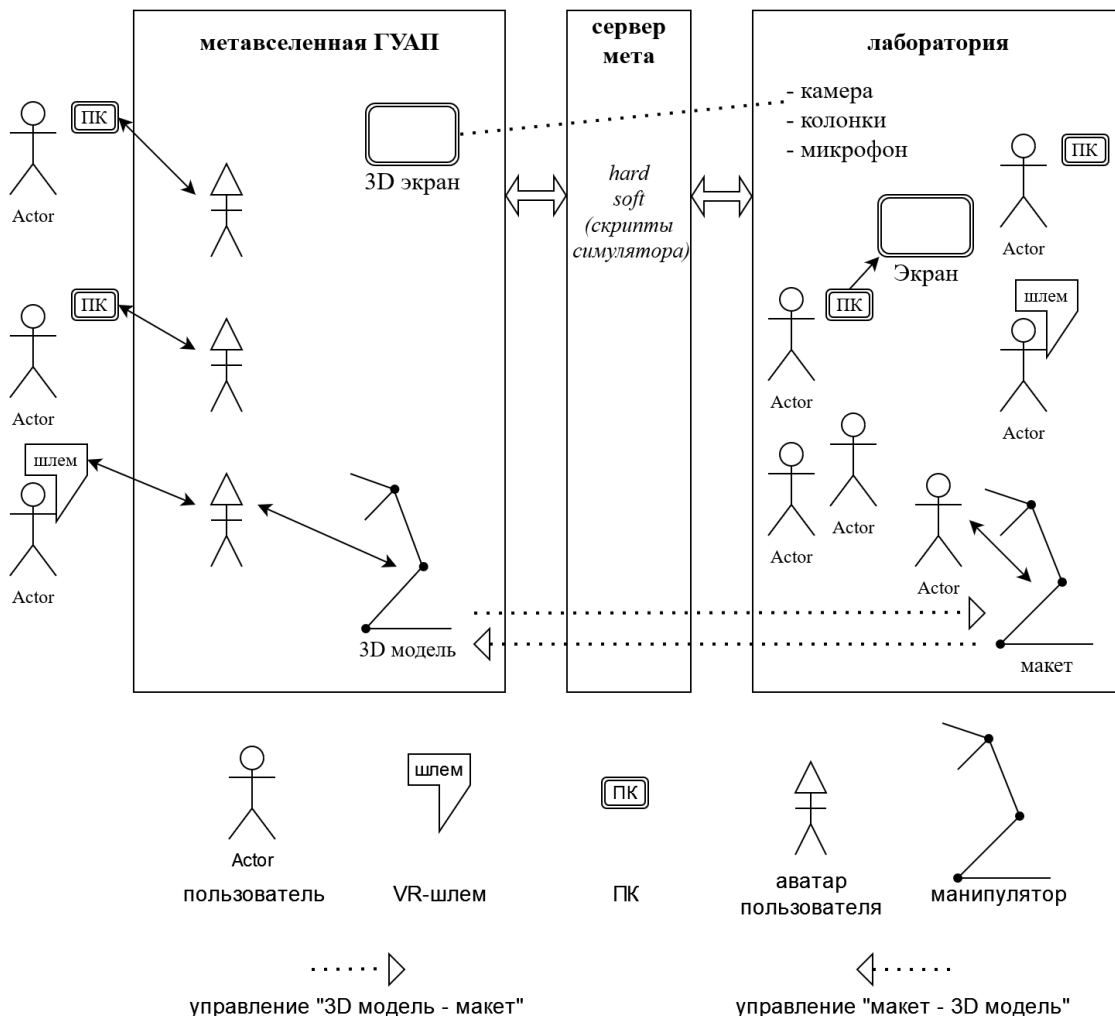


Рис. 7. Схема режима синхронизации

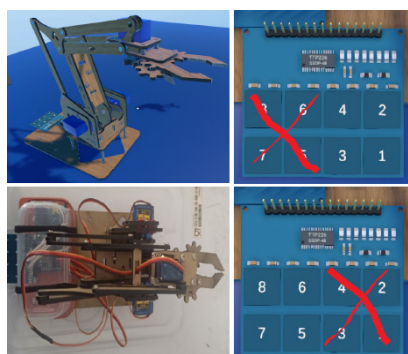


Рис. 8. Разделение панели управления

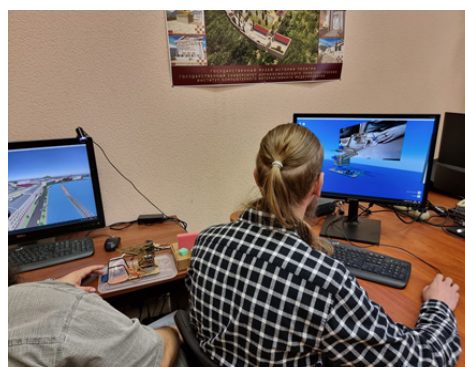


Рис. 9. Режим совместной работы

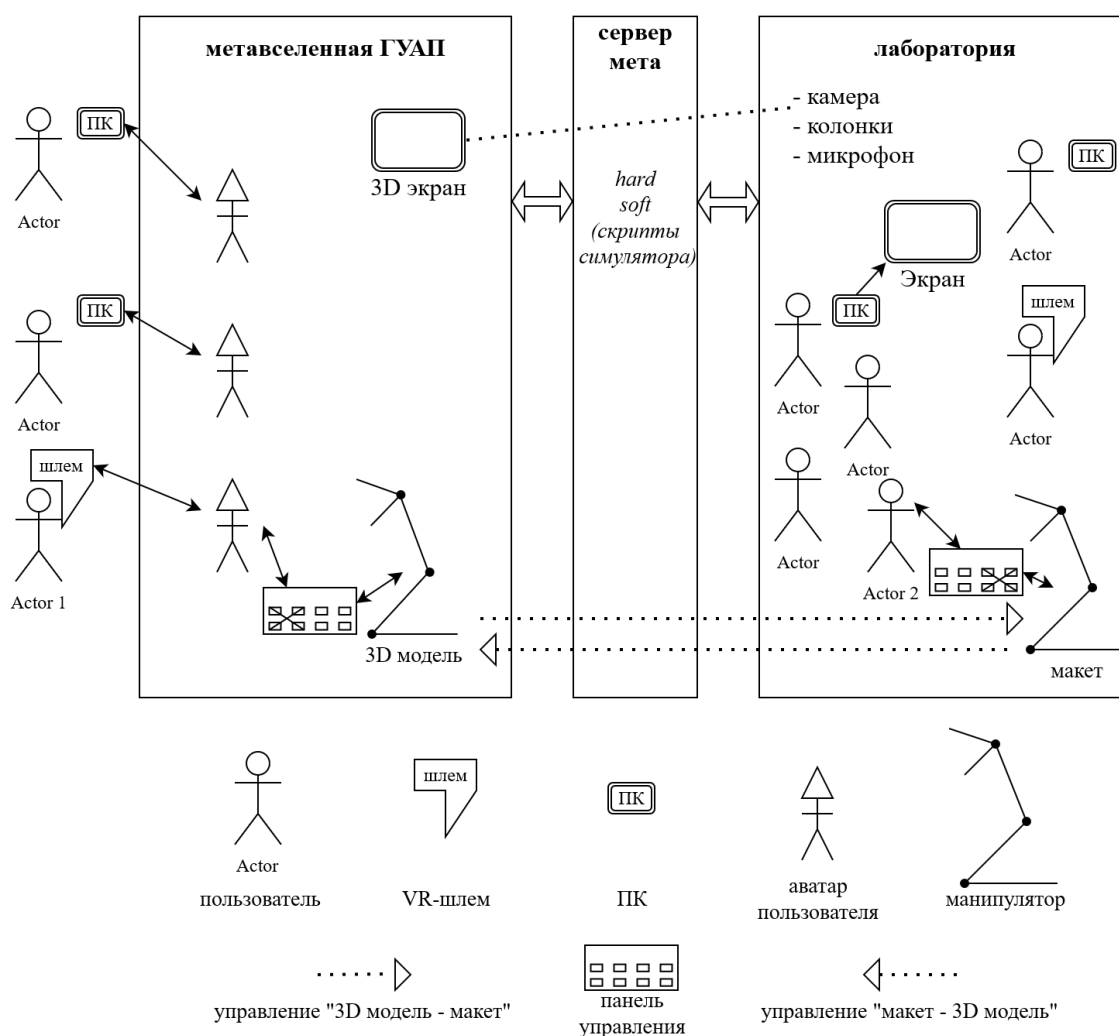


Рис. 10. Схема режима совместной работы

управление 3D-моделью, а другой в аудитории управляет макетом на основе закрепленных за ними частей панели управления манипулятора (рис. 8–10). Это позволяет выполнять совместную работу, например сборку объекта.

2. Игра с отслеживанием перемещения игрока в пространстве

Данное приложение позволяет изучать пространственные вычисления на основе сенсора

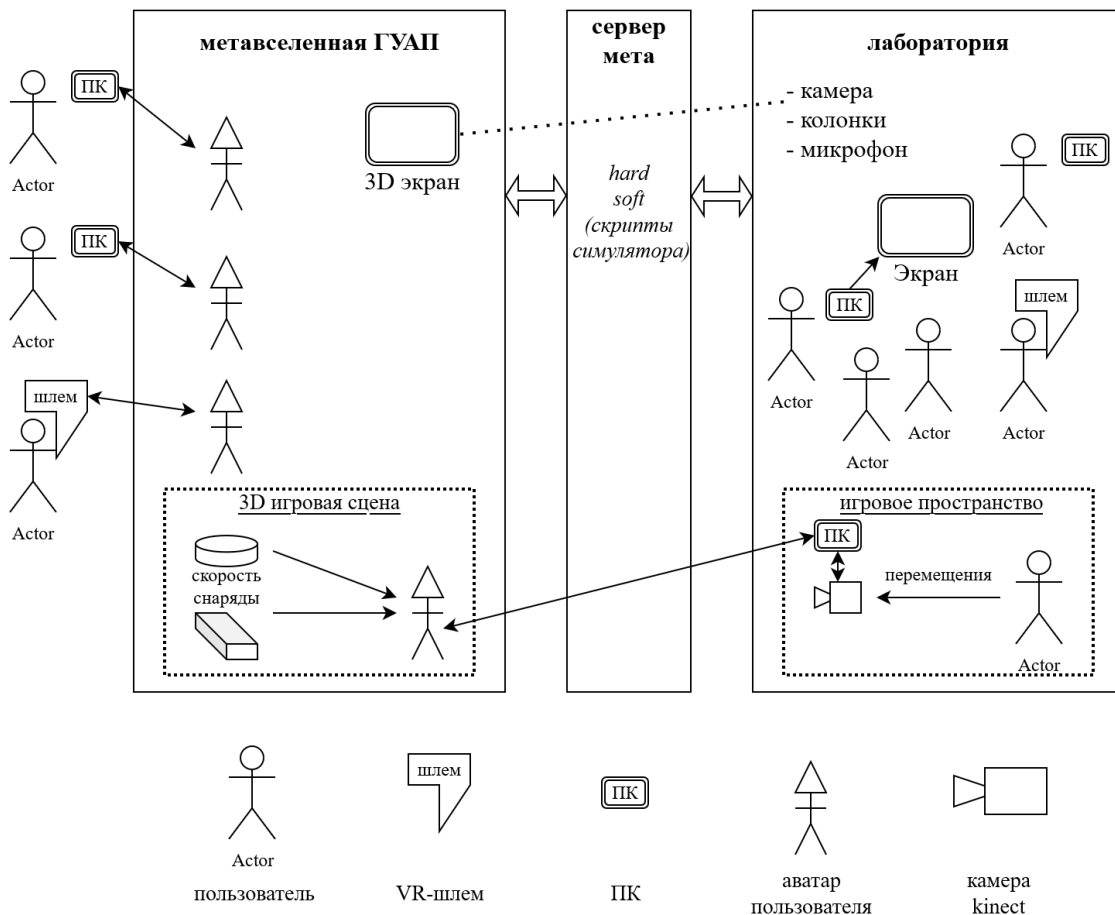


Рис. 11. Схема игры с отслеживанием игрока в пространстве

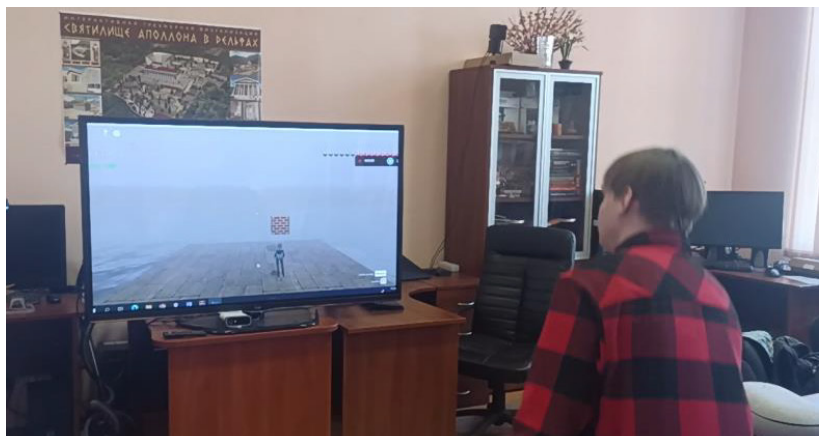


Рис. 12. Игра, отслеживающая игрока в пространстве

Kinect на примере игры уклонения от летящих снарядов на аватара в 3D-игровой сцене в метавселенной. Аватар управляется игроком, действия которого в ограниченной области физического пространства захватываются сенсором Kinect и передаются на аватара. Игровая среда заставляет пользователя выполнять опреде-

ленные действия, несущие физическую нагрузку, например постоянные перемещения, вращения, приседания и прыжки (рис. 11). Другие участники могут наблюдать за игровым процессом либо в метавселенной в форме аватаров, либо находясь физически в помещении с игроком (рис. 11, 12).

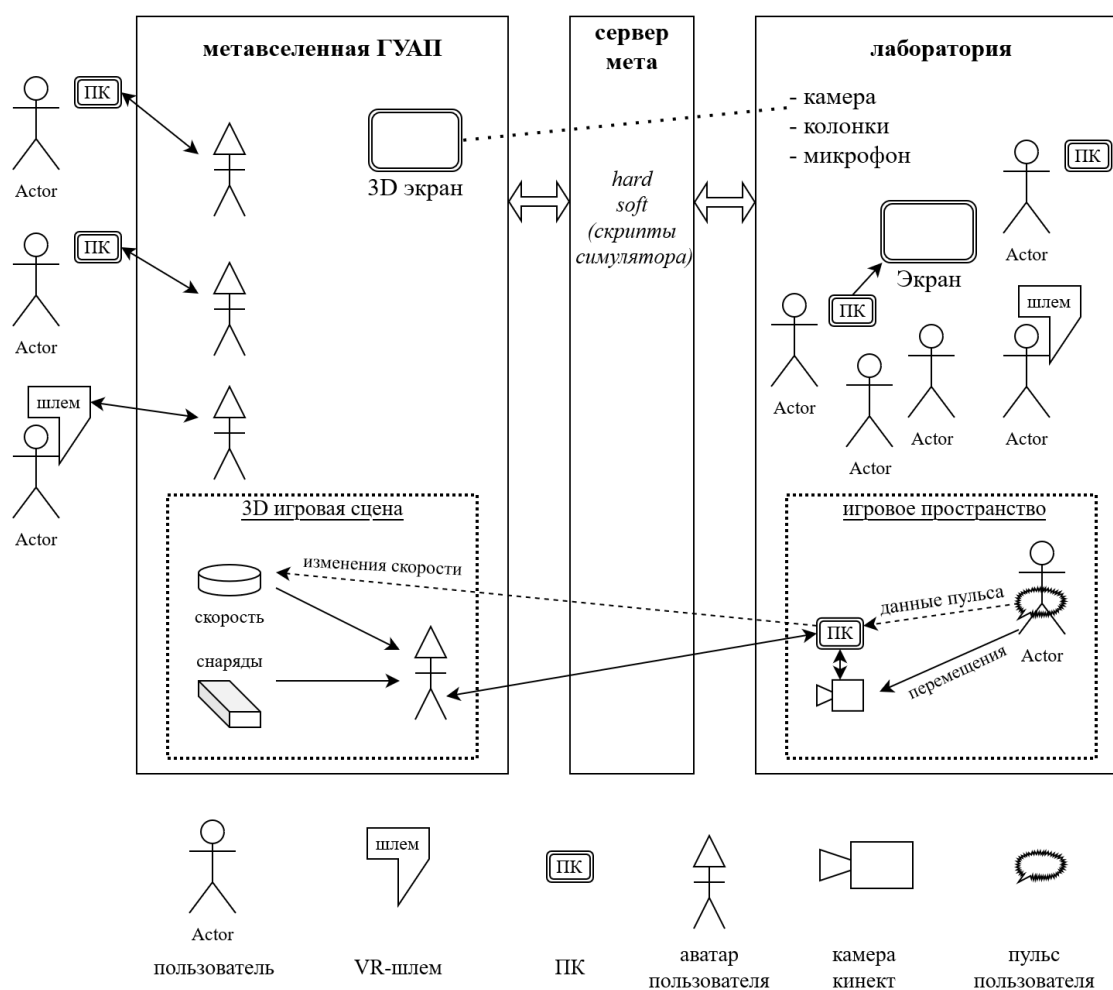


Рис. 13. Схема игрового процесса с отслеживанием пульса игрока

3. Изменение игрового процесса на основе пульса игрока

Приложение позволяет изучать биологическую обратную связь для создания адаптивных игровых процессов, где поведение (пульс) игрока влияет на развитие игры.

Для приведенной в п. 2 игры пульс, измеряемый закрепленным на теле игрока пульсометром, управляет в 3D-игровой сцене метавселенной параметрами летящих снарядов на аватара, связанного с действиями игрока. Низкие показатели пульса игрока используются для увеличения количества или скорости летящих снарядов, а повышение пульса – для их уменьшения (рис. 13).

4. Работа с метавселенной на основе шлема VR-шлема Pico 4

А. Подключение к Метавселенной.

Для подключения к метавселенной ГУАП с VR-шлема Pico 4 необходимо установить соответствующий клиент на шлем, а затем запустить его. Пользователь может находиться в лаборатории или вне ее и взаимодействовать с локацией метавселенной, при этом взаимодействие пользователей в нашемной и настольной версии сохраняется (рис. 14).

Б. Стриминг от первого лица.

В нашем случае стриминг – это трансляция в реальном времени 3D-сцены, наблюдаемой глазами пользователя внутри нее. Это позволяет участникам наблюдать за действиями пользователя в 3D-сцене, лучше понимать возможности приложения и участвовать в совместном опыте.

Для стриминга изображения от первого лица используется встроенное приложение Streaming Assistant. С его помощью стриминг возможен на устройства в локальной со шлемом сети (рис. 15). Стриминг не обязательно прово-

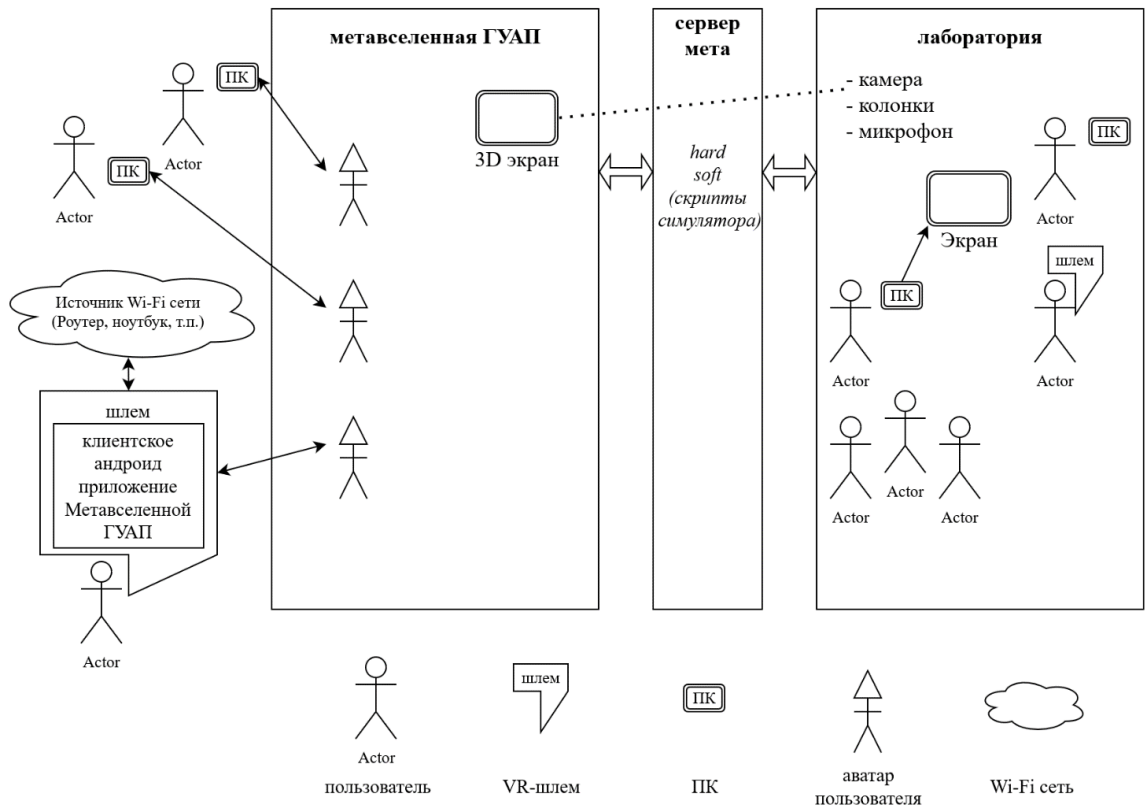


Рис. 14. Схема подключения к шлема Pico 4 к метавселенной

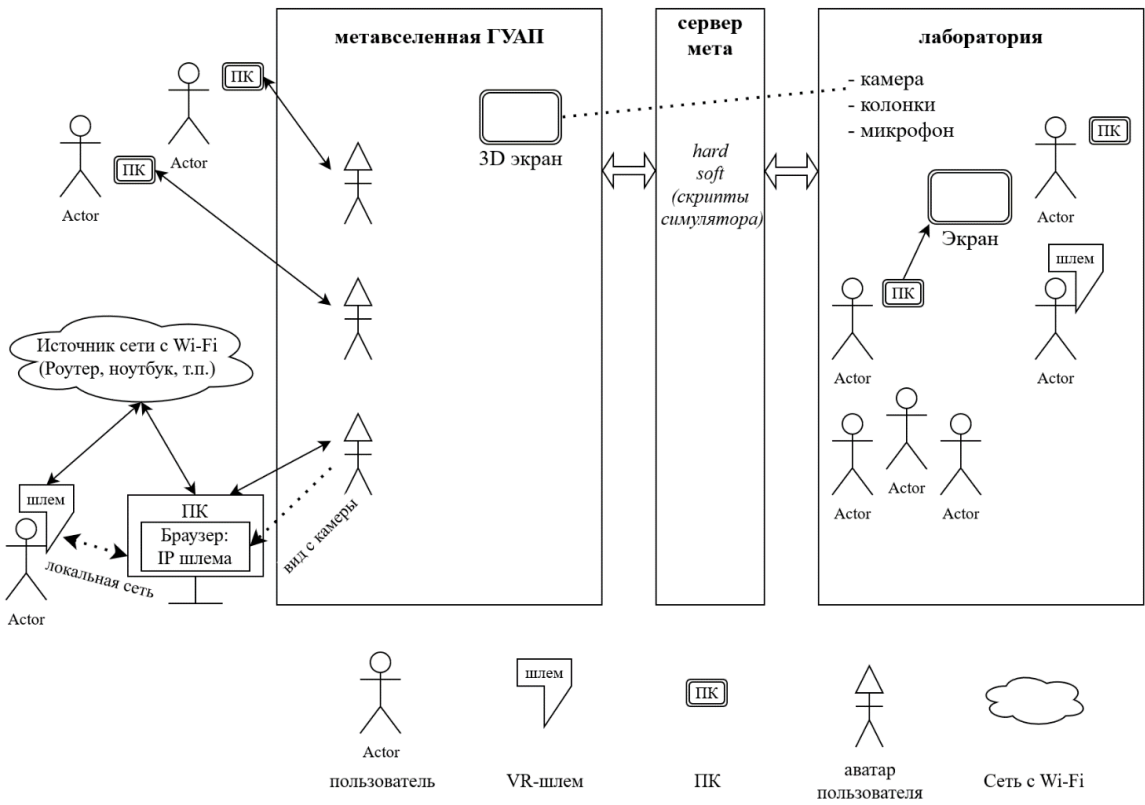


Рис. 15. Схема стриминга Pico 4 от первого лица

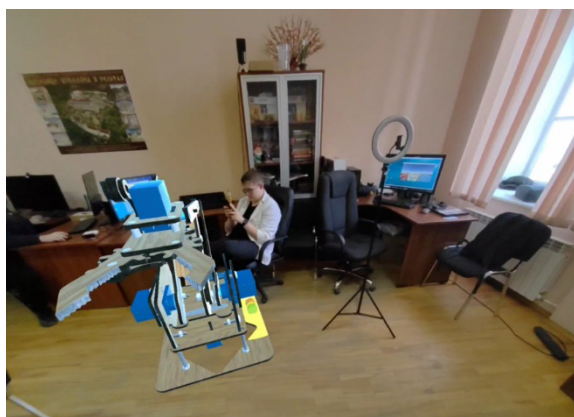


Рис. 16. Стриминг Rico 4 в режиме AR

дится исключительно в режиме VR, например его можно использовать и в режиме AR (рис. 16).

В. Стриминг от третьего лица.

В данном случае стриминг – это трансляция в реальном времени 3D-сцены совместно с находящимся в ней одним из участников, который перемещается и взаимодействует с ее элементами. Для стриминга от третьего лица используется встроенное приложение MRC для шлема, а в качестве фиксации действий пользователя выступает оператор со смартфоном с установленным на него пакетом MRC для смартфона. Внутри 3D-сцены для ее просмотра используется виртуальная камера (рис. 17–19).

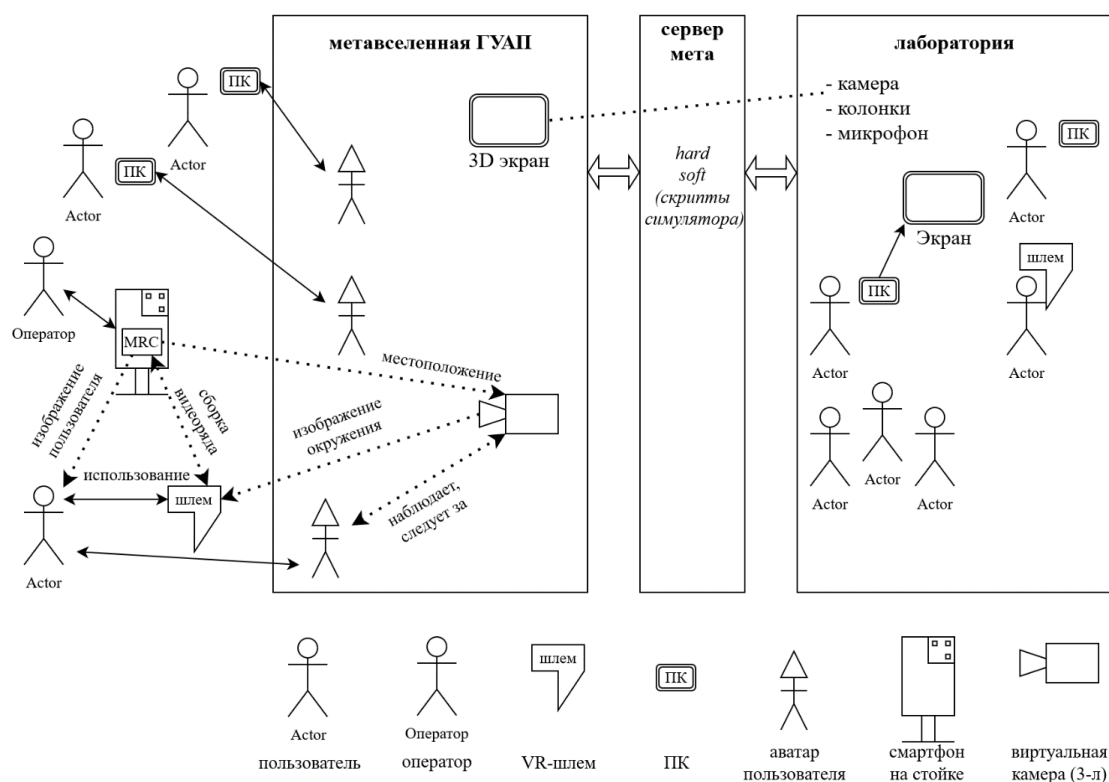


Рис. 17. Схема стриминга от третьего лица



Рис. 18. Пример первого стриминга

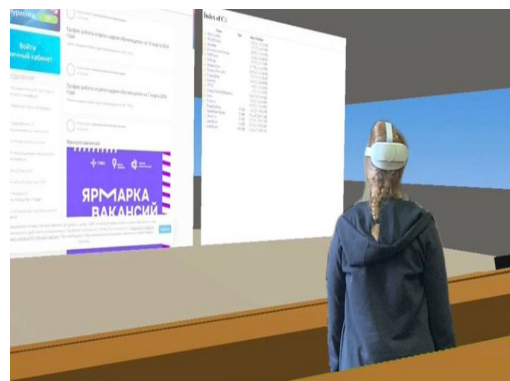


Рис. 19. Пример второго стриминга

Г. Использование трекеров с VR-шлемом Pico 4 на примере игры «фитнес».

В комплекте с Pico 4 используются носимые трекеры, которые крепятся на ногах пользователя и позволяют отслеживать их движения

для управления перемещением аватара в VR. Это открывает новые возможности, например физические тренировки типа фитнес в метавселенной (рис. 20–22).

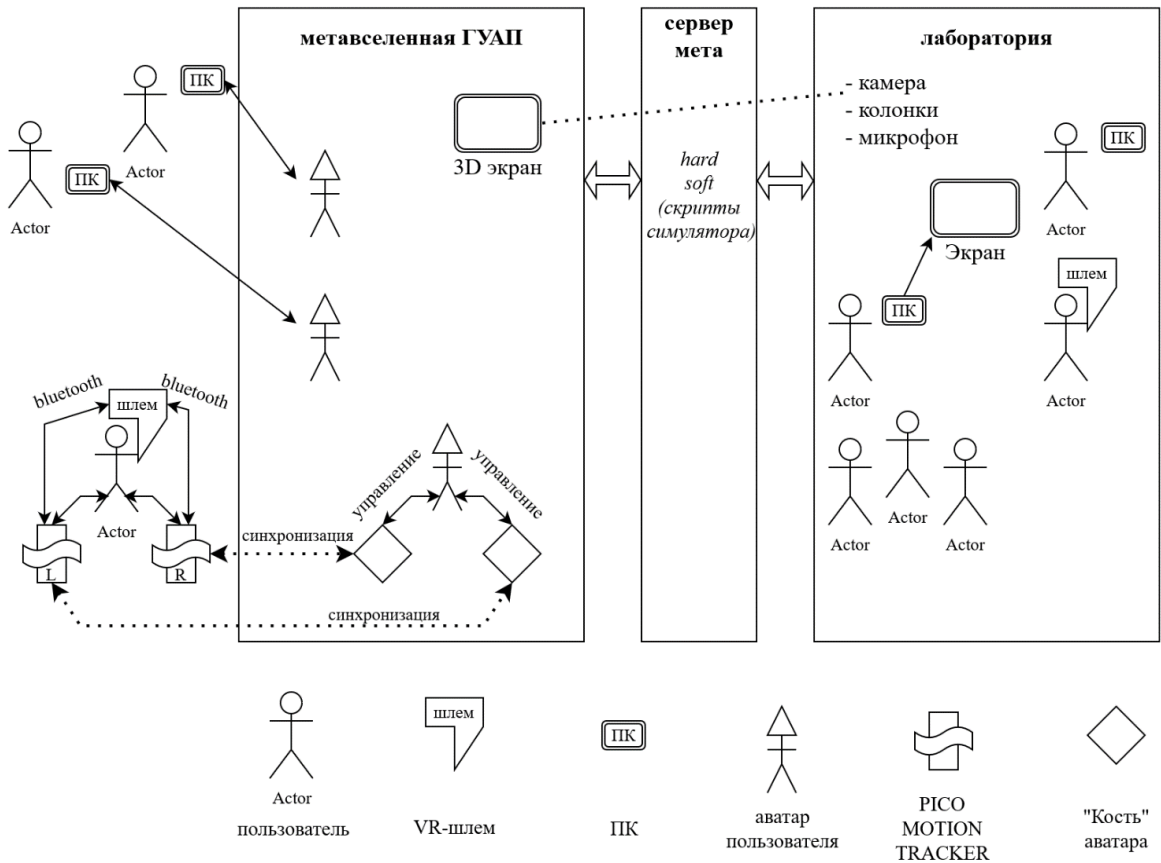


Рис. 20. Схема использования трекеров ног Pico



Рис. 21. Трекеры Pico 4

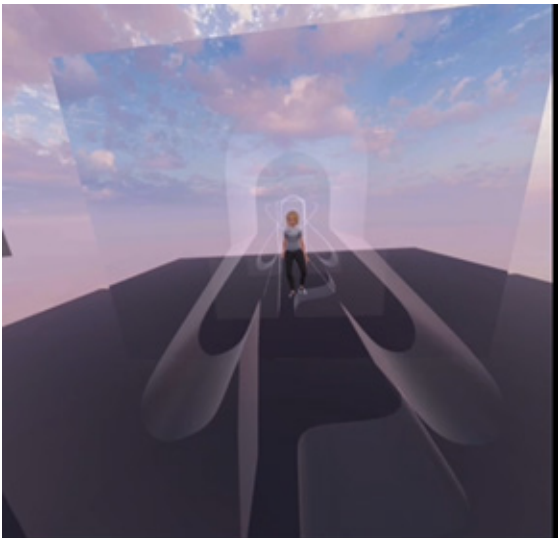


Рис. 22. Пример фитнеса

Заключение

На кафедре вычислительных систем и сетей ГУАП при подготовке магистрантов и бакалавров по направлению «Информатика и вычислительная техника» была проведена апробация возможностей метавселенной как дополнение традиционного учебного процесса в дисциплинах НИР и учебных практик, а также проведения конференций и свободного общения [4].

Проведение занятий с магистрантами и бакалаврами с последующим их анкетированием показало, по сравнению с традиционным обучением, улучшение студентами восприятия учебного материала, приобретения индивидуальных и социальных знаний и навыков за счет таких возможностей метавселенной, как интерактивная 3D-визуализация данных и их передача из реальной среды в цифровую и наоборот, 3D-аватары, поддержка виртуальных экспериментов, совместная работы удаленных пользователей и приобретение знаний способами, недоступными в реальном мире, а также использования современного оборудования цифровых реальностей. В дальнейшем планиру-

ется повышение возможностей метавселенной в части разработки редактора интеграции созданных сторонними разработчиками моделей и наполнения учебно-исследовательским и игровым контентом.

Библиографический список

1. Страница лаборатории цифровых реальностей ГУАП. URL: <https://guap.ru/n/labvr/meta> (дата обращения: 18.11.2024).
2. Метавселенная. Разработка и использование на примере ГУАП: учеб. пособие / А. В. Никитин, Н. Н. Решетникова, Е. Е. Майн [и др.]. СПб.: ГУАП, 2024. 136 с.
3. Метавселенная ГУАП. Практические занятия: учеб.-метод. пособие / А. В. Никитин, Н. Н. Решетникова, Е. Е. Майн [и др.]. СПб.: ГУАП, 2024. 143 с.
4. Никитин А. В., Майн Е. Е., Ситников И. А. Виртуальные двойники и метавселенная // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '24: Четвертая Междунар. науч. конф. (СПб., 8–15 апр. 2024 г.): сб. докл. СПб.: ГУАП, 2024. С. 196–203.

УДК 004.89.946

А. В. Никитин*

кандидат технических наук, доцент

В. С. Польщиков*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОБУЧЕНИЮ ПРОХОЖДЕНИЮ МАРШРУТА НЕИГРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В МЕТАВСЕЛЕННОЙ ГУАП

Рассмотрена задача перемещения неигрового объекта в 3D-среде на основе машинного обучения с подкреплением.

Ключевые слова: неигровые объекты, машинное обучение с подкреплением, агент.

A. V. Nikitin*

PhD, Tech., Associate Professor

V. S. Polshchikov*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARISON OF APPROACHES TO LEARNING THE ROUTE OF NON-PLAYING OBJECTS IN A GUAP METAVERSE

The problem of moving an object in 3D environment based on machine learning with reinforcement was considered.

Keywords: non-gaming objects, machine learning with reinforcement, agent.

Тема научно-исследовательской работы посвящена обучению объектов в виртуальной среде. Среди задач, выполняемых объектами, выделяются: взаимодействие с изменяющейся виртуальной средой, а также взаимодействие с аватарами пользователей, подключенных к платформе. Использование методов обучения с подкреплением для интеллектуализации объектов позволяет достичь более реалистичного взаимодействия с пользователями и цифровой средой. Этот подход дает объектам возможность принимать решения, основываясь на текущем состоянии среды и получаемых наградах.

Одной из задач для объекта (агента) является прохождение заданного маршрута. Для решения данной задачи необходимо исследовать различные подходы к обучению агента. В данной статье будут рассмотрены подходы к обучению прохождения заданного маршрута агентом в метавселенной ГУАП.

Обучение с подкреплением (RL) – это парадигма алгоритмов обучения, основанных на вознаграждениях и действиях. Парадигма обучения на основе состояний отличается от общего контролируемого и неконтролируемого обучения, поскольку обычно не пытается найти струк-

турные выводы в наборах немаркированных или маркированных данных. Общее RL опирается на автоматизацию с конечным числом состояний и процессы принятия решений, которые помогают найти оптимизированную траекторию обучения на основе вознаграждения [1].

Фундаментальными аспектами в академии RL являются агент(ы) и среда(ы). Агент относится к объекту, который использует обучающие алгоритмы, чтобы попытаться исследовать награды по шагам. Агент пытается оптимизировать подходящий путь к цели, который приводит к максимизации наград, и в этом процессе пытается избежать наказывающих состояний. Окружение – это все вокруг агента: состояния, препятствия и награды. Окружение может быть как статическим, так и динамическим. Сходимость пути в статической среде происходит быстрее, если у агента достаточно буферной памяти для сохранения правильной траектории к цели, когда он исследует различные состояния. Динамическая среда представляет собой более сложную задачу для агентов, поскольку нет определенной траектории [1].

Метавселенная, созданная для ГУАП, основана на интерактивной 3D-модели, отображаю-

щей здания университета и прилегающую территорию. Одна из основных целей этой модели – обучение объектов ориентироваться в городской среде. Агенту необходимо научиться эффективно перемещаться, избегая столкновений с препятствиями и корректно взаимодействуя с элементами инфраструктуры. Реализация проекта выполнена с использованием движка Unity, что открывает разработчикам доступ к инструментам машинного обучения в игровых сценариях. Для этой цели применяется Unity ML Agents – инструмент, предоставляющий алгоритмы обучения, примеры реализации и удобную платформу для разработки [2].

Для решения поставленной задачи был выбран метод Proximal Policy Optimization (PPO). Это один из наиболее широко используемых алгоритмов в области обучения с подкреплением. Он относится к семейству методов обучения на основе политики (Policy-Based Methods), где основной задачей являются построение и оптимизация политики агента – правила, согласно которому агент принимает решения в зависимости от текущего состояния среды. Главная особенность PPO – его способность стабилизировать процесс обучения, не позволяя модели слишком резко изменять свою политику [2].

Алгоритм PPO работает следующим образом.

1. Сбор данных о взаимодействии агента с окружающей средой. Агент многократно выполняет задания, перемещаясь по виртуальной городской среде и избегая препятствий. В процессе обучения алгоритм регистрирует действия агента и соответствующие вознаграждения.

2. Обновление политики с контролем на основе клипинга. Основное отличие PPO от других методов обучения с подкреплением заключается в ограничении резких изменений политики, что помогает избежать ситуаций, когда агент резко изменяет свои действия и начинает демонстрировать неэффективное поведение. Это достигается с помощью техники клипинга, которая ограничивает степень изменений политики на каждом шаге.

3. Эффективное использование опыта агента. В PPO агент может несколько раз использовать свои предыдущие действия и результаты, что значительно повышает общую эффективность процесса обучения, так как собранные данные многократно используются для улучшения политики.

Алгоритм Proximal Policy Optimization в Unity ML Agents реализован с использованием библиотеки TensorFlow. Этот алгоритм вхо-

дит в состав инструментария ML-Agents и используется в качестве основного метода обучения с подкреплением. PPO основан на принципе оптимизации стратегии (policy optimization), поддерживает использование нейронных сетей для представления политики и функции ценности и позволяет стабильно обучать агентов благодаря ограничениям на изменения стратегии [3].

С версии ML-Agents 20.0 и выше также поддерживается интеграция с PyTorch, что дает разработчикам возможность выбирать между TensorFlow и PyTorch в зависимости от их предпочтений или требований проекта. Агента можно обучить, используя различные подходы: с использованием Ray Perception Sensor 3D – сенсора для восприятия окружающей среды, без использования Ray Perception Sensor 3D, а также с использованием Demonstration Recorder и без него.

Датчики Ray Perception Sensor 3D будут использоваться для категоризации данных об окружающей среде. Они определяют расстояние до целевых объектов, в нашем случае это стены, чекпоинты и финальный чекпоинт [4].

Этапы анализа и обучения.

1. Подготовка среды: установка объектов и создание агента.

2. Настройка агента: определение поведения агента через скрипты.

3. Запуск эпизодов: агент начинает каждый эпизод с новой позиции и обучается перемещаться по заданному маршруту.

4. Сбор наблюдений: агент фиксирует объекты и их расстояние с помощью Ray Perception Sensor 3D (если Ray Perception Sensor 3D подключен).

5. Выбор действий: модель принимает решения на основе текущих наблюдений.

6. Получение вознаграждения: агент получает награды или штрафы в зависимости от своих действий.

7. Обновление политики: модель обучается на основе полученных вознаграждений и обновляет свою политику

Сцена представляет собой прототип улицы Санкт-Петербурга – Большой Морской и ее окрестностей (рис. 1). Маршрут задается с помощью «чекпоинтов», которые являются «кубами» зеленого цвета. На рис. 1 показан маршрут, по которому необходимо пройти агенту.

Чекпоинты можно расставлять двумя способами:

- 1) на небольшом расстоянии друг от друга – с помощью данного способа расстановки агент обнаруживает чекпоинты чаще, что позволяет

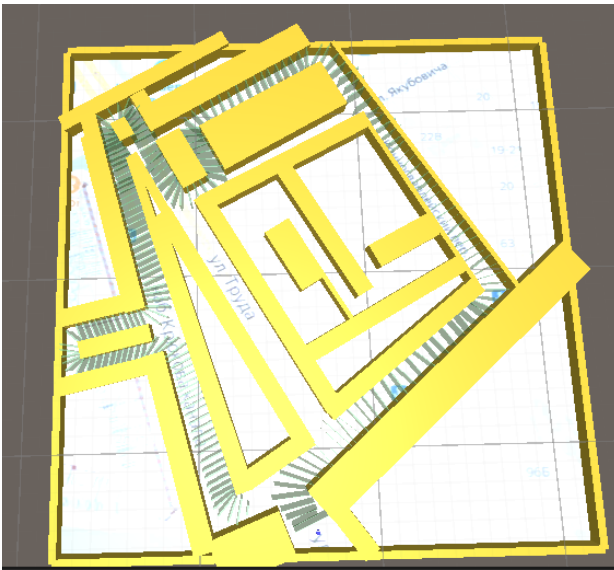


Рис. 1. Большая Морская улица и маршрут для агента

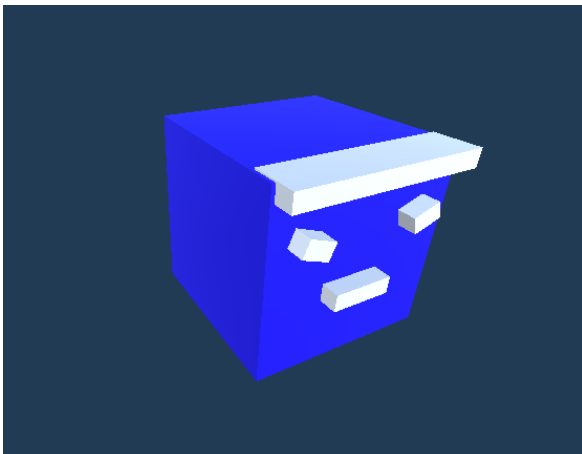


Рис. 2. Модель агента

ему чаще обновлять информацию об окружении;

2) на перекрестках и поворотах – данный способ меньше нагружает «память» агента, так как состояния агента обновляются реже.

Модель агента представлена на рис. 2. Цель агента – пройти маршрут, собрав все чекпоинты, в идеальном варианте не задевая стены

(для сравнения подходов к обучению достаточно того, чтобы агент проходил маршрут и Std of Reward был одинаковым). Количество агентов, которые одновременно обучались проходить заданный маршрут, 33. Максимальное количество шагов обучения – 7000.

Std of Reward (Standard Deviation of Reward) – это стандартное отклонение награды, которое вычисляется на основе наград, полученных агентами за эпизоды обучения. Этот показатель отражает степень разброса значений награды и дает понимание о том, насколько одинаковыми или различными являются награды для агентов.

Награды:

отрицательные:

- касание стен $-0,001f$;
- столкновение со стенами $-0.02f$;
- за каждое обращение к шагу обучения $-1/7000$;

положительные:

- сбор чекпоинта в последовательности заданного маршрута $0,02f$;
- сбор финального чекпоинта $0,04f$;
- сбор всех чекпоинтов: $1f$;

наблюдения агента:

- чекпоинт;
- следующий чекпоинт;
- позиция агента;
- позиция финального чекпоинта.

Обучение с Ray Perception Sensor 3D

На рис. 3 представлены результаты после 20М циклов обучения. Агент проходит трассу, практически не сталкиваясь со стенами. Первые успешные результаты были получены на 10М циклах обучения. На рисунке видно, что средняя награда (Mean Reward) после прохождения составляет 192,854, при этом среднее отклонение 36,4.

Mean Reward – это среднее значение награды, полученной агентами за определенное количество эпизодов или шагов обучения. Этот показатель дает общее представление о том, насколько хорошо агенты справляются с задачей в текущем состоянии обучения.

```
[INFO] MoveBM. Step: 7000000. Time Elapsed: 6132.231 s. Mean Reward: 201.929. Std of Reward: 0.290. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 7500000. Time Elapsed: 6642.206 s. Mean Reward: 195.084. Std of Reward: 33.766. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 8000000. Time Elapsed: 7141.232 s. Mean Reward: 200.542. Std of Reward: 5.632. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 8500000. Time Elapsed: 7636.511 s. Mean Reward: 195.649. Std of Reward: 28.105. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 9000000. Time Elapsed: 8123.340 s. Mean Reward: 189.346. Std of Reward: 43.751. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 9500000. Time Elapsed: 8600.535 s. Mean Reward: 192.854. Std of Reward: 36.762. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 10000000. Time Elapsed: 9046.634 s. Mean Reward: 183.813. Std of Reward: 50.021. Training.
```

Рис. 3. Результаты обучения с Ray Perception Sensor 3D

```
[INFO] MoveBM. Step: 7500000. Time Elapsed: 6589.334 s. Mean Reward: 192.904. Std of Reward: 18.270. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 8000000. Time Elapsed: 7020.747 s. Mean Reward: 192.259. Std of Reward: 19.172. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 8500000. Time Elapsed: 7467.337 s. Mean Reward: 193.930. Std of Reward: 16.233. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 9000000. Time Elapsed: 7904.328 s. Mean Reward: 193.049. Std of Reward: 23.363. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 9500000. Time Elapsed: 8332.113 s. Mean Reward: 192.950. Std of Reward: 19.817. Training.
[INFO] MoveBM. Step: 10000000. Time Elapsed: 8774.921 s. Mean Reward: 192.847. Std of Reward: 20.863. Training.
```

Рис. 4. Результаты обучения без Ray Perception Sensor 3D

Обучение без Ray Perception Sensor 3D

На рис. 4 представлены результаты после 80М циклов обучения. Агент проходит трассу, практически не сталкиваясь со стенами. Первые успешные результаты были получены на 25М циклах обучения. На рисунке видно, что средняя награда (Mean Reward) после прохождения составляет 192,847, при этом среднее отклонение 20,8.

Сравнив результаты обучения с использованием Raycast и без него, можно сделать вывод, что в первом случае обучение проходит быстрее. Агент начинает меньше сталкиваться со стенами и быстрее проходит заданный маршрут.

Для улучшения прохождения можно добавить на сцену вариативности маршрутов, чтобы агент мог легче адаптироваться к изменяемым условиям.

Обучение с использованием RayCast и Demonstration Recorder

Demonstration Recorder в Unity ML-Agents – это инструмент для записи демонстраций поведения агента или пользователя в среде Unity. Записанные демонстрации можно использовать для обучения модели с использованием метода Imitation Learning (обучение подражанием), где агент пытается повторить наблюдаемое поведение.

Скорость обучения увеличилась, вместо 10М потребовалось 6М при использовании Ray Perception Sensor. И среднее отклонение уменьшилось.

Обучение без использования RayCast и Demonstration Recorder

При использовании Demonstration Recorder скорость обучения увеличилась, вместо 25М потребовалось 12М без использования Ray Perception Sensor, среднее отклонение тоже уменьшилось.

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод, что при использовании Ray

Perception Sensor и Demonstration Recorder скорость обучения агента увеличилась, а среднее отклонение уменьшилось от целевого поведения. Такой эффект объясняется тем, что Ray Perception Sensor обеспечивают агенту более информативное восприятие окружающей среды, позволяя фиксировать и анализировать препятствия и цели на основе дистанционного сканирования. Благодаря этому агент быстрее адаптируется к сцене и делает более точные прогнозы, минимизируя количество неверных действий.

Применение Demonstration Recorder, в свою очередь, сыграло ключевую роль в формировании исходного поведения агента, предоставив ему образцы для подражания. Это позволило алгоритму быстрее научиться распознавать эффективные стратегии, избегая долгих попыток и ошибок в начальных этапах обучения. В результате комбинированное использование Ray Perception Sensor и Demonstration Recorder оптимизирует процесс обучения, сокращая время, необходимое для достижения высокой точности действий, и минимизируя отклонение от намеренной цели (таблица).

Результаты оценки методов

Метод	Средняя награда	Стандартное отклонение	Количество обучений
Ray Perception Sensor	192,854	36,4	20М
С использованием Demonstration Recorder и Ray Perception Sensor	192,820	30,3	10М
Без Demonstration Recorder и Ray Perception Sensor	192,847	20,8	80М
С Demonstration Recorder и без Ray Perception Sensor	193,224	34,3	30М

Исходя из представленных обучений, можно дать рекомендации, что для обучения прохождения заданного маршрута лучше всего использовать комбинированный подход Ray Perception Sensor и Demonstration Recorder, он увеличивает скорость обучения, а также минимизирует отклонение.

Библиографический список

1. Deep Reinforcement Learning in Unity. With Unity ML Toolkit. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-6503-1> (дата обращения: 30.11.2024).

2. Метавселенная ГУАП. URL: <https://guap.ru/n/labvr> (дата обращения: 30.11.2024).

3. Reinforcement Learning: An Introduction. URL: https://yulizi123.github.io/static/files/Reinforcement_learning_An_introduction.pdf (дата обращения: 30.11.2024).

4. Unity ML-Agents Toolkit Documentation. URL: <https://github.com/Unity-Technologies/ml-agents> (дата обращения: 30.11.2024).

УДК 378.147

А. М. Сергеев*

кандидат технических наук, доцент

Н. С. Мальцев*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ГЕНЕРАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЕЙСТВИЙ И СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ T5-МОДЕЛИ

Исследуется подход к автоматической генерации последовательностей действий и изменений состояний объектов с использованием архитектуры модели T5. Была разработана система, способная предсказывать действия и результаты их выполнения на основе заданных начальных условий. Описан процесс обучения модели, проведены эксперименты для оценки ее точности и способности к генерации новых сценариев, а также проанализированы ошибки.

Ключевые слова: искусственный интеллект, трансформеры, T5, генерация действий, fine-tuning.

A. M. Sergeev*

PhD, Tech., Associate Professor

N. S. Maltsev*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

GENERATION OF SEQUENCES OF ACTIONS AND STATES BASED ON THE T5 MODEL

This article examines the approach to automatic generation of action sequences and changes of object states using T5 model architecture. A system was developed that can predict actions and their results based on the given initial conditions. The article describes the model learning process, experiments to evaluate its accuracy and ability to generate new scenarios, as well as errors.

Keywords: Artificial intelligence, transformers, T5, generating actions, fine-tuning.

Введение

Понимание и генерация последовательностей действий на основе начальных состояний имеет важное значение в таких областях, как робототехника, планирование задач и интерактивные симуляции. Современные языковые модели, такие как T5 (Text-to-Text Transfer Transformer), показывают высокую эффективность в генерации текстов и обработке естественного языка. В данной статье исследуется возможность адаптации модели T5 для задачи генерации действий и состояний, применяя ее к синтетическому датасету сценариев взаимодействия с объектами.

Архитектура модели

T5 – это универсальная архитектура, разработанная Google Research, которая преобразует любую задачу обработки текста в формат

«входной текст → выходной текст». Это делает модель гибкой и универсальной для множества задач, включая классификацию, генерацию текста, переводы, суммаризацию и, как в данной статье, генерацию действий и состояний. T5 основана на механизме внимания (Attention) и использует архитектуру трансформер (модель энкодер-декодер), предложенную в работе Attention is All You Need [1].

Модель T5 доступна в нескольких вариантах, различающихся по размеру и вычислительной сложности [2]. Различия продемонстрированы в табл. 1.

В данной работе была выбрана модель T5-small из-за следующих факторов:

– обучение более крупных моделей, таких как T5-base или T5-large, требует намного больше вычислительных ресурсов и времени. Для экспериментов использовалась среда с ограниченной GPU-памятью (4 ГБ);

Таблица 1

Сравнение вариантов модели T5

Вариант модели	Количество параметров	Размер модели (≈)	Занимаемая память (≈, GPU)	Скорость обучения (1 эпоха, 1000 примеров)
T5-small	60M	~230 МБ	~1,2 ГБ	~10 мин на GPU
T5-base	220M	~890 МБ	~4,5 ГБ	~40 мин на GPU
T5-large	770M	~2,8 ГБ	~16 ГБ	~2 ч на GPU

– T5-small имеет 60 млн параметров, что делает ее более легкой для быстрой итерации, тестирования и отладки;

– меньший размер позволяет интегрировать модель в системы с ограниченными вычислительными ресурсами;

– синтетический датасет (1000 примеров) не требует сложной модели с миллиардами параметров. Большие модели, такие как T5-large, склонны к переобучению на ограниченных данных.

Датасет

Для экспериментов был использован синтетический датасет, содержащий различные сценарии взаимодействия с предметами. Каждый пример в датасете состоит из следующих элементов (табл. 2).

Объем данных – 1000 записей. Каждая из записей складывается в определенную логическую последовательность с одними предметами. Каждая такая последовательность заканчивается действием final. Пример представлен в табл. 3.

Формализация задачи

На вход модели подается строка в формате: «items: {список объектов} state_before: {начальное состояние}».

Таблица 2

Организация одной записи в датасет

items	список объектов, участвующих в сценарии
state_before	начальное состояние объектов
action	действие, выполняемое над объектами
state_after	состояние объектов после выполнения действия

Модель обучалась генерировать строку:

«step: {действие} state_after: {конечное состояние}».

Модель должна генерировать правдоподобные действия и их последовательность с конечным состоянием final.

Результаты обучения

Критериями оценки выступают несколько метрик [3], представленных в табл. 4.

BLEU показывает, насколько близко выход модели к эталонным данным, учитывая последовательность слов. Высокий BLEU-коэффициент (92%) указывает на точное воспроизведение модели логической структуры текста и совпадение с эталонными значениями.

ROUGE-L оценивает перекрытие длинных последовательностей между сгенерированным текстом и эталоном. Значение 0,9643 (96,5%) свидетельствует о высоком уровне совпадения длинных текстовых последовательностей, что важно для задач, связанных с генерацией действий и состояний.

Точное совпадение между сгенерированным и эталонным текстом достигнуто в 90% случаев.

Среднее время вывода модели составило 0,5814 с на запрос, что демонстрирует ее эффективность для использования в реальных системах с ограничениями по времени обработки.

Таблица 3

Пример последовательности в записях

items	state_before	action	state_after
bowl; nuts	bowl is on the table; nuts are on the table	grab the bowl	bowl is in hand; nuts are on the table
bowl; nuts	bowl is in hand; nuts are on the table	put the nuts in the bowl	bowl is in the hand; nuts are in the bowl
bowl; nuts	bowl is in the hand; nuts are in the bowl	put the bowl on the table	bowl is on the table; nuts are in the bowl
bowl; nuts	bowl is on the table; nuts are in the bowl	final	bowl is on the table; nuts are in the bowl

Таблица 4

Оценка обученной модели

BLEU	ROUGE-L	Accuracy	Average Inference Time
0,9200	0,9643	0,9078	0,5814 seconds

Модель демонстрирует высокую точность в простых сценариях и успешное генеративное поведение для новых объектов.

Дальше показана последовательность генераций для объектов *knife* и *apple*.

Example 1

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is on the table; the <i>apple</i> is on the table
Generated output	step: grab the <i>knife</i>	state_after: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is on the table

Example 2

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is on the table
Generated output	step: grab the <i>apple</i>	state_after: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is in hand

Example 3

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is in hand
Generated output	step: put the <i>apple</i> on the desk	state_after: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is on the desk

Example 4

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is in hand; the <i>apple</i> is on the desk
Generated output	step: slice the <i>apple</i>	state_after: the <i>knife</i> is in hand; the sliced <i>apple</i> is on the table

Example 5

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is in hand; the sliced <i>apple</i> is on the table
Generated output	step: put the <i>knife</i> on the table	state_after: the <i>knife</i> is on the table; the sliced <i>apple</i> is on the table

Example 6

Input text	items: <i>knife</i> ; <i>apple</i>	state_before: the <i>knife</i> is on the table; the sliced <i>apple</i> is on the table
Generated output	step: final	state_after: the <i>knife</i> is on the table; the sliced <i>apple</i> is on the table

Как видно из представленных примеров, модель точно воспроизводит логическую последовательность действий и завершает ее на этапе

final. Результаты, полученные в ходе моделирования, полностью соответствуют ожиданиям.

Выводы

Проведенные эксперименты продемонстрировали, что модель T5-small способна генерировать последовательности действий и изменений состояний объектов с высокой точностью. Ее компактность и относительно низкие требования к вычислительным ресурсам делают ее подходящим выбором для задач с ограниченным объемом данных и аппаратных возможностей.

Экспериментальные результаты показывают, что модель способна точно воспроизводить заданную логику последовательностей и адекватно завершать их. В тестовых примерах действия и изменения состояний объектов были логически последовательны и правдоподобны, что подтверждает успешность адаптации T5 для данной задачи.

Несмотря на успехи, модель имеет ограничения:

- обучение на малом объеме данных может приводить к снижению качества генерации при увеличении сложности сценариев;
- производительность модели падает при генерации для объектов или состояний, сильно отличающихся от обучающих данных.

Дальнейшие действия.

1. Провести дообучение модели на большем и более разнообразном датасете.
2. Увеличить количество эпох обучения.
3. Рассмотреть оптимизацию модели (например, использование методов сжатия весов).
4. Провести дополнительные эксперименты с другими архитектурами, такими как BART или GPT, для сравнения.

Библиографический список

1. Attention is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar [et al.] // Neural Information Processing Systems. 2017. P. 5998–6008. URL: arXiv:1706.03762 (дата обращения: 20.11.2024).
2. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer / C. Raffel, N. M. Shazeer, A. Roberts [et al.] // Journal of machine learning research. 2019. URL: arXiv:1910.10683 (дата обращения: 20.11.2024).
3. Noorbehhahani F., Kardan A. The automatic assessment of free text answers using a modified bleu algorithm // Computers Education. 2011. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131510002058> (дата обращения: 20.11.2024).

УДК 658.562.64

А. М. Сергеев*

кандидат технических наук, доцент

К. Д. Поздняков*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ

При массовом производстве керамической плитки визуальный контроль имеет множество различных проблем, среди которых утомляемость оператора, субъективность оценки, скорость выявления дефектов, большой объем производства, а также несоответствие стандартов качества. Для решения данной проблемы используются автоматизированные системы с применением технического зрения, которые позволяют повысить производительность, точность, скорость и объективность визуального контроля. Приведено описание принципа работы автоматизированной интеллектуальной системы контроля качества керамической плитки.

Ключевые слова: интеллектуальная система, керамическая плитка.

A. M. Sergeev*

PhD, Tech., Associate Professor

K. D. Pozdnyakov*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

AUTOMATED INTELLIGENT SYSTEM OF CERAMIC TILE QUALITY CONTROL

In mass production of ceramic tiles visual control has many different problems, among which are the operator fatigue, evaluation subjectivity, speed of defects detection, large production volume and quality standards mismatch. The solution is automated systems with technical vision, which allow to increase the productivity accuracy, speed and objectivity of visual control. The work describes the principle of operation of the automated intelligent system for quality control of ceramic tiles.

Keywords: intelligent system, ceramic tiles.

Керамическая плитка – широко распространенный строительный материал, изготавливаемый из природных минералов, таких как глина, кварц и т. д., которые обжигаются при высоких температурах. В основном применяется для облицовки стен, полов и фасадов.

Несмотря на то, что многие этапы производства керамики на предприятиях автоматизированы, контроль на выявление поверхностных дефектов, таких как сколы, трещины, царапины, неравномерность цвета и глазури, остается визуальным. При массовом производстве визуальный контроль имеет множество различных проблем, среди которых утомляемость оператора, субъективность оценки, скорость выявления дефектов, большой объем производства, а также несоответствие стандартов качества. Из-за этого вероятность брака на производстве значительно возрастает.

Для решения проблемы визуального контроля керамической плитки используются автоматизированные системы с применением технического зрения, которые позволяют повысить производительность, точность, скорость и объективность визуального контроля. Помимо визуального контроля в системе также применяются методы управления качеством, которые необходимы для распознавания наиболее важных проблем на производстве, наблюдения за стабильностью процесса, оценки вариативности процесса и т. д. В зависимости от полученных результатов система должна предъявить общие рекомендации по улучшению процесса. Перечень рекомендаций расположен в базе данных системы.

Данная система технического зрения позволяет выявить виды дефектов керамической плитки и сообщать оператору, на каких стадиях

производства возникают наиболее частые пороки. Найденные дефекты на выборке передаются в систему, в которой строятся контрольный листок и диаграмма Парето – инструменты, предназначенные для сбора данных о дефектах и выявления наиболее значимых факторов, оказывающих влияние на качество продукции.

На рис. 1 представлена схема технологического процесса производства керамической плитки для полов, требующей однократного обжига, также показаны определенные виды дефектов, которые могут произойти на конкретных этапах производства, и их вероятные причины [1].

Естественно, далеко не все виды дефектов лицевой поверхности представлены на схеме. Согласно ГОСТ 13996–2019 «Плитки керамические. Общие технические условия», существуют 24 типа поверхностных дефектов. Однако в данной системе рассматриваются те виды пороков, которые проще обнаружить с помощью

технического зрения. Также можно заметить, что большинство определенных видов механических воздействий может произойти на нескольких этапах производства. Поэтому в случае выявления наиболее значимой причины возникновения брака система может предъявить рекомендации по улучшению нескольких стадий производства.

В этом же стандарте расписаны требования к качеству лицевой поверхности. Цветовое решение лицевой поверхности плиток должно соответствовать утвержденным образцам-эталонам. Для плиток с неповторяющимся рисунком утверждают образец-эталон цвета, при этом рисунок плиток не эталонируют. Оттенки цвета и различия в фактуре (рисунке) не регламентируются. Не менее 95% керамических плиток должны быть без видимых дефектов, влияющих на внешний вид лицевой поверхности [2].

Следовательно, для оттенка цвета требуется провести расчет стабильности и вариатив-

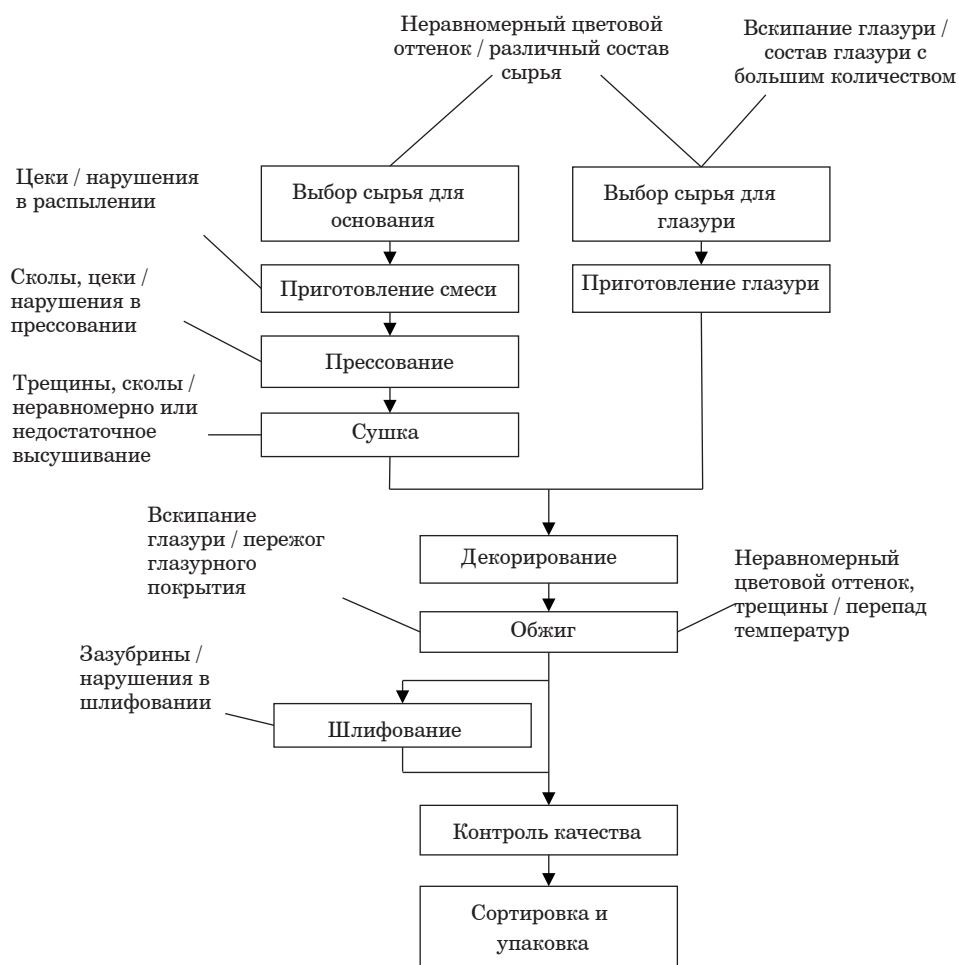


Рис. 1. Схема технологического процесса производства керамической плитки для пола с появлением возможных дефектов и их причин

ности процесса с помощью контрольных карт Шухарта и гистограммы. Если цветовой оттенок значительно отличается от образца-эталона по границам карт Шухарта, плитка будет не соответствовать собственной выборке. Также, если партия из керамических плиток содержит менее 95% образцов без дефектов, она будет забракована.

Согласно ГОСТ 27180–2019 «Плитки керамические. Методы испытаний», плитки контролируют визуально, располагая их лицевыми поверхностями перпендикулярно к направлению взгляда (плитки для полов – под углом 45°) на расстоянии 1 м от глаза наблюдателя. Их равномерно освещают светом с освещенностью не менее 300 лк. Освещенность измеряют в центре и в каждом углу испытываемой поверхности. Цек и трещины не допускаются [3].

Следовательно, все керамические плитки для пола, которые рассматриваются системой с искусственным интеллектом, будут расположены лицевыми поверхностями под углом 45° к направлению объектива камеры на расстоянии 1 м и равномерно освещены светом с освещенностью не менее 300 лк.

Существует несколько публикаций, связанных с тематикой автоматизированного контроля на производстве керамических плиток с применением технического зрения. Например, в статье [4] описан метод автоматизированного контроля керамических плиток с возможностью их отбраковки в реальном времени с конвейера при применении цветной камеры в среде открытой библиотеки OpenCV для исследования 2D-изображений на языке Python. Алгоритм заключается в создании маски керамической плитки, с помощью которой сравнивается реальное изображение той же плитки, для выявления возможных дефектов и сравнения маски с реальным изображением [4]. Однако в угоду оптимизации данный метод не рассматривает определенный тип дефекта. Соответственно, поиск видов механических воздействий и цветовой оттенок будут рассматриваться в цветовом формате, что весьма негативно скажется на скорости производительности системы. Поэтому для подобных операций требуется более мощное и современное оборудование.

Для создания подобной системы требуется создание датасетов отдельно для каждого вида дефектов для машинного обучения. Основная сложность системы заключается в том, что для задач с поиском поверхностных дефектов и цветовой оттенок необходимо подстраивать отдельный алгоритм с определенными методика-

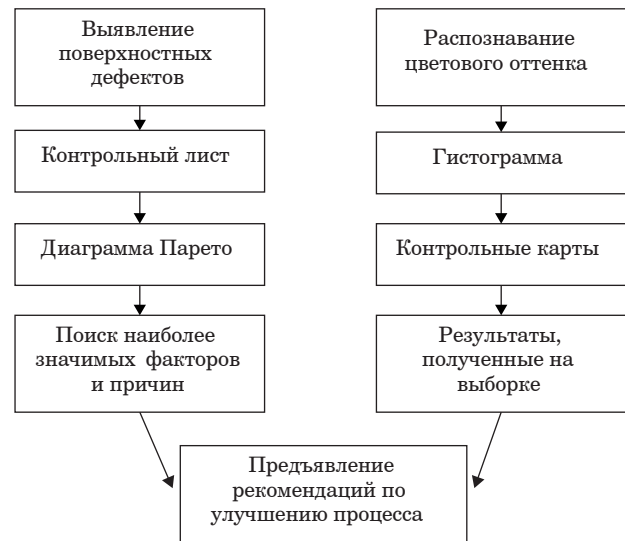


Рис. 2. Алгоритм автоматизированной системы для поверхностных дефектов и распознавания цветовой оттенка

ми управления качеством. Следует также отметить, если на одной керамической плитке обнаружен один и тот же дефект одинакового вида, на выход программы к общей выборке попадет только найденный вид во избежание ошибок распознавания (например, один цек система может воспринимать как несколько цек, идущих вдоль).

Касаемо распознавания цветовой оттенка система попиксельно рассматривает доминирующий цвет плитки, при этом сами рисунки и дефекты игнорируются. Более подробный алгоритм системы представлен на рис. 2.

Можно сделать вывод, что автоматизированный контроль качества керамических плиток с применением технического зрения является весьма сложным для повышения качества продукции на предприятии, требующим инвестиций в оборудование и программное обеспечение, а также квалифицированных специалистов. Тем не менее данный метод за счет повышения эффективности производства и качества продукции позволит предприятию окупиться и стать наиболее конкурентоспособным.

Библиографический список

1. Технологический процесс производства керамической плитки. URL: https://www.steps.ru/article/tehnologicheskij_protsess_proizvodstva_keramicheskoy_plitki/?ysclid=lwqqrwrugg243411391 (дата обращения: 28.11.2024).

2. ГОСТ 13996–2019. Плитки керамические. Общие технические условия (ISO 13006:2018, NEQ). М.: Стандартинформ, 2019. 42 с.

3. ГОСТ 27180–2019. Плитки керамические. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 63 с.

4. *Кадим М. Х., Русинов Л. А.* Автоматизация контроля керамической плитки на наличие угловых дефектов и дефектов на гранях // Промышленные АСУ и контроллеры. 2022. № 4. URL: <http://asu.tgizd.ru/ru/arhiv/21148> (дата обращения: 01.12.2024).

УДК 004.896

А. М. Сергеев*

кандидат технических наук, доцент

А. С. Радаева*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕКТОРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В КОД ДЛЯ УСТРОЙСТВ С ЧПУ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрен метод, позволяющий преобразовывать векторное изображение в код для устройств с числовым программным управлением путем разбиения контура на простейшие кривые Безье с последующей генерацией кода.

Ключевые слова: векторное изображение, код для ЧПУ, генерация кода.

A. M. Sergeev*

PhD, Tech., Associate Professor

A. S. Radaeva*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

A METHOD FOR CONVERTING A VECTOR IMAGE INTO A CODE FOR CNC DEVICES BY MEANS OF IMAGE SOFTWARE PROCESSING

The article considers a method that allows converting a vector image into a code for numerically controlled devices by dividing the contour into the simplest Bezier curves with subsequent code generation.

Keywords: vector image, CNC code, code generation.

Введение

В настоящее время технологии числового программного управления становятся все более распространенными в различных областях промышленности. Возможность автоматизированного создания сложных деталей значительно расширяет возможности производства изделий. Однако для работы на производственном оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ) необходимо преобразование исходных данных в управляемый код, управляющий перемещениями рабочего узла (резца, фрезы, печатающей головки и др.) этого оборудования. Примером таких данных может служить векторное изображение.

В работе рассматривается собственный метод, позволяющий преобразовывать векторное изображение в исполняемый код с целью создания маршрута перемещения рабочего узла оборудования с ЧПУ с минимизацией непродуктивных перемещений.

Теоретические сведения

Широко известен вид графики SVG (Scalable Vector Graphics), который создается с помощью математического описания геометрических примитивов (линий, кругов, эллипсов, прямоугольников, кривых), образующих детали изображения [1]. Преимуществами векторной графики являются ее легкая масштабируемость и редактируемость. Однако для работы с ЧПУ для любого изображения требуется конвертация в управляемую программу.

Для современных станков с ЧПУ существуют три метода создания управляющей программы:

- ручное программирование;
- программирование на пульте управляющей системы с ЧПУ;
- программирование при помощи CAD/CAM-системы.

Независимо от используемого метода, полученная управляющая программа имеет один и

тот же вид – G-code. Это условное наименование языка программирования для устройств с числовым программным управлением, разработанным еще в 60-е гг. прошлого века [2; 3].

Язык имеет жесткую структуру:

- все команды управления объединяются в кадры – группы из одной или более команд;
- каждая команда состоит из слов – комбинации латинской буквы и некоторого числового значения (положительного или отрицательного, дробного или целого).

Таким образом, исполняемая команда G-code имеет следующий общий вид:

GG## XX## YY## ZZ## FF##.

GG## обозначает команду, например перемещение рабочих органов оборудования, выполнение типовых последовательностей (таких, как обработка отверстий и резьба) или управление параметрами инструмента, системами координат и рабочих плоскостей.

XX## YY## ZZ## обозначают адрес перемещения по координатам X, Y и Z соответственно. FF## устанавливает скорость перемещения исполнительного механизма.

Кроме исполнительных команд, в G-code есть вспомогательные, начинающиеся с буквы M. Они необходимы для выполнения таких действий, как:

- смена инструмента;
- вызов программы;
- завершение программы;
- включение или выключение охлаждения и др.

Программная реализация

Основой программного обеспечения является разработанный метод, который реализуется процедурой `generate_gcode()`. Метод обеспечивает считывание из командной строки SVG-файла, производит масштабирование изображения для преобразования координат фигур в соответствующие координаты для перемещения рабочего узла оборудования с ЧПУ.

После преобразования для каждого элемента в файле распознается тип фигуры, маршрут ее построения и генерируются точки для воспроизведения этой фигуры. Перемещение рабочего узла реализуется с помощью набора кривых Безье, которые могут быть аппроксимированы множеством прямолинейных сегментов до достижения необходимой гладкости.

Полученные кривые аппроксимируются в виде линий и преобразуются в G-code.

Код, реализующий предлагаемый метод:

```
def generate_gcode():
    svg_shapes = set(['rect', 'circle', 'ellipse',
                     'line', 'polyline', 'polygon', 'path'])

    tree = ET.parse(sys.stdin)
    root = tree.getroot()

    width = root.get('width')
    height = root.get('height')
    if width == None or height == None:
        viewBox = root.get('viewBox')
        if viewBox:
            _, _, width, height = viewBox.split()

    if width == None or height == None:
        print("Не удалось прочитать svg изображение")
        sys.exit(1)

    width = float(width)
    height = float(height)

    scale_x = bed_max_x / max(width, height)
    scale_y = bed_max_y / max(width, height)

    print(preamble)

    for elem in root.iter():

        try:
            _, tag_suffix = elem.tag.split('}')
        except ValueError:
            continue

        if tag_suffix in svg_shapes:
            shape_class = getattr(shapes_pkg, tag_suffix)
            shape_obj = shape_class(elem)
            d = shape_obj.d_path()
            m = shape_obj.transformation_matrix()

            if d:
                print(shape_preamble)
                p = point_generator(d, m, smoothness)
                for x,y in p:
                    if x > 0 and x < bed_max_x and y > 0
and y < bed_max_y:
                        print(("G1 X%0.1f Y%0.1f" %
(scale_x*x, scale_y*y)))
                print(shape_postamble)

    print(postamble)
```

Начальная и завершающая части G-code представляют собой стандартные команды и описаны отдельно:

```
preamble = "G21"

postamble = "M4"

shape_preamble = "G0"

shape_postamble = " G0"

smoothness = 0.2
```

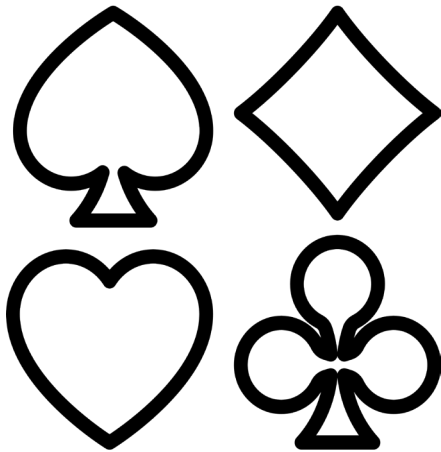


Рис. 1. Исходное изображение

Для генерации точек фигуры написана процедура `point_generator()`:

```
def point_generator(path, mat, flatness):
    if len(simplepath.parsePath(path)) == 0:
        return

    simple_path = simplepath.parsePath(path)
    startX, startY = float(simple_path[0][1][0]),
    float(simple_path[0][1][1])
    yield startX, startY
```

```
p = cubicsuperpath.parsePath(path)

if mat:
    simpletransform.applyTransformToPath(mat,
p)

for sp in p:
    cspsubdiv.subdiv( sp, flatness)
    for csp in sp:
        ctrl_pt1 = csp[0]
        ctrl_pt2 = csp[1]
        end_pt = csp[2]
        yield end_pt[0], end_pt[1]
```

Ее назначение – проверка пути воспроизведения рабочим узлом оборудования с ЧПУ фигуры, а именно – проверка на его пустоту. Затем задаются начальные точки и путь разбивается на более мелкие отрезки для получения кривых Безье [4] до конечной точки. Полученные кривые Безье (отрезки маршрута), в свою очередь, делятся на более мелкие отрезки путем субделения и аппроксимации.

Пример работы метода

На рис. 1 представлено исходное изображение фигуры, подлежащей воспроизведению рабочим узлом на оборудовании с ЧПУ.

В результате работы программы получен G-code, который после выполнения его симуляции дает результат, представленный на рис. 2.

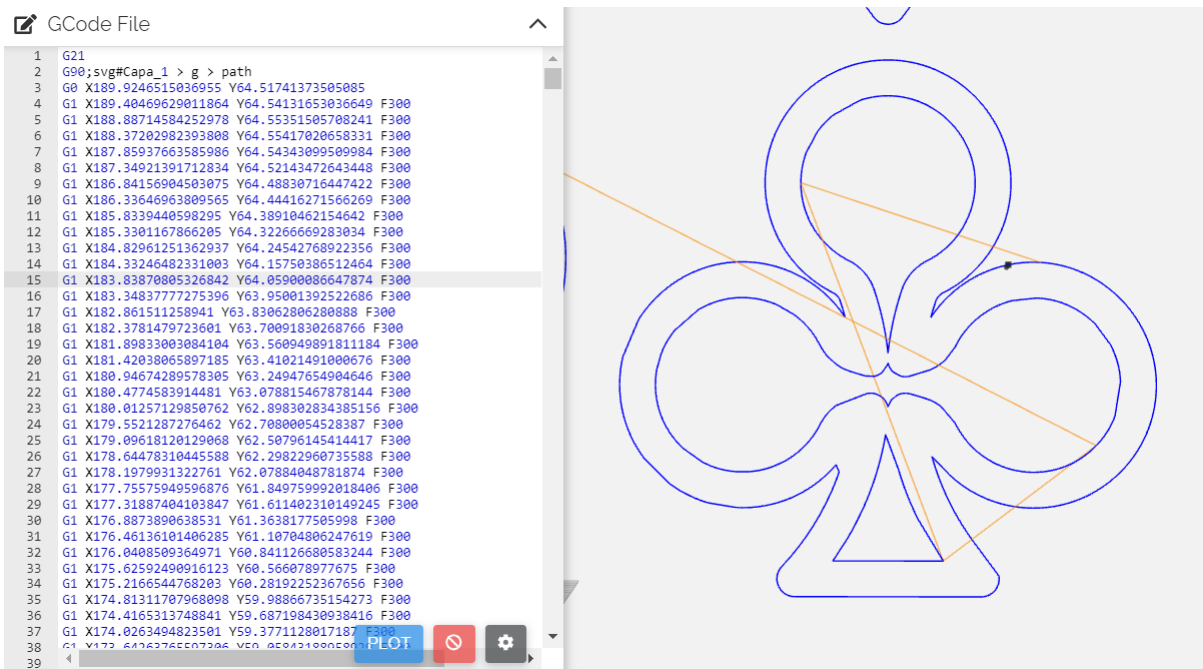


Рис. 2. Результат симуляции

Заключение

Исследование результатов преобразования векторных изображений в код для ЧПУ показало необходимость учета следующих аспектов преобразования.

Окружности в SVG, представленные в виде кривых Безье, могут быть аппроксимированы с помощью множества прямолинейных отрезков. При преобразовании необходимо обеспечить достаточное количество отрезков, чтобы окружности не выглядели угловатыми и неестественными. Выбор длины отрезков и углов поворотов также существенно влияет на качество получаемого G-code. Если параметры не оптимизированы, это может привести к заметным искажениям.

Если переходы между линиями слишком резкие и образуют острые углы, то это может привести к проблемам с точностью воспроизведения элемента изображения. Оборудование может не успеть среагировать на резкое изменение направления, что приведет к искажению воспроизводимого элемента изображения. При воспроизведении острых углов рабочими узлами оборудования с ЧПУ для обеспечения точ-

ности воспроизведения необходимо правильно управлять скоростью (учитывая в коде) перемещения рабочего узла – понижать ее.

Библиографический список

1. Юферов А. Г. Библиотека условных графических обозначений энергетического оборудования в формате масштабируемой векторной графики // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2015. № 4. С. 79–89.
2. Shailendra R. Design and development of a generic G-code generator for networking CNC machines / ETD Collection for University of Texas, El Paso. 1992. URL: <https://scholarworks.utep.edu/dissertations/AAIEP04190> (дата обращения: 24.11.2024).
3. Помпеев К. П., Николаев А. Д., Нгуен Н. К. Методика наладки и программирования фрезерного станка с ЧПУ, оснащенного системой Fanuc: учеб. пособие. СПб.: Ун-т ИТМО, 2021. 58 с.
4. Утемисова А. А., Романов П. Ю. Некоторые методы построения кривых Безье // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2018. Т. 6, № 1. С. 20–24.

УДК 004.89

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

Н. В. Белый*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Рассмотрены проблемы современной идентификации пользователя в различных системах, описаны проблемы биометрической идентификации, выявлены признаки биометрической идентификации в классическом клавиатурном почерке.

Ключевые слова: акселерометр, мобильное устройство, пользователь, идентификация личность, личность, кибербезопасность.

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

N. V. Belyi*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

USE OF MOBILE ACCELEROMETERS FOR BIOMETRIC USER IDENTIFICATION

The paper discusses the problems of modern user identification in various systems, describes the problems of biometric identification, reveals signs of biometric identification in classic keyboard handwriting.

Keywords: accelerometer, mobile device, user, identity, personality, cybersecurity.

Введение

В эпоху полномасштабной цифровизации, простоты доступа к электронным ресурсам существует необходимость в идентификации пользователей глобальной сети интернет, особенно если эти пользователи задействованы в процессах, представляющих большую значимость как для конкретного человека, так и для общества в целом [1; 2].

В цифровом пространстве ежесекундно совершаются сотни операций, обрабатываются колоссальные объемы данных, протекают различные процессы, часть из которых обладает высоким уровнем значимости и несет потенциальную угрозу в случае получения контроля над ними лицами, имеющими злой умысел. Для идентификации участников данных процессов используется широкий спектр технологий защиты информации, от простых проверок кодов доступа до более сложных блокчейн-систем [1].

Тем не менее большая часть существующих протоколов безопасности подразумевает авторизацию не столько самого пользователя, сколько его устройства, часто используя для идентификации нечто вроде IP- или MAC-адреса. Очевидно, что подобный подход не позволяет определить, кто именно контролирует авторизованное устройство [1–3].

Особенно актуальна данная проблема для мобильных устройств, так как именно они наиболее подвержены утерям и кражам. Защищенное простым кодом-паролем мобильное устройство при утере представляет большую угрозу для своего владельца, так как нередко все логины и пароли, например от банковских приложений, хранятся непосредственно на нем. Двухфакторная аутентификация через СМС по понятным причинам также становится бесполезной при получении злоумышленником доступа к данным на устройстве [2–4].

В этой связи особый интерес представляют технологии, позволяющие осуществлять иден-

тификацию пользователя по его уникальным биометрическим признакам [5].

О системах биометрической идентификации личности

Существует множество методов идентификации личности человека, основанных на распознавании его уникальных биометрических характеристик, таких как отпечатки пальцев, рисунок сетчатки глаза и др. [1–3].

Данные методы в большинстве своем предполагают использование специальных устройств для считывания этих характеристик, в частности ультразвуковых и лазерных сканеров для идентификации по отпечатку пальца и рисунку сетчатки глаза соответственно.

Системам биометрической идентификации, реализующим данные методы, свойственен ряд недостатков [4]:

- 1) необходимость в специальных датчиках повышает техническую сложность и стоимость как развертывания, так и обслуживания;
- 2) использование сканеров делает невозможным скрытное использование системы;
- 3) работа непосредственно с биометрическими данными влечет за собой ряд юридических сложностей.

Несмотря на существование подобных недостатков, классические системы биометрической идентификации обладают рядом преимуществ, наиболее значимым из которых является их высокий показатель точности.

В то же время существует ряд задач, требующих не только точности, но и масштабируемости обработки данных. Система биометрической идентификации, требующаяся для решения подобных задач, должна одновременно функционировать на множестве устройств и не требовать наличия специальных датчиков [1–4]. В качестве примера можно привести систему идентификации, основанную на распознавании клавиатурного почерка.

О классическом клавиатурном почерке

Под клавиатурным почерком понимается совокупность поведенческих (косвенно биометрических) характеристик, совокупность которых может быть использована для идентификации личности человека. К этим характеристикам относятся:

- 1) скорость – количество нажатий на клавиши за определенный промежуток времени;

- 2) динамика – промежутки между нажатиями различных клавиш, время их удержания;

- 3) точность – соотношение точных нажатий и нажатий с ошибками за определенный промежуток времени.

Система идентификации по клавиатурному почерку обладает простотой реализации и внедрения. Для ее развертывания на компьютере не требуется никакого специального оборудования, за исключением непосредственно клавиатуры [3; 4]. Подобная система обладает низкой степенью зависимости от аппаратных компонентов, обработка данных в ней не требует высоких вычислительных мощностей, а также она способна функционировать скрытно, собирая и обрабатывая данные в фоновом режиме.

Однако в настоящее время приобретает все большую актуальность задача идентификации пользователей мобильных устройств в силу их распространенности и все еще высокой степени анонимности лиц, пользующихся глобальной сетью.

О проявлениях биометрических признаков пользователей мобильных устройств и их обработке

Каждый пользователь мобильного устройства обладает уникальным набором неочевидных биометрических характеристик, а именно осанкой, остротой зрения, формой кистей рук, длиной пальцев, степенью развития мелкой моторики, гибкостью суставов и т. п. Данные биометрические признаки практически невозможно считать напрямую, однако практически все современные мобильные устройства обладают акселерометром, при помощи которого они могут быть считаны.

Несмотря на то, что каждый из этих признаков может изменяться в течение времени, эти изменения с низкой вероятностью могут быть мгновенными, а их совокупность тем более стабильна. К тому же существуют возможность учета предела допустимой погрешности и динамическая адаптация алгоритмов идентификации, основанная на дообучении нейронных сетей, используемых системой.

Присутствующий практически в любом современном смартфоне акселерометр позволяет в любой момент времени получить данные об ускорении устройства по осям x , y и z , а также о его пространственной ориентации. В совокупности с данными, получаемыми с сенсорного экрана устройства, эти показатели могут быть проанализированы на предмет присутствия в них следов биометрических призна-

ков и использованы для идентификации пользователя.

В момент начала пользовательской сессии (например, при включении экрана) может запускаться таймер, образующий временную ось, с началом в момент t_0 и окончанием в момент завершения сессии t_N . При каждом взаимодействии пользователя с сенсорным экраном, в момент времени $t_x, x \in R$, будут считываться параметры ускорения $a(x), a(y), a(z)$, пространственной ориентации устройства (α, β, γ) , координаты касания (x, y) и его сила F . Таким образом, данные сессии можно будет представить в виде таблицы.

Данные сессии

Параметр	t_0	t_1	...	t_N
$a(x)$	$a(x)_{t_0}$	$a(x)_{t_1}$	...	$a(x)_{t_N}$
$a(y)$	$a(y)_{t_0}$	$a(x)_{t_1}$	...	$a(x)_{t_N}$
$a(z)$	$a(z)_{t_0}$	$a(x)_{t_1}$	...	$a(x)_{t_N}$
α	α_{t_0}	α_{t_1}	...	α_{t_N}
β	β_{t_0}	$\hat{\alpha}_{t_1}$	...	β_{t_N}
γ	γ_{t_0}	γ_{t_1}	...	$\tilde{\alpha}_{t_N}$
x	x_{t_0}	x_{t_1}	...	x_{t_N}
y	y_{t_0}	y_{t_1}	...	y_{t_N}
F	F_{t_0}	F_{t_1}	...	F_{t_N}

Данные, полученные с датчиков, могут быть обработаны при помощи даже простейшей нейронной сети, обученной для поиска закономерностей в числовых последовательностях.

В случае использования системы непосредственно на устройстве каждый пользователь какое-то будет сам формировать датасет для обучения нейронной сети, которая затем сможет выполнять его аутентификацию по уникальным закономерностям в наборе данных и отличить его от прочих. Более того, может быть создана централизованная система обработки данных, собирающая их с большого количества источников, от социальных сетей до банковских приложений. Подобная система может быть ис-

пользована для противодействия преступлениям, совершаемым в цифровом пространстве.

Если такая система будет реализована, то станет возможно выявить связь между различными анонимными аккаунтами и устройствами в сети интернет и выявить, кому они принадлежат. Иными словами, масштабное внедрение подобной технологии позволит создавать при каждом действии пользователя мобильного устройства цифровой отпечаток его биометрических данных, по которому можно будет отследить все его действия, в то время как некоторые технологии анонимизации, вроде подмены IP-адреса не смогут этому помешать.

Заключение

Использование данных, получаемых акселерометром мобильного устройства для идентификации личности человека, пользующегося им, может быть перспективной технологией в области систем биометрической идентификации. Одним из ключевых преимуществ данного метода является то, что система, его использующая, может быть развернута практически на любом современном смартфоне исключительно программным способом, так как не требует никаких специфических аппаратных компонентов. Следует отдельно отметить, что система, реализующая данный метод, не работает напрямую с биометрическими признаками пользователя, а лишь обрабатывает особым образом данные, поступающие со стандартных сенсоров устройства.

Библиографический список

1. Катмаков П. С., Гавриленко В. П., Бушов А. В. Биометрия: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. П. С. Катмакова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2023. 186 с.
2. Наумов В. В. Лингвистическая идентификация личности. М.: Ленанд, 2022. 240 с.
3. Баланов А. Н. Биометрия. Разработка и внедрение систем идентификации: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2024. 228 с.
4. Криминалистика: в 5 т. Т. 3. Криминалистическая техника: учеб. для вузов / И. В. Александров [и др.]; под общ. ред. И. В. Александрова; отв. ред. Н. Н. Егоров. М.: Юрайт, 2024. 216 с.
5. Ворона В. А. Биометрическая идентификация личности. М.: Горячая линия-Телеком, 2023. 227 с.

УДК 617.57-77

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

Ю. И. Гуков*

магистрант

А. С. Осташов*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДУЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И КАТЕГОРИЗАЦИИ СИГНАЛОВ МЫШЦ ПРЕДПЛЕЧЬЯ НА БАЗЕ ATMEGA 328

Рассматривается разработка модуля для распознавания и категоризации электромиографических сигналов мышц предплечья на базе микроконтроллера ATmega328 и нейросетевых алгоритмов. Приводится описание аппаратной части для сбора и усиления сигналов, а также подходы к их обработке и классификации с использованием искусственной нейронной сети. Основное внимание уделено оптимизации нейросетевого алгоритма для работы на маломощном микроконтроллере, что позволяет использовать модуль в бюджетных решениях для протезирования и управления роботизированными системами. Полученные результаты показывают перспективность создания доступных и эффективных интерфейсов на основе маломощных микроконтроллеров для интерактивных приложений.

Ключевые слова: бионический протез, миоэлектрический сигнал, биомеханика, механизмы протезирования, искусственная рука, роботизированные протезы.

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

Yu. I. Gukov*

Postgraduate Student

A. S. Ostashov*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK MODULE FOR RECOGNIZING AND CATEGORIZING FOREARM MUSCLE SIGNALS BASED ON ATMEGA 328

The development of a module for recognizing and categorizing electromyographic signals of forearm muscles based on the ATmega328 microcontroller and neural network algorithms is considered. The hardware for collecting and amplifying signals is described, as well as approaches to their processing and classification using an artificial neural network. The main attention is paid to optimizing the neural network algorithm for operation on a low-power microcontroller, which allows the module to be used in budget solutions for prosthetics and control of robotic systems. The results obtained show the prospects of creating accessible and efficient interfaces based on low-power microcontrollers for interactive applications.

Keywords: bionic prosthesis, myoelectric signal, biomechanics, prosthetics mechanisms, artificial arm, robotic prostheses.

Введение

Современная электроника и биотехнологии стремительно развиваются, открывая новые возможности в области взаимодействия человека и машины. Разработка нейросетевых систем для распознавания сигналов мышц находит применение в таких областях, как протезирование, управление роботизированными устрой-

ствами и спортивные тренажеры [1–5]. Данный подход позволяет повысить уровень интерактивности и точности, позволяя устройствам лучше адаптироваться под человека.

Цель работы – показать возможности модуля для распознавания и категоризации электромиографических (ЭМГ) сигналов мышц предплечья с использованием микроконтроллера ATmega328 и нейросетевой алгоритмической

части для создания протезов конечностей человека.

Разработка макета обработки ЭМГ-сигналов

ЭМГ-сигналы отражают электрическую активность мышц, генерируемую при их сокращении [3; 4]. Считывание этих сигналов может дать ценную информацию о намерениях пользователя, что делает данный метод подходящим для применения в протезировании и управлении робототехникой. В качестве основной платформы для разработки модуля был использован микроконтроллер ATmega328 благодаря его доступности, низкой стоимости и широким возможностям для интеграции с сенсорами [6; 7].

В качестве модулей, регистрирующих сигналы мышц предплечья, выбраны два разных продукта. Один для тестирования и отладки, а второй – для установки в итоговое изделие, поскольку разработка описываемого модуля ведется для его последующего использования в протезе руки.

Внешний вид используемого в статье датчика представлен на рис. 1. Датчик представлен на специальной плате, фильтрующей сигнал и выдающей его на выходы в аналоговом виде. Далее полученные сигналы обрабатываются на микроконтроллере ATmega328 и выдаются в нескольких вариантах, определяющих действие: кулак сжат, кулак разжат, запястье поднято, запястье опущено, запястье влево, запястье вправо. Получаемый сигнал при

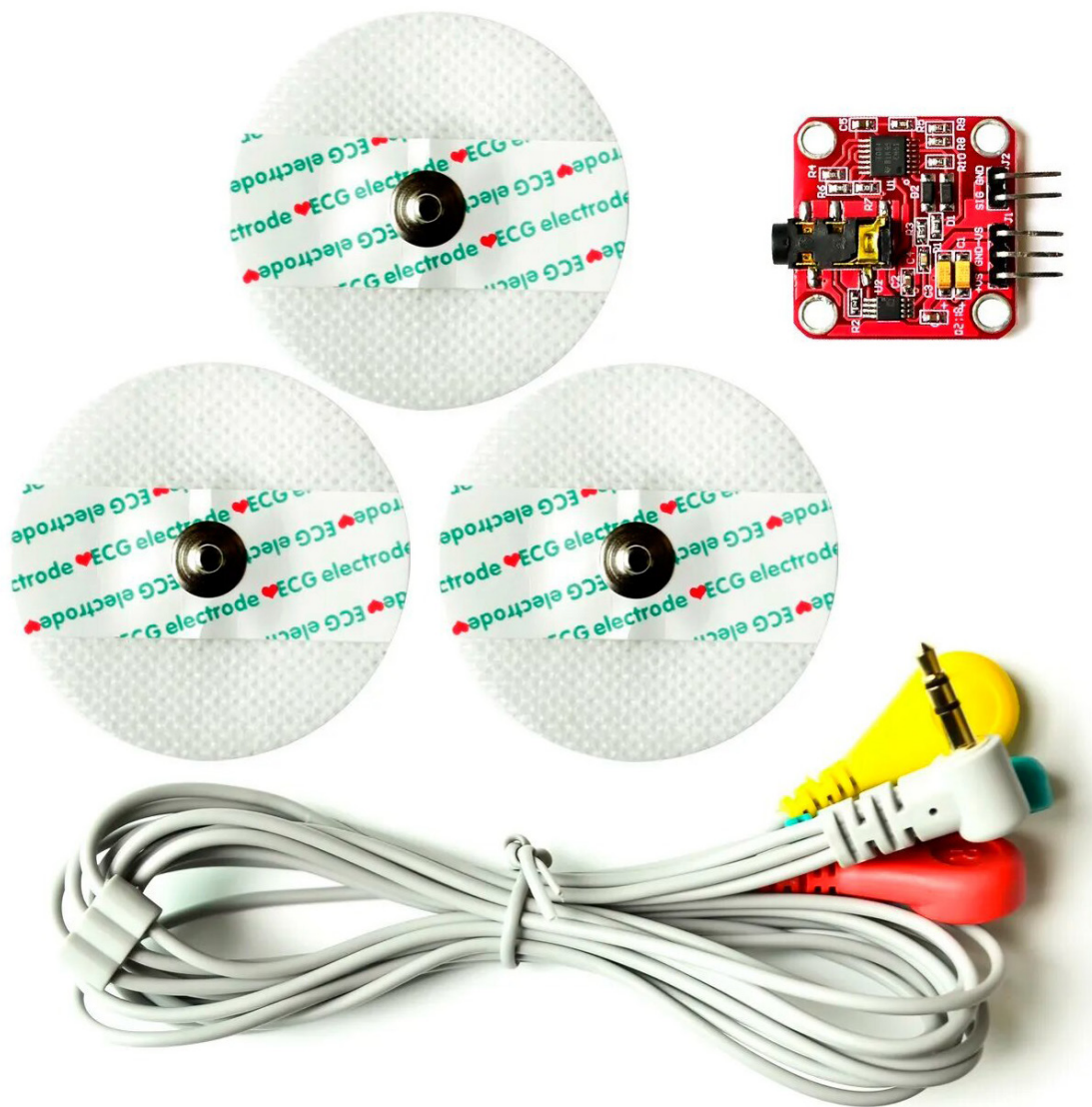


Рис. 1. ЭМГ-датчик

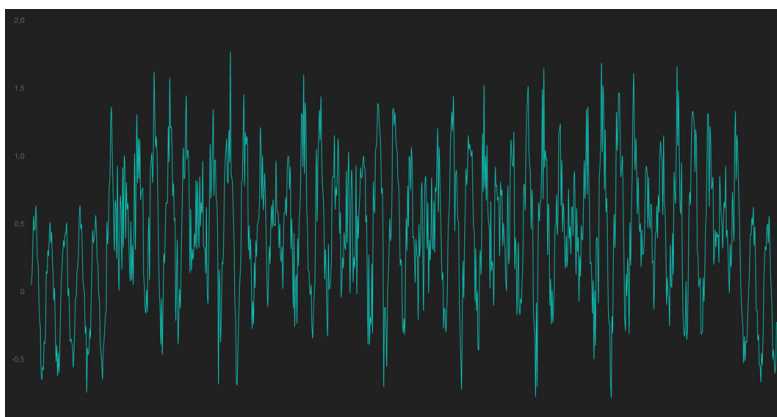


Рис. 2. «Чистый» сигнал с датчика

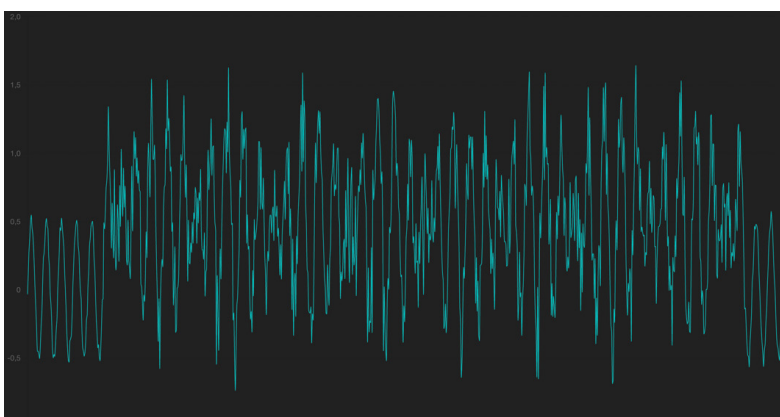


Рис. 3. Отфильтрованный один раз сигнал

этом сильно зашумлен и требует дополнительной фильтрации [8; 9].

На рис. 2 и 3 приведены примеры чистого сигнала и программно отфильтрованного на ATmega328.

На рис. 4 представлен хорошо отфильтрованный сигнал, который уже можно обрабатывать, поскольку на нем четко прослеживаются пики и базовая чистота шума.

Подключенная простая нейронная сеть [10], обученная в режиме реального времени, позволяет распознавать действия мышц и не срабатывать на ложные сигналы [11]. В результате программа позволяет детектировать конкретные участки графика, на которых мышцы сокращались. Для теста использовалось простое действие сжатия кулака (рис. 5).

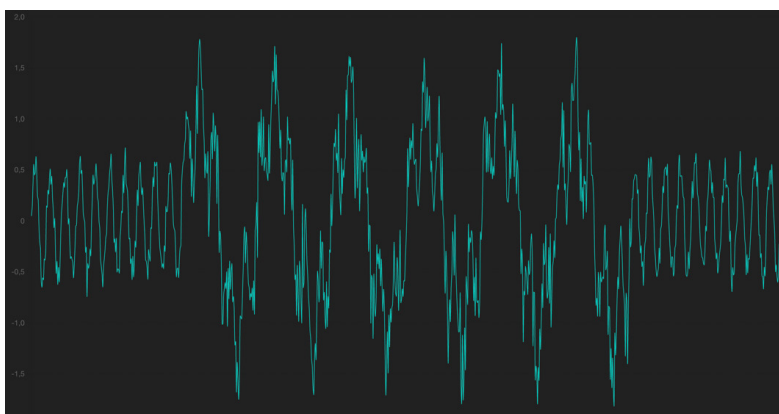


Рис. 4. Хорошо отфильтрованный сигнал

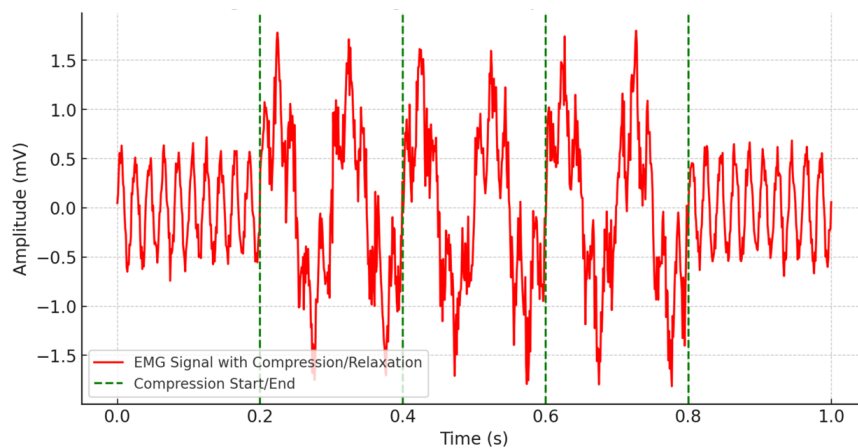


Рис. 5. Распознавание сжатия кулака

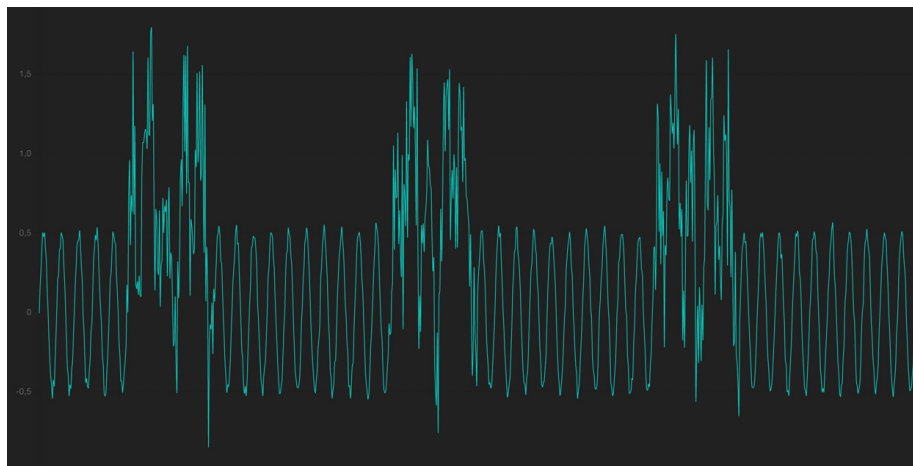


Рис. 6. Новые показатели сигнала при сжатии-разжатии кулака

На графике видно, что программа неверно определяет момент отпускания усилия. Она видит три цикла сжатия-разжатия, хотя пиков шесть, а кулак был сжат и разжат действительно 3 раза. Эффект удвоения пиков происходит из-

за разрядки конденсатора на катушку компенсатора на плате снятия сигналов. Проблема двойного пика была решена заменой модуля снятия и усиления сигнала. После замены график сигнала стал выглядеть чище и корректнее (рис. 6).

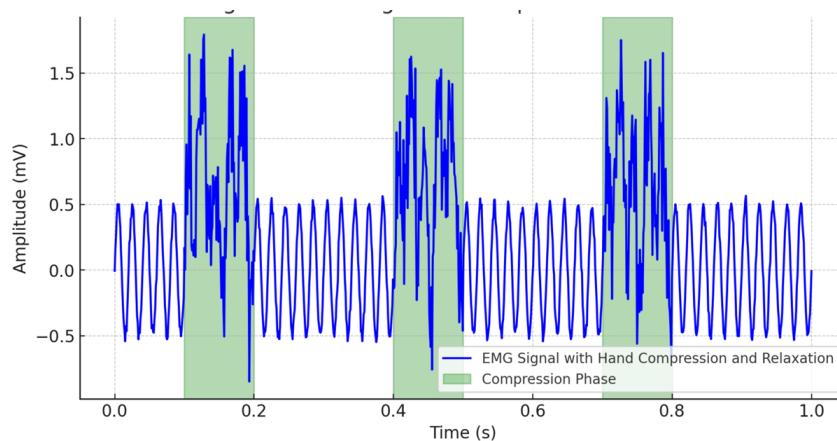


Рис. 7. Результат работы программы

После небольшой переработки алгоритма распознавания сигналов, был получен результат, показанный на рис. 7. Приведенные результаты показывают, что программа корректно отображает части сигнала, соответствующего сжиманию кулака человеком.

Заключение

Разработка нейросетевого модуля распознавания и категоризации сигналов мышц предплечья на базе ATmega328 представляет собой пример применения маломощных микроконтроллеров в области нейротехнологий. Сочетание доступной аппаратуры и современных алгоритмов машинного обучения открывает перспективы для создания бюджетных и доступных решений в области реабилитации и управления различными устройствами.

Разработанный модуль может быть использован как основа для протезов с высокоэффективным управлением или в качестве пользовательского интерфейса для различных роботизированных систем. Добавление еще четырех датчиков для снятия остальных отведений мышц предплечья одновременно с доработкой программы, позволит увеличить точность и расширить количество категорий, возможных для детекции.

Несмотря на ограничения в вычислительных ресурсах ATmega328, правильный подход к проектированию и оптимизации делает возможным создание системы, способной работать с приемлемой скоростью и точностью, что является важным шагом на пути к созданию интерактивных и персонализированных устройств будущего.

Библиографический список

1. Zehr E. P. Considerations for Use of the Hoffmann Reflex in Exercise Studies // *European Journal of Applied Physiology*. 2002. № 86(6). P. 455–468.
2. Popov A., Fedorov A., Sokolov I. Signal Processing for EMG-Based Gesture Recognition Using AVR Microcontrollers // *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2019. № 12(3). P. 119–125.
3. Merletti R., Parker P. A. *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. Wiley-IEEE Press, 2004.
4. Surface EMG-Based Inter-Session Gesture Recognition Enhanced by Deep Domain Adaptation / Y. Du, W. Jin, W. Wei [et al.] // *Sensors*. 2017. № 17(3). P. 458.
5. Winter D. A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 4th ed. Wiley, 2009.
6. ATmega328P Datasheet // Microchip Technology. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf (дата обращения: 20.11.2024).
7. ATmega328 Microcontroller Overview // Arduino. URL: https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf (дата обращения: 20.11.2024).
8. Schlink B. R., Vishwanath K. Design of a Low-Cost EMG Signal Acquisition System Using AVR Microcontrollers // *IEEE Sensors Journal*. 2014. № 14(8). P. 2762–2768.
9. Bultheel A. *Digital Signal Processing: An Introduction with MATLAB and Applications*. Springer, 2006.
10. Haykin S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. 2nd ed. Prentice Hall, 1999.
11. Bishop C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.

УДК 004

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

Д. Д. Знаменская*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Представлены задачи, которые позволяет решать компьютерное зрение в составе интеллектуальных систем на предприятиях черной металлургии. На основе исследования опыта крупных металлургических комбинатов приводятся ключевые преимущества применения систем компьютерного зрения в данной сфере.

Ключевые слова: компьютерное зрение, черная металлургия, автоматизация, контроль качества, устойчивость.

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

D. D. Znamenskaia*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ADVANTAGES OF USING COMPUTER VISION SYSTEMS IN STEEL INDUSTRY

This article presents problems that can be solved by computer vision as part of intelligent systems at steel plants. Based on a study of the experience of large steel mills, the author cites the key advantages of using computer vision systems in this scope.

Keywords: computer vision, steel industry, automation, quality control, sustainability.

Введение

В рамках четвертой промышленной революции активно развивается автоматизация производств. Популярность концепции индустрии 4.0 [1], которая характеризуется внедрением различных информационных технологий (систем поддержки принятия решений, искусственного интеллекта, интернета вещей), на крупных отечественных предприятиях из года в год растет. В металлургии цифровая трансформация особенно актуальна, так как на данный момент отрасль столкнулась с серьезными вызовами, связанными с эффективностью технологических процессов, качеством производимой продукции и экологической устойчивостью.

Ключевым элементом индустрии 4.0 является компьютерное зрение. Компьютерное зрение – это научное направление в области искусственного интеллекта и связанные с ним технологии получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования

полученных данных для решения разного рода прикладных задач без участия (полного или частичного) человека [2].

На текущий момент наблюдается неоднородность цифровизации металлургических предприятий: лидеры отрасли активно внедряют системы компьютерного зрения на каждом этапе процесса производства стали, тогда как комбинаты с гораздо меньшими объемами выпускаемой продукции не спешат инвестировать в такие инструменты.

В данной статье рассмотрены преимущества, которых позволит достичь внедрение интеллектуальных решений, базирующихся на компьютерном зрении, в технологические процессы металлургических предприятий любого масштаба.

Применение компьютерного зрения в металлургическом производстве

Технология производства стали в своей основе содержит следующие этапы: производство

жидкого чугуна в доменной печи, выплавка стали (в кислородном конвертере – в контексте конвертерного производства, в дуговой сталеплавильной печи или шахтной печи – в контексте электросталеплавильного производства), внепечная обработка стали, разливка стали, порезка и прокат. На каждом этапе происходят сложные физико-химические процессы, а их контроль осуществляют комплексные автоматизированные системы. Компьютерное зрение в составе таких систем может решать ряд задач.

1. Автоматизированный контроль качества готовой продукции.

Традиционно контроль качества слабов, заготовок и листового проката осуществляется вручную сотрудниками цеха и включает визуальный осмотр продукции, измерение размеров и геометрии, а также такие неразрушающие методы дефектоскопии, как ультразвуковая или рентгеновская. Однако данные методы малоэффективны вследствие человеческого фактора (осмотр занимает длительное время, а вероятность ошибки ввиду несовершенства органов зрения крайне высока) и требуют использования дорогостоящего оборудования. Внедрение компьютерного зрения обеспечит автоматическое и непрерывное выявление бракованной продукции с высокой точностью еще до отгрузки клиентам, что позволит нивелировать репутационные риски, сократить затраты на ручной труд и значительно ускорить процесс.

В качестве примера можно обратиться к опыту ПАО «Северсталь». На своем основном про-

изводственном активе – Череповецком металлургическом комбинате – компания использует собственную систему компьютерного зрения EVE, позволяющую детектировать 4 типа дефектов металлопроката: плены, трещины, механические дефекты и раковины. Система EVE представляет собой нейронную сеть, которая получает с камер изображения поверхности металла, а затем обрабатывает их на выделенном высокопроизводительном сервере, определяет параметры дефектов и производит классификацию (рис. 1) [3].

2. Контроль состояния агрегатов.

С помощью компьютерного зрения можно отслеживать критические параметры состояния производственных агрегатов, чтобы предупреждать возникновение аварийных ситуаций. Так, на Новолипецком металлургическом комбинате установлен видеоконтроль дверей коксовой батареи: если неплотно закрытая створка или ее повреждение вследствие высоких температур (в процессе приготовления кокс нагревается до $\sim 1000^\circ\text{C}$ [4]) приводит к утечке коксового газа и снижению КПД печи, то разработанная система в реальном времени выявляет эмиссию (рис. 2) и сигнализирует персоналу о необходимости устранить проблему на конкретном участке батареи [5]. Исключительно силами сотрудников в процессе обхода агрегатов невозможно осмотреть каждый сегмент каждой створки, так как общая длина батареи составляет приблизительно 80 м, а высота двери – 5 м. А если решать задачу путем вывода

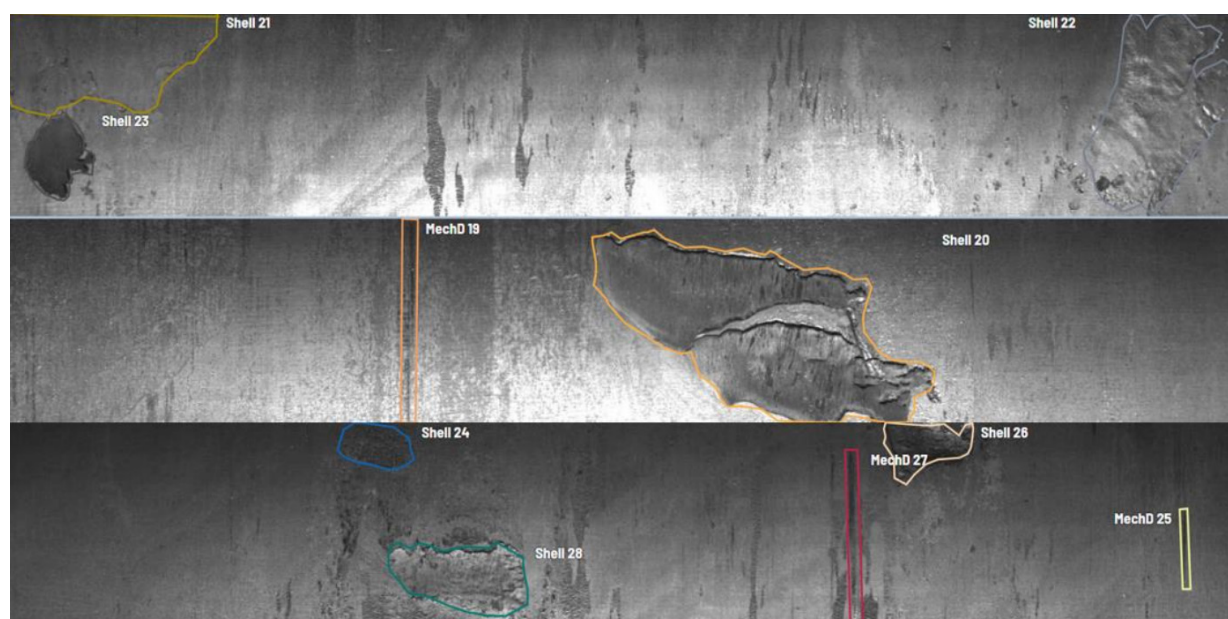


Рис. 1. Обнаружение дефектов листового проката [3]



Рис. 2. Определение утечек газа на коксовых батареях [5]

видео с камер в диспетчерскую и найма еще одного или нескольких работников, то своевременность ликвидации эмиссий будет упираться в человеческий фактор оператора – его внимательность и оперативность реагирования.

3. Охрана труда.

Также компьютерное зрение помогает обеспечивать безопасность труда в производственных цехах. Например, Магнитогорский металлургический комбинат внедрил интеллектуальную систему в коксовом цехе для определения нахождения работников в опасной зоне. Если в момент движения коксовыталкивающей машины сотрудник оказывается в критической зоне, то система включает световую и звуковую сигнализацию и останавливает машину [6].

Преимущества использования систем компьютерного зрения в металлургии

На металлургических предприятиях реализовано большое количество проектов, в основу которых положена технология компьютерного зрения. Это позволило добиться значительных успехов по улучшению экономической, социальной и экологической устойчивости. Исходя из рассмотренного опыта комбинатов, можно

выделить четыре основных преимущества применения компьютерного зрения.

1. Снижение затрат.

Автоматизация с помощью компьютерного зрения обеспечивает экономический эффект вплоть до десятков миллионов рублей в год. Например, система инспекции поверхности холоднокатанного проката компании «Северсталь» уменьшила количество претензий по дефектам в 2 раза [3], что означает двухкратное снижение затрат на возмещение клиентам стоимости бракованной продукции.

2. Повышение эффективности производственных процессов.

В отличие от человека, программное обеспечение работает непрерывно и не совершает ошибок по причине усталости, невнимательности или просто случайно. Также благодаря видеоаналитике можно автоматизировать ручные рутинные операции и минимизировать длительность простоев технологических агрегатов.

3. Повышение безопасности труда.

Решения на базе компьютерного зрения способны контролировать соблюдение требований безопасности на промплощадке: использует ли персонал средства индивидуальной защиты и специализированную экипировку и соблюдает ли заданные маршруты движения. Это позво-

ляет уменьшить количество несчастных случаев и риски для здоровья сотрудников.

4. Снижение загрязнения окружающей среды.

Вопросы экологии являются одним из основных аспектов индустрии 4.0 [7], а в контексте черной металлургии – наиболее важным ввиду сильного влияния на климатические изменения (парниковый эффект), биоразнообразие и углеродный след в городах присутствия. Компьютерное зрение обеспечивает автоматический мониторинг выбросов на территории металлургических предприятий.

Библиографический список

1. Цхададзе Н. В. Индустрия 4.0: концепция воздействия на экономику // Инновации и инвестиции. 2020. Т. 7. С. 43–45.

2. Компьютерное зрение: концепт, функционально-целевое назначение, структура, регуляторика / И. В. Понкин, В. П. Куприяновский, С. Л. Морева, А. И. Лаптева // International Journal of Open Information Technologies, 2024. Т. 5, вып. 12. С. 57–64.

3. Машинное зрение как инструмент повышения операционной эффективности // Сообщество «Вместе» компании «Северсталь». URL: <https://vmeste.severstal.com/announcements/mashinnoe-zrenie-kak-instrument-povysheniya-operatsionnoy-effektivnosti/> (дата обращения: 22.10.2024).

Заключение

Компьютерное зрение – перспективное и востребованное в производстве направление. Хотя разработка таких систем требует серьезных инвестиций в закупку, монтаж и обслуживание фото- и видеооборудования, преимущества трудно переоценить. Учитывая стремительное развитие технологий компьютерного зрения в течение четвертой промышленной революции, можно ожидать открытие новых возможностей для металлургических комбинатов в данной сфере.

4. Кауфман А. А., Филоненко Ю. Я. Отечественные и зарубежные коксовые печи. Конструкции и оборудование: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 90 с.

5. Как машинное зрение присматривает за коксовыми батареями // Хабр, блог компании «НЛМК ИТ». URL: <https://habr.com/ru/companies/nlmk/articles/814511/> (дата обращения: 24.10.2024).

6. ММК внедрил компьютерное зрение для безопасности производства // Новости интернета вещей. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/mmk-vnedril-kompyuternoe-zrenie-dlya-bezopasnosti-proizvodstva> (дата обращения: 24.10.2024).

7. O'Donovana C., Cinzia G., Pleydell-Pearce C. Revolutionising the Sustainability of Steel Manufacturing Using Computer Vision // Procedia Computer Science. 2024. Vol. 232. P. 1729–1738.

УДК 004.93'12

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

Т. Ф. Краснова*

студент

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЭТ-БУТЫЛОК НА СВАЛКЕ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И КАМЕРЫ ORBBEC ASTRA

Проблема накопления пластика весьма остро стоит в ряду с другими экологическими проблемами. Особое место занимают бутылки, изготавливаемые из полиэтилентерефталата (ПЭТ), производство которых быстро увеличивается, а следовательно, нарастают и их отходы, негативно сказываясь не только на окружающей среде, но и на здоровье людей. Необходимость применения новейших технологий в сфере утилизации отходов очевидна. В исследовании рассматривается разработка системы распознавания и локализации ПЭТ-бутылок в условиях свалки. В качестве компонентов системы представлены: нейронная сеть YOLOv8, позволяющая быстро и точно распознавать объекты, а также камера Orbbec Astra, благодаря которой можно получить изображение местности и данные о глубине, что позволит создавать 3D-карту местности и локализовать объекты.

Ключевые слова: ПЭТ-бутылки, распознавание, обучение, 3D-моделирование, нейронные сети, свалки.

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

T. F. Krasnova*

Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

IDENTIFICATION AND LOCALIZATION OF PET BOTTLES IN A LANDFILL BY INTEGRATING A NEURAL NETWORK AND THE ORBBEC ASTRA CAMERA

The problem of plastic accumulation is very acute among other environmental problems. A special place is occupied by bottles made of polyethylene terephthalate (PET), the production of which is rapidly increasing, and, consequently, their waste is also increasing, negatively affecting not only the environment, but also human health. The need to use the latest technologies in the field of waste disposal is obvious. The study considers the development of a system for recognizing and localizing PET bottles in a landfill. The system components include: the YOLOv8 neural network, which allows for quick and accurate recognition of objects, as well as the Orbbec Astra camera, which can be used to obtain an image of the terrain and depth data, which will allow creating a 3D map of the terrain and localizing objects.

Keywords: PET bottles, recognition, training, 3D modeling, neural networks, landfills.

Введение

Экологические проблемы все чаще звучат на повестке дня. Антропогенные факторы влияют на окружающую среду, что приводит не только к разрушению природных экосистем, но и наносит вред источнику возникновения данных аномалий. В ряду с большим количеством трудностей в вопросах экологической безопасности остро стоит проблема чрезмерного накопления отходов.

Отдельно стоит выделить пластиковые отходы, объем которых увеличивается быстрее всего, особенно это касается ПЭТ-бутылок (из по-

лиэтилентерефталата). Большая их часть попадает на полигоны или несанкционированные свалки, что влечет за собой деградацию всех экосистем, а также серьезно отражается на здоровье людей. Одним из наиболее эффективных методов, позволяющих уменьшить объем пластиковых бутылок на свалках, является переработка. Она включает несколько этапов, однако сбор и сортировка – ключевые фазы всего процесса.

Большая проблема в процессе переработки – сбор сырья. Сбор с полигонов и свалок в связи с трудоемкостью процесса осуществляется лишь в случае возникновения экологиче-

ских инициатив или специальных программ. В таком случае задействованы люди, чье здоровье ставится под угрозу. Невозможность в решении данной проблемы очевидна. Развитие технологий может позволить не задействовать людей напрямую с отходами, что защитит их от вдыхания вредных паров и контакта с кожей токсичных веществ. В настоящее время существует множество технологий, позволяющих этот этап оптимизировать и расширить диапазон возможностей. К таким технологиям, в частности, можно отнести компьютерное зрение и нейронные сети. Они позволяют автоматизировать процессы идентификации объектов, а также их локализации на местности.

Таким образом, внедрение современных технологий в сферу обращения с отходами может позволить снизить нагрузку на окружающую среду, оптимизировать процессы сбора и сортировки отходов, увеличить объем переработки и, как следствие, положительно повлиять на физическое состояние людей.

В данной статье рассматривается применение алгоритмов машинного обучения в распознавании ПЭТ-бутылок на ландшафтах свалок, а также определения их местоположения с помощью камеры Orbbec Astra.

Архитектура системы распознавания ПЭТ-бутылок на свалке

Разрабатываемую систему можно разделить на несколько этапов.

1. Сбор и обработка изображений.

Идентификация бутылок на свалке – это очень сложный процесс. На такой местности объекты располагаются в различных позициях, смешиваются с другими типами отходов, могут быть видны отдельные части бутылки, или объекты находятся в смятом состоянии. Кроме того, ПЭТ-бутылки имеют различный окрас, форму, а также высокий процент загрязнения [1].

Все эти особенности необходимо учитывать при сборе данных, чтобы процент верно идентифицируемых объектов был наибольшим. В процессе исследования были собраны изображения, подходящие под данные характеристики. Все данные собирались в датасет – набор данных для обучения нейронной сети, который составил порядка трех тысяч изображений. Датасет был составлен путем анализа открытых источников, выделения подходящих экземпляров, а также самостоятельной съемки кадров.

Следующая немаловажная стадия, идущая за сбором данных, – их обработка. Для аннотирования изображений был выбран интерак-

тивный инструмент CVAT (Computer Vision Annotation Tool) с открытым исходным кодом, который помогает упростить задачу подготовки данных для обучения [2]. Для задачи распознавания все объекты класса «ПЭТ-бутылка» были выделены ограничивающей рамкой. А затем произведен экспорт данных в необходимом формате.

2. Выбор архитектуры и обучение нейронной сети.

Отталкиваясь от задачи, при выборе архитектуры нейронной сети необходимо учесть скорость идентификации объектов в реальном времени, не теряя при этом точности распознавания. Кроме того, легко должен проходить процесс обучения на новых данных. Также немаловажна возможность простой интеграции с различными программными решениями.

Выбор пал на YOLOv8 – одну из новейших моделей из линейки YOLO. Основными преимуществами являются идентификация объектов в сложных условиях, благодаря высоким показателям средней точности (mAP) и перекрытия (IoU). Это позволяет распознавать объекты небольшого размера и идентифицировать их, когда на изображении находится множество различных деталей, что довольно актуально в контексте решаемой задачи [3]. Структура модели обнаружения представлена на рис. 1.

YOLOv8 использует сверточную нейронную сеть (CNN). Ее можно разделить на несколько частей:

- Backbone, или позвоночник, – основа для обнаружения объектов, базирующаяся на модифицированной архитектуре сверточной нейронной сети CSPDarknet53. Состоит из 53 сверточных слоев, к входным данным применяются фильтры, извлекаются признаки и образуют карту признаков. Данная архитектура использует частичные межэтапные соединения (CSP), которые улучшают информационный поток, влияя на эффективность обучения в положительную сторону;

- C2f-модуль, или шея (Neck), – модуль улучшает интеграцию функций с контекстной информацией, что приводит к повышению точности обнаружения [4]. Оптимизирует структуру сети за счет управления кратчайшим и наиболее длинным градиентными путями, что также улучшает обучение сети [5]. C2f разделяет входные карты объектов на два отдельных контура, одна часть карты объектов обрабатывается с помощью модулей bottleneck, другая часть остается неизменной.

- Head, или голова, – состоит из нескольких модулей детекции. За сверточными слоями сле-

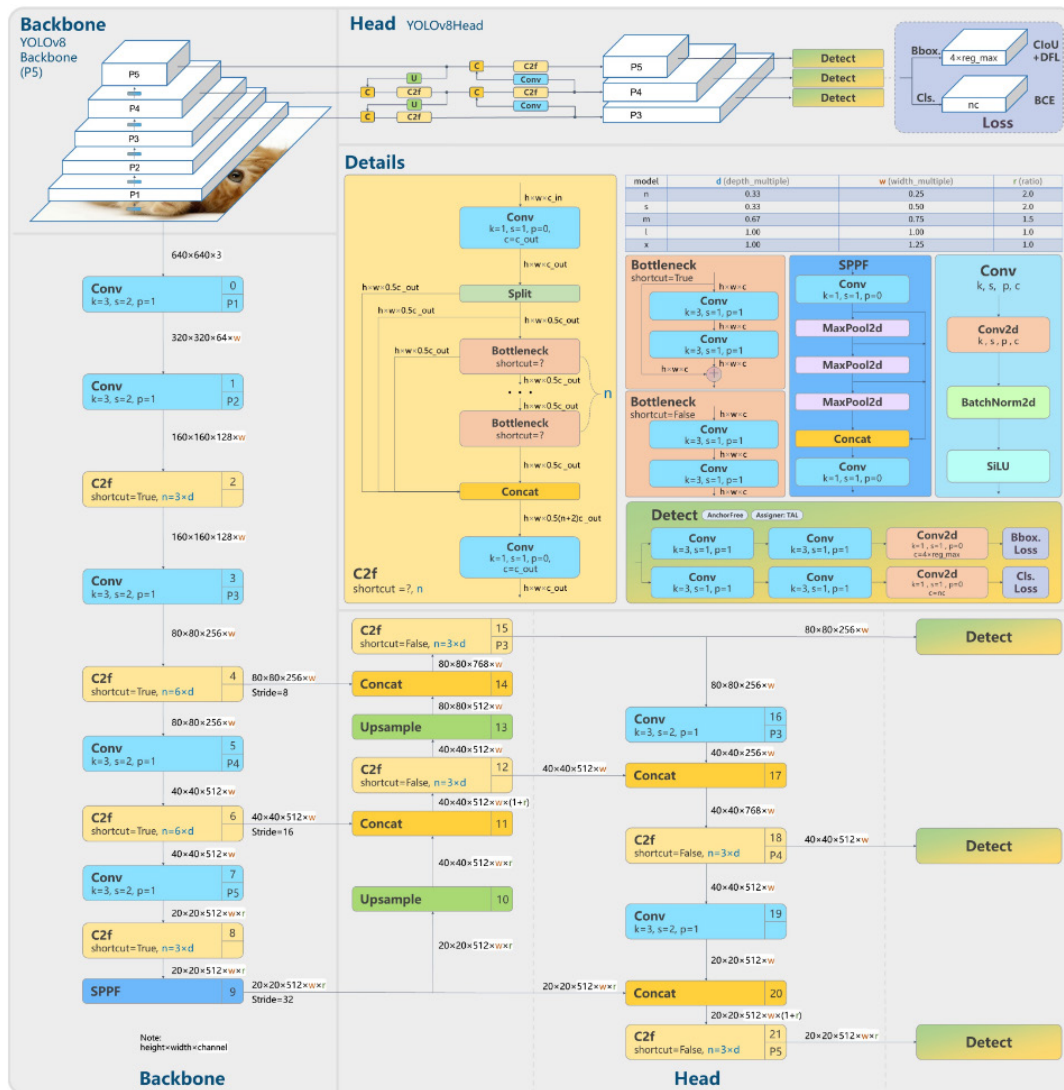


Рис. 1. Структура модели YOLOv8

дуют полносвязные. Это позволяет прогнозировать ограничивающие рамки, оценки объективности и вероятности классов для всех элементов, обнаруженных на изображении. Одной из ключевых особенностей YOLOv8 является использование механизма самоконтроля в голове сети. Этот механизм позволяет модели сосредоточиться на разных частях изображения и устанавливать важность различных признаков в зависимости от их применимости к задаче [6].

После выбора архитектуры нейронной сети, начинается этап обучения. Данные, собранные и обработанные ранее, необходимо разделить на 3 категории: обучающие (60% от общего количества), тестовые (20% от общего количества) и валидационные (20% от общего количества).

После процесса аннотации изображений проект был сохранен в формате YOLO 1.1. Это

текстовый формат, в котором лежит информация о рамках объектов (рис. 2).

Первый символ – класс обнаружения. Затем идут 4 числа, которые определяют ограничивающую рамку. Первые два – это позиция центра ограничивающей рамки, затем ее ширина и длина соответственно.

Для обучения нейронной сети использовался язык программирования Python.

Модель создается с нуля. Для обучения импортируется библиотека Ultralytics для возможности работы с YOLO. Библиотека имеет мно-

1 0.512822 0.343154 0.045059 0.043535

Рис. 2. Информация о метках

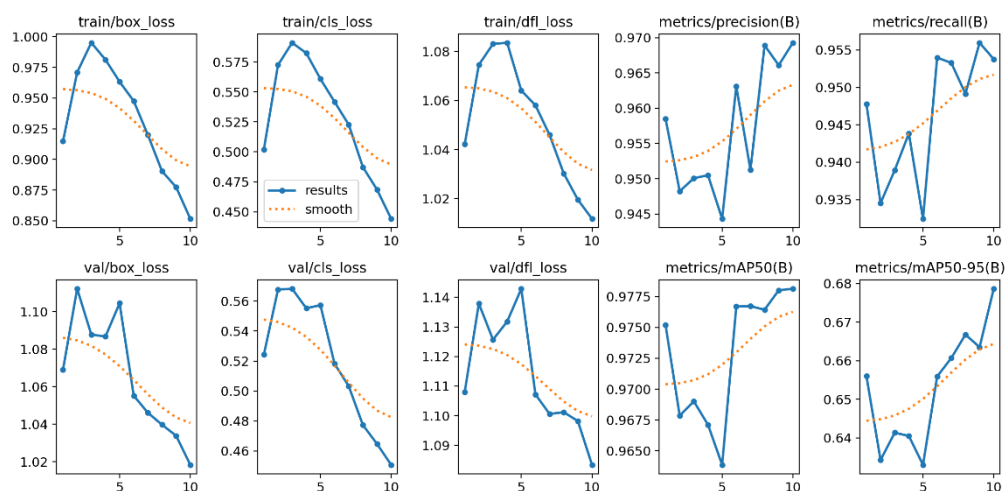


Рис. 3. Результаты обучения сети

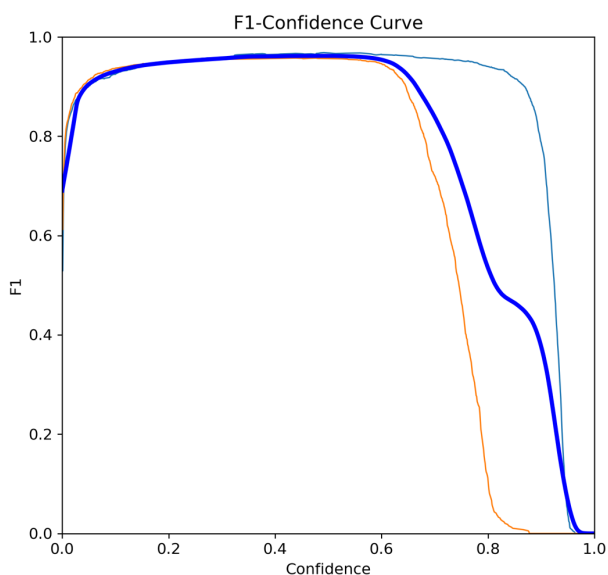


Рис. 4. Кривая уверенности

жество зависимостей и занимает большое количество пространства памяти. Также был создан файл `yaml`, который содержит всю конфигурацию для обучения, этот файл занесен в параме-

тры. Кроме того, размер изображений был выбран 640. Количество эпох – 25. Пакет тренировочных данных, которые модель обрабатывает за один подход, установлен в размере 3.

Результаты обучения представлены на рис. 3, 4.

Уменьшение метрик `train/box_loss`, `train/cls_loss`, `train/dfl_loss`, `val/cls_loss`, `val/dfl_loss` указывает на то, что модель все лучше обучается предсказывать ограничивающую рамку, классифицировать объекты или учитывать деформации в данных тренировки и валидации. `Metrics/precision(B)` и `metrics/recall(B)` указывают на эффективность обнаружения истинно положительных объектов, они достаточно нестабильны, однако видна тенденция роста. `Metrics/mAP50(B)`, `metrics/mAP50-95(B)` – это точность обнаружения объектов, эти метрики тоже показывают положительную динамику.

На рис. 4 представлен график уверенности в предсказании данных на тестовой выборке. Из графика видно, что обучение показывает высокие результаты на тестовых изображениях по каждому из классов.

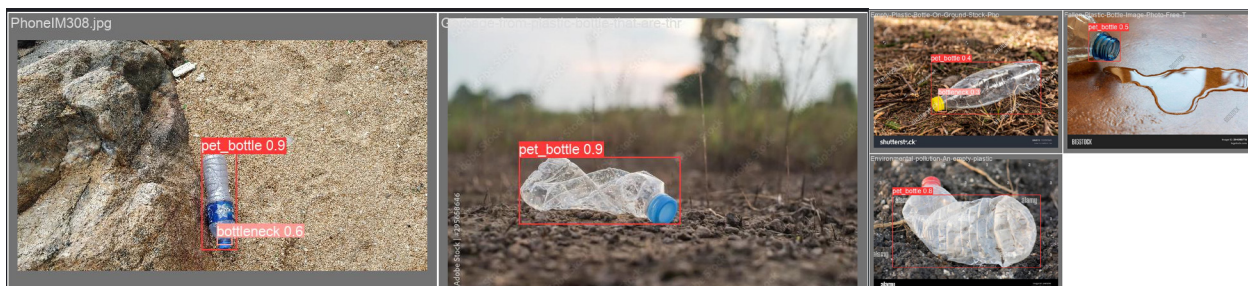


Рис. 5. Результаты идентификации объектов

Для финальной оценки модели были выбраны валидационные изображения бутылок. Примеры результатов представлены на рис. 5.

Как видно из представленных рисунков, распознавание бутылок проходит достаточно эффективно.

Блок 3D-моделирования местности

Свалки, как правило, имеют неструктурированный и хаотичный ландшафт, что значительно затруднит поиск бутылки по обычной двумерной карте. Для решения этой проблемы в данном проекте реализован блок для 3D-моделирования местности.

Благодаря камере Orbbec Astra [7], которая позволяет одновременно получать цветное изображение и информацию о глубине сцены, формируются облака точек. Для построения 3D-карт на основе полученных облаков точек используется метод SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [8]. Он позволяет одновременно строить карту окружающей среды и определять местоположение камеры на этой карте. Принцип работы данного метода заключается в трех основных шагах: сбор облаков точек по мере перемещения камеры по поверхности, совмещение последовательных облаков точек для создания единой карты местности и коррекция накопленных ошибок для улучшения точности карты. Для реализации данного метода используется RTAB-Map (Real-Time Appearance-Based Mapping), который хорошо подходит для построения детализированных 3D-карт в реальном времени и поддерживается в Open3D для последующей обработки облаков точек [9].

Интеграция с CNN

После сбора и обработки данных камерой Orbbec Astra и построения 3D-карт происходит процесс детекции ПЭТ-бутылок с помощью описанной нейронной сети. Итогом данного процесса являются координаты ограничивающих рамок вокруг бутылок и классификация объекта. Полученные 2D-координаты проецируются на облако точек. Каждая точка в облаке точек имеет соответствующий пиксель на полученном изображении, далее из облака точек извлекаются только те точки, которые попадают внутрь ограничивающей рамки. Далее происходит вычисление средних 3D-координат, что дает приблизительное местоположение бутылки в 3D-пространстве.

Заключение

В работе была представлена система распознавания и локализации ПЭТ-бутылок в условиях свалки. Благодаря использованию нейронной сети YOLOv8, получаем быструю и точную идентификацию объектов. С помощью камеры Orbbec Astra осуществляется получение цветных изображений и данных о глубине сцены, с помощью чего формируются облака точек, которые используются для построения детализированной 3D-модели местности. Интеграция данных о глубине, полученных с камеры, с результатами распознавания объектов нейросетью обеспечивает возможность локализации ПЭТ-бутылок в трехмерном пространстве. Данный проект может значительно повысить эффективность мониторинга и очистки свалок автоматизированным путем.

Библиографический список

1. Организация сбора ПЭТ отходов // Эко процессинг. URL: <https://ekoprozess.ru/blog/organizatsiya-sbora-pet-othodov/> (дата обращения: 10.11.2014).
2. Open source инструмент для разметки фото и видео // Neurohive. URL: <https://neurohive.io/ru/gotovye-prilozhenija/cvat-intel/> (дата обращения: 9.11.2014).
3. Performance Comparison of YOLO Object Detection Models – An Intensive Study // LearnOpenCV. URL: <https://learnopencv.com/performance-comparison-of-yolo-models/> (дата обращения: 10.11.2014).
4. YOLOv8-C2f-Faster-EMA: An Improved Underwater Trash Detection Model Based on YOLOv8 / J. Zhu, T. Hu, L. Zhang [et al.]. Sensors. 2024. Vol. 24. P. 2483.
5. Zhang Z. Drone-YOLO: an efficient neural network method for target detection in drone images // Drones. 2023. Vol. 7. P. 526.
6. Mehra A. Understanding YOLOv8 Architecture, Applications & Features // Labellerr. URL: <https://www.labellerr.com/blog/understanding-yolov8-architecture-applications-features/> (дата обращения: 08.11.2024).
7. Working with Orbbec Astra 3D cameras using OpenCV // OpenCV. URL: <https://opencv.org/blog/working-with-orbbec-astra-3d-cameras-using-opencv/> (дата обращения: 10.10.2024).
8. Обзор алгоритмов SLAM для камер глубины в ROS // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/articles/373707/> (дата обращения: 10.10.2024).
9. Vision-based SLAM: стерео- и depth-SLAM // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/companies/singularis/articles/279035/> (дата обращения: 10.10.2024).

УДК 004

М. Б. Сергеев*

доктор технических наук, профессор

А. М. Падалко*

магистрант

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

РАСПОЗНАВАНИЕ СПЕКТРА СИГНАЛА СПУТНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПЛИС

Современные задачи автоматического мониторинга и обработки сигналов спутников требуют высокой производительности и минимального времени отклика. Предложен подход к распознаванию спектров сигналов спутников с использованием двухслойной нейронной сети, реализованной аппаратно на базе программируемой логики.

Ключевые слова: распознавание спектра сигнала, ПЛИС, нейронные сети.

M. B. Sergeev*

Dr. Sc., Tech., Professor

A. M. Padalko*

Postgraduate Student

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SATELLITE SIGNAL SPECTRUM RECOGNITION USING A NEURAL NETWORK ON FPGA

Modern tasks of automatic monitoring and processing of satellite signals require high performance and minimal response time. In this work, an approach to the recognition of satellite signal spectra using a two-layer neural network hardware implemented on the basis of programmable logic is proposed.

Keywords: signal spectrum recognition, FPGA, neural networks.

Введение

Важной частью обработки спутниковых сигналов является анализ их спектральных характеристик, что позволяет распознавать сигналы разных источников и решать задачи связи и мониторинга. Для повышения точности обработки такие данные предварительно нормализуются по амплитуде относительно уровня шума, что значительно улучшает качество распознавания. Реализация всей цепочки обработки, начиная с нормализации и заканчивая распознаванием, непосредственно на ПЛИС позволяет достичь автономности системы, сохраняя высокую производительность и низкое энергопотребление [1].

В данной работе предложена система распознавания спектра спутниковых сигналов, основанная на двухслойной нейронной сети (НС). Сеть реализована на ПЛИС, что обеспечивает обработку сигналов в реальном времени. Такой подход позволяет не только эффективно рас-

познавать сигналы, но и адаптировать систему под изменяющиеся условия работы.

Обзор методов распознавания спектра сигнала спутника

Задачи распознавания и обработки спутниковых сигналов активно развиваются, предлагая различные подходы, различающиеся как по архитектуре, так и по реализации. Наиболее распространены программные решения, основанные на обработке сигналов на центральных процессорах или графических ускорителях. Такие подходы обеспечивают гибкость и легкость доработки алгоритмов, однако их производительность может снижаться при увеличении объема данных. Кроме того, программные реализации часто характеризуются высоким энергопотреблением, что делает их менее подходящими для систем реального времени и автономного использования [2; 3].

Для повышения скорости обработки данных активно применяются аппаратные решения, такие как программируемая логика (ПЛИС). Они позволяют реализовать алгоритмы обработки непосредственно на аппаратном уровне, что обеспечивает минимальные задержки и высокую энергоэффективность. Для автоматического распознавания сигналов одним из перспективных направлений является использование нейронных сетей, реализованных на ПЛИС. Аппаратная реализация нейронных сетей позволяет интегрировать сложные алгоритмы обучения и классификации с высокой скоростью выполнения [4].

Один из ключевых этапов обработки спутниковых сигналов – анализ их спектральных характеристик. Обычно обработка начинается с нормализации спектра по амплитуде относительно уровня шума. Этот этап особенно важен для повышения точности распознавания, поскольку он устраняет влияние внешних помех и улучшает качество входных данных. В современных системах нормализация часто выполняется программно, но ее реализация на аппаратном уровне позволяет достичь полной автономности системы [5].

Распознавание спектра спутниковых сигналов может быть эффективно выполнено с использованием НС. В частности, двухслойные сети хорошо подходят для обработки спектральных данных благодаря их способности выделять ключевые признаки из входных данных и классифицировать их с учетом заданных параметров. Такие сети легко адаптируются под

конкретные задачи, включая увеличение числа распознаваемых сигналов, что делает их универсальным инструментом для мониторинга и связи.

Использование аппаратного подхода на базе ПЛИС обладает рядом преимуществ перед программными реализациями. Во-первых, это высокая производительность за счет параллельной обработки данных. Во-вторых, низкое энергопотребление, достигаемое за счет оптимизированной архитектуры. В-третьих, такие системы имеют высокую степень масштабируемости, позволяя увеличивать число обрабатываемых сигналов и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Результаты проектирования

В рамках разработки системы распознавания спутниковых сигналов создана двухслойная НС, реализованная на базе ПЛИС. Архитектура сети ориентирована на обработку спектральных данных спутниковых сигналов в реальном времени. Основное внимание при проектировании уделялось обеспечению высокой производительности, низкого энергопотребления и возможности масштабирования для работы с увеличенным числом сигналов.

Разработанная нейронная сеть включает входной слой, состоящий из 1000 входов с разрядностью 16 бит, и выходной слой, содержащий 8 нейронов с пороговыми функциями активации (рис. 1). Выбор числа выходных нейронов основан на тестовых требованиях, отража-

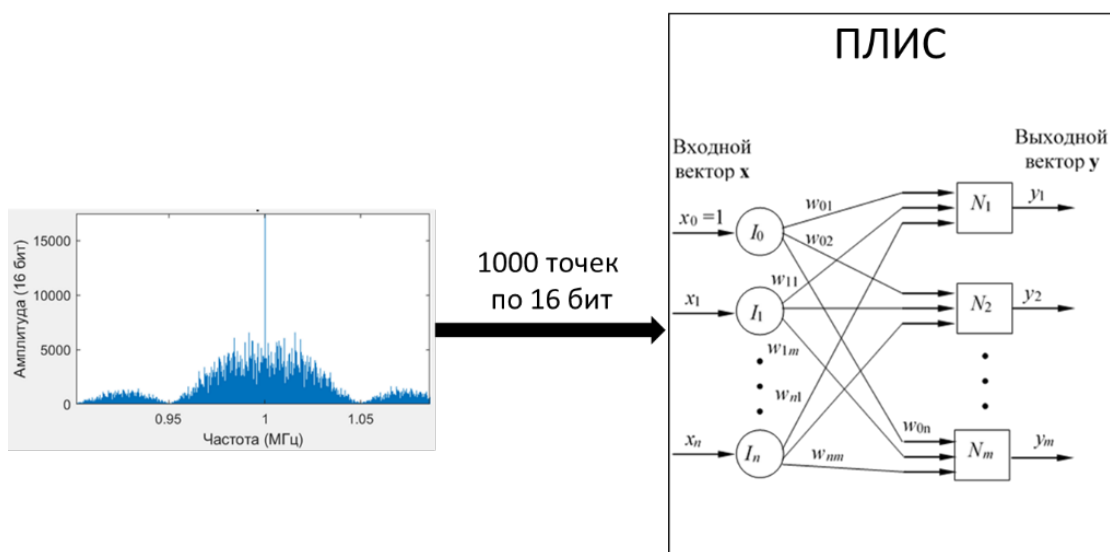


Рис. 1. Двухслойная нейронная сеть с t нейронами в выходном слое и n 16-битных входов во входном слое

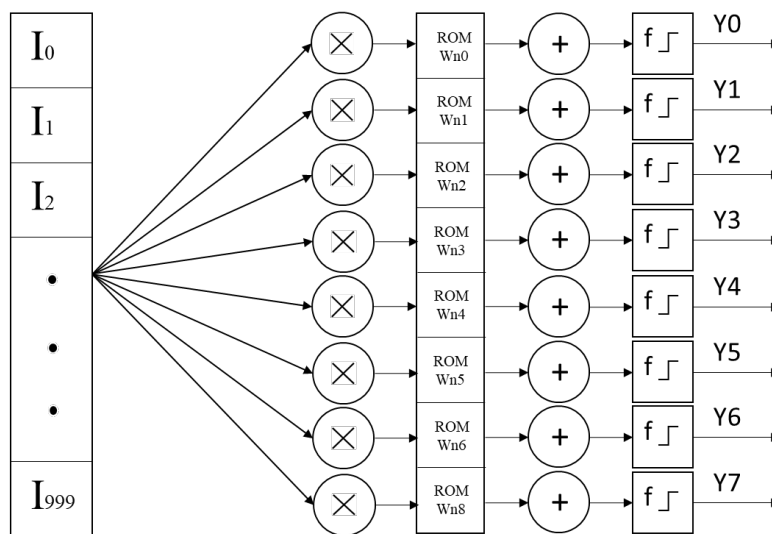


Рис. 2. Разработанная нейронная сеть

ющих распознаваемые сигналы восьми спутников. Такая конфигурация обеспечивает базовый уровень производительности и может быть расширена в зависимости от доступных ресурсов ПЛИС и потребностей конкретного применения.

Для хранения весов нейронной сети используется встроенная ROM-память ПЛИС (рис. 2). Весовые коэффициенты были заранее получены на ПК с использованием метода обратного распространения ошибки и набора тестовых данных. Это позволяет минимизировать задержки при работе сети на ПЛИС, так как отсутствует необходимость выполнения сложных вычислений во время распознавания.

Перед подачей спектральных данных в нейронную сеть осуществляется их нормализация. Алгоритм нормализации рассчитан на устранение влияния уровня шума и приведение амплитуды сигналов к унифицированному масштабу. Этот этап был также реализован непосредственно на ПЛИС, что позволило повысить автономность системы и сократить общий объем передачи данных.

Основными преимуществами аппаратного подхода стали высокая скорость обработки и низкое энергопотребление. ПЛИС обеспечивает параллельное выполнение вычислений, что значительно сокращает время обработки даже для больших объемов данных. Кроме того, архитектура системы позволяет легко адаптировать ее для работы с новыми типами сигналов и увеличивать число распознаваемых спутников.

Для моделирования и обучения нейронной сети было разработано Windows-приложение на

Python (рис. 3). Основной функционал приложения включает использование метода обратного распространения ошибки для настройки весов сети. Программа позволяет эффективно обучать сеть на подготовленных данных, соответствующих спектральным характеристикам спутниковых сигналов.

Приложение обладает следующими возможностями:

- моделирование архитектуры сети;
- обучение сети;

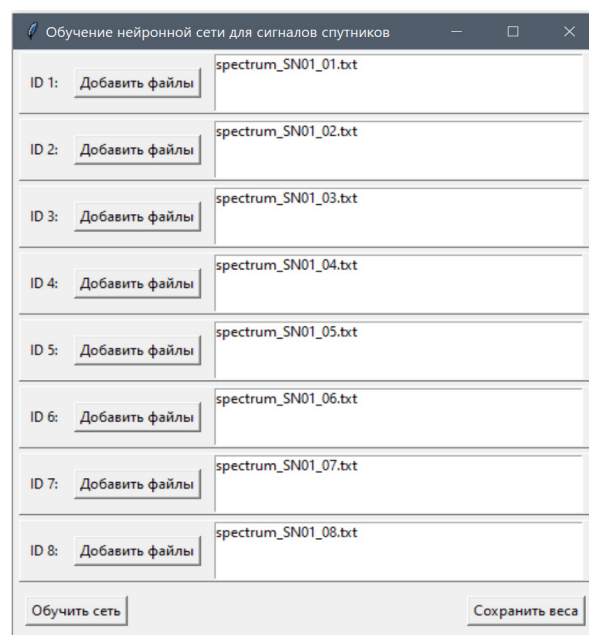


Рис. 3. Разработанное приложение

- визуализация процесса обучения;
- анализ результатов.

Разработанное приложение значительно упростило процесс подготовки нейронной сети к внедрению на ПЛИС, что позволило сосредоточиться на аппаратной реализации и оптимизации системы.

Эксперимент

Эксперимент проводился для оценки эффективности разработанной системы распознавания спутниковых сигналов. Основные цели эксперимента включали:

- проверку производительности системы;
- анализ энергопотребления;
- оценку возможностей масштабирования для увеличения числа распознаваемых сигналов.

Для эксперимента были подготовлены данные спектральных характеристик спутниковых сигналов, нормализованных относительно уровня шума. Этот этап был важным компонентом предварительной обработки данных, обеспечивающим высокую точность распознавания. Нормализованные спектры подавались на вход нейронной сети.

Обучение сети предварительно проводилось с использованием разработанного Windows-приложения на Python. Программа позволяла моделировать архитектуру нейронной сети, использовать метод обратного распространения ошибки для настройки весов и визуализировать процесс обучения. Полученные веса были перенесены в ROM-память ПЛИС, что обеспечило высокую скорость работы и минимизацию вычислительных задержек.

В ходе эксперимента оценивались следующие параметры:

- 1) время обработки – средняя задержка при обработке одного спектра, чтобы определить, насколько система соответствует требованиям реального времени;
- 2) ресурсозатраты ПЛИС – использование памяти, логических элементов и других аппаратных ресурсов;
- 3) энергопотребление – уровень энергозатрат системы при различных нагрузках;
- 4) масштабируемость – возможность увеличения числа выходных нейронов для распознавания большего числа спутников.

Эксперимент показал, что система способна обрабатывать спектры спутниковых сигналов в реальном времени (рис. 4). Средняя задержка составила менее 1 мс, что соответствует требованиям к системам оперативного мониторинга.

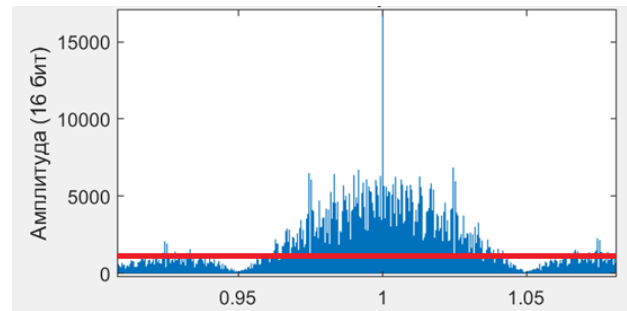


Рис. 4. Часть амплитудного спектра спутникового сигнала

Использование встроенной ROM-памяти ПЛИС для хранения весов позволило значительно сократить время доступа к данным и повысить общую производительность.

Анализ ресурсозатрат продемонстрировал, что текущая реализация использует лишь часть доступных ресурсов ПЛИС. Это подтверждает возможность масштабирования системы для увеличения числа выходных нейронов и работы с большим количеством спутников. Энергопотребление системы оказалось существенно ниже, чем у программных решений с аналогичной функциональностью, что делает ее пригодной для автономного использования в условиях ограниченных энергетических ресурсов.

Заключение

В ходе проведенного исследования разработанная система автоматического распознавания спутниковых сигналов, основанная на двухслойной нейронной сети и аппаратной реализации на программируемой логике. Основное внимание уделено обеспечению высокой производительности, низкого энергопотребления и возможности работы в режиме реального времени.

Результаты проектирования подтвердили эффективность предложенной архитектуры. Использование входного слоя с 1000 входами и выходного слоя с 8 нейронами позволило обеспечить точную классификацию спектральных данных спутниковых сигналов. Аппаратная реализация нормализации спектров и хранения весов сети в ROM-памяти ПЛИС способствовали минимизации задержек и снижению энергопотребления. Проведенные эксперименты продемонстрировали соответствие системы требованиям реального времени и ее ресурсную эффективность, что делает ее перспективной для использования в автономных системах мониторинга и связи.

Экспериментальные исследования подтвердили возможность масштабирования системы, включая увеличение числа выходных нейронов для работы с большим количеством спутниковых сигналов. Анализ показал, что текущая реализация использует лишь часть доступных ресурсов ПЛИС, что открывает потенциал для дальнейшего улучшения и расширения функциональности системы.

Полученные результаты подчеркивают практическую значимость предложенного решения

для задач автоматического мониторинга спутниковых сигналов. В дальнейшем планируется проведение дополнительных испытаний в условиях реальной эксплуатации, а также оптимизация архитектуры для работы с более сложными спектральными характеристиками.

Разработанная система может быть использована в различных приложениях, требующих высокой скорости обработки данных и низкого энергопотребления, что подтверждает ее актуальность в современных условиях.

Библиографический список

1. *Моисейченко В. С.* Аппаратная реализация искусственных нейронных сетей. Часть 1 // Молодой ученый. 2017. № 12(146). С. 69–72. URL: <https://moluch.ru/archive/146/40889/> (дата обращения: 01.12.2024).

2. *Собинников П. А., Дубровская О. А.* Распознавание облачности на спутниковых снимках с помощью искусственной нейронной сети // Труды Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». Кыргызстан, 2020. № XVI. С. 36–38.

3. Исследование аппаратно-реализованных сверточных нейронных сетей класса U-Net / И. В. Зоев, К. А. Маслов, Н. Г. Марков, Е. А. Мыцко // Вестник

Томского политехнического университета. 2020. Т. 331, № 2. С. 123–130.

4. Аппаратная реализация сверточной нейронной сети в ПЛИС на базе вычислений с фиксированной точкой / И. В. Зоев, Н. Г. Марков, А. П. Береснев, Т. А. Ягунов // GraphiCon 2018: труды 28-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Томск, 24–27 сент., 2018 г.) / Нац. исслед. Том. политех. ун-т. Томск, 2018. С. 200–203.

5. *Хорошайлова М. В.* Реализации нейронной сети на ПЛИС с использованием аппаратных ресурсов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17, № 3. С. 123–130.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аграновский Андрей Владимирович

кандидат технических наук, доцент, 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

Анкудинова Вероника Сергеевна

студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – алгоритмы и автоматизация процессов.

ankudinova.veronica.s@gmail.com

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

Белая Татьяна Иоанновна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизированное управление, системы искусственного интеллекта.

studentszip@yandex.ru

Белый Николай Владимирович

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – биометрия, защита информации, криптография.

nikwh@gmail.com

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 – 3D-графика, виртуальная и дополненная реальность, технологии блокчейн.

dmbulg@gmail.com

SPIN-код: 6978-2762

Быченко Кирилл Владимирович

магистрант кафедры информационных систем и технологий. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – использование искусственного интеллекта в веб-приложениях для планирования задач.

kirillbosi@mail.ru

Глушкова Екатерина Максимовна

магистрант кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – искусственные нейронные сети, математическое моделирование.

cate.glushkova@yandex.ru

Гордеев Александр Владимирович

доктор технических наук, профессор, 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

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 Елизавета Дмитриевна

магистрант кафедры информационных систем и технологий. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – оптимальное планирование и диспетчеризация информационных процессов при взаимодействии подвижных объектов.

lizarapne@gmail.com

SPIN-код: 2802-1795

Григорьева Наталья Никифоровна

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.
Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – моделирование процессов
в технических системах.

gera_nn@mail.ru

SPIN-код: 1659-9120

Гуков Сергей Юрьевич

старший преподаватель кафедры информационных систем и
технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии.

sg_brui@mail.ru

SPIN-код: 7135-7970

Гуков Юрий Игоревич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – передовые технологии в раз-
работке бионических протезов.

gukov.prod@gmail.com

Данилов Николай Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры при-
кладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – регистрация и идентификация
акустических сигналов, технологии гидроакустики.

dan_nick@aanet.ru

SPIN-код: 8525-5433

Жданов Даниил Владиславович

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – информационные технологии,
нейронные сети, искусственный интеллект, машинное обуче-
ние.

legolas-lego@mail.ru

SPIN-код: 8535-3385

Загураева Мария Викторовна

старший преподаватель кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – информационные системы и
технологии, бизнес-аналитика.

MVZ41@guar.ru

SPIN-код: 5918-8869

Знаменская Дарья Денисовна

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – искусственный интеллект
в сталелитейной промышленности, компьютерное зрение.

zdasha02@gmail.com

Зорин Иван Александрович

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – нейронные сети, искусствен-
ный интеллект, машинное обучение, информационные техно-
логии.

kozjava555@mail.ru

SPIN-код: 3503-1830

Исаков Виктор Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной ин-
форматики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – радиолокационные и радиона-
вигационные системы.

ivi@guar.ru

SPIN-код: 6192-8717

Коваленко Роман Андреевич

старший преподаватель кафедры математики, информатики
и информационных таможенных технологий

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал)
Санкт-Петербургского государственного университета аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – программирование, автомати-
зация, информационные технологии, робототехника.

mplaceph@gmail.com

SPIN-код: 8892-2369

Краснова Татьяна Федоровна

магистрант кафедры компьютерных технологий и программ-
ной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэро-
космического приборостроения.

Область научных интересов – искусственные нейронные
сети.

krasnova611@yandex.ru

Красуляк Андрей Владимирович

начальник научно-исследовательского сектора.

Акционерное общество «Научно-исследовательский инсти-
тут „Вектор“».

Область научных интересов – радиоэлектронные системы и
средства.

krasulyak32@gmail.com

Кузнецова Валерия Александровна

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – веб-программирование, UX/UI-дизайн, инклюзивный веб-дизайн.

kuzlera@mail.ru

Лебедев Константин Александрович

студент кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Область научных интересов – frontend-разработка.

lebedev05tmn@gmail.com

Лобанов Виктор Михайлович

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – веб-разработка, тестирование и контроль качества веб-приложений, интернет-маркетинг.

victor.lobanovrul@gmail.com

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

Мальцев Никита Сергеевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – генерация последовательностей действий и состояний.

freduy1111@gmail.com

Маркова Анастасия Андреевна

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – системы автоматизации и управления в области информатики.

anaviele@mail.ru

Мирошниченко Никита Игоревич

ассистент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – цифровая обработка аудиосигналов, системный анализ.

miroshnichenko.nikita.97@yandex.ru

SPIN-код: 3408-1433

Никитин Александр Васильевич

кандидат технических наук, доцент, 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

Осташов Алексей Сергеевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – передовые технологии в разработке бионических протезов.

jefersonhrm1@gmail.com

Охтилев Павел Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – системы автоматизации и управления в области информатики.

pavel.oxt@mail.ru

SPIN-код: 5222-2169

Падалко Алексей Михайлович

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – искусственный интеллект на ПЛИС, распознавание и обработка сигналов.

+79118181664@yandex.ru

Поздняков Кирилл Дмитриевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – классификация дефектов продукции на производственном предприятии.

pozdkiri@yandex.ru

Польщиков Владислав Сергеевич

студент кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – машинное обучение, виртуальная и дополненная реальность.

dragonvlad@bk.ru

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

Примак Лада Дмитриевна

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – веб-разработка, тестирование и контроль качества веб-приложений, UX/UI-дизайн.

lada.primak24@gmail.com

SPIN-код: 4576-9517

Путилова Надежда Владимировна

старший преподаватель кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизация мониторинга и управления образовательным процессом вуза, интеграция информационных систем вуза, модели баз данных.

putilova_nv@guar.ru

SPIN-код: 2529-2107

Радаева Анастасия Сергеевна

магистрант кафедры вычислительных систем и сетей.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – компьютерное зрение.

radas@guar.ru

Раскопина Анастасия Сергеевна

ассистент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – нейронные сети, машинное обучение.

raskopina.anastasia@yandex.ru

SPIN-код: 2014-1451

Решетникова Нина Николаевна

кандидат технических наук, доцент, 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

Сапунов Денис Валерьевич

магистрант 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

Сенина Яна Игоревна

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети, биомеханика.

inyjasha29@gmail.com

Сениченкова Яна Олеговна

студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Аналитик данных.

Общество с ограниченной ответственностью «АСТЕРА».

Область научных интересов – нейронные сети.

senichenkova02@inbox.ru

SPIN-код: 7514-2637

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

Сибатова Яна Рустамовна

студент кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – моделирование логистических процессов, теория графов.

sibatova.yana66@gmail.com

Сигачева Диана Николаевна

магистрант кафедры прикладной информатики.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – веб-программирование, UX/UI-дизайн, информатизация общества.

dragonwinchester@mail.ru

SPIN-код: 5127-0472

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 Вадим Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – интеллектуальный анализ данных, машинное обучение, мягкие вычисления, логико-вероятностное моделирование и их применения в области анализа данных функционирования, надежности, живучести и диагностики программно-аппаратных систем.

vasko_vasko@mail.ru

SPIN-код: 7887-4209

Скобцов Юрий Александрович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – искусственный интеллект, эволюционные вычисления.

ya_skobtsov@list.ru

SPIN-код: 4948-4065

Сорокин Алексей Андреевич

старший преподаватель кафедры математики, информатики и информационных таможенных технологий.

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – объектно ориентированное программирование, технологии оцифровки трехмерных объектов, интернет вещей, структуры и алгоритмы обработки данных.

a.a.sorokin@ifguap.ru

SPIN-код: 8948-3913

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

Туманова Алена Валерьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – автоматизированные информационные системы, автоматизация разработки образовательных программ.

tav@guap.ru

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

Ушаков Виталий Анатольевич

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Область научных интересов – разработка научных основ комплексной автоматизации решения задач проактивного объемно-календарного планирования и оперативного управления материальными и информационными процессами в сложных объектах в различных условиях изменения внешней обстановки.

ushakov@guap.ru

SPIN-код: 2461-6577

Хлопцев Данил Федорович

магистрант кафедры информационных систем и технологий.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.
Область научных интересов – frontend-разработка.
zenton-nex@yandex.ru

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

Шихотов Алексей Алексеевич

магистрант кафедры прикладной информатики.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.
Область научных интересов – обработка изображений, компьютерное зрение.
ashikhotov@bk.ru

Щекин Сергей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.
Область научных интересов – информационные технологии.
svs@guap.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

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА.....	3
<i>Боженко В. В., Зорин И. А., Жданов Д. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ В ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	3
<i>Булгаков Д. А.</i> ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И РАЗБИЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СЕТОК	9
<i>Григорьева Н. Н., Сибатова Я. Р.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ	15
<i>Данилов Н. А.</i> АВТОНОМНЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БИОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	21
<i>Загураева М. В., Сигачева Д. Н.</i> ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ЭМПАТИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНОЙ СТУДИИ ГУАП.....	28
<i>Исаков В. И., Коваленко Р. А.</i> КОНТИНУАЛИЗАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	32
<i>Исаков В. И., Коваленко Р. А.</i> СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ ЛОГАРИФМИЧЕСКИ- НОРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	36
<i>Кузнецова В. А., Загураева М. В.</i> ПЕРЕХОД ОТ ИНКЛЮЗИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ К МАССОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ	40
<i>Лобанов В. М., Турнецкая Е. Л.</i> ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА FEATURE FLAGS В ПРОЦЕСС А/В-ТЕСТИРОВАНИЯ.....	44
<i>Мирошниченко Н. И.</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЗВУКА В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ.....	47
<i>Мирошниченко Н. И.</i> СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ ЗВУКА В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ.....	52
<i>Примак Л. Д., Турнецкая Е. Л.</i> КУЛЬТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ РОССИЙСКИХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ	57
<i>Раскопина А. С.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	66
<i>Сапунов Д. В., Аграновский А. В.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ SVELTE И REACT.....	70
<i>Сенина Я. И., Григорьева Н. Н.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА.....	74
<i>Татарникова Т. М., Раскопина А. С.</i> УСКОРЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА МАЛЫХ ДАННЫХ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ.....	77
<i>Шепета А. П.</i> СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ЗАКОНУ ВЕЙБУЛЛА	82
<i>Шепета А. П., Сорокин А. А.</i> ПРОСТРАНСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЗЕМНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	86
<i>Шихотов А. А., Татарникова Т. М.</i> ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ РУКОПИСНЫХ ДОКУМЕНТОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	91
<i>Юдин И. А.</i> РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭХОСИГНАЛА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАННОЙ ЗОНЕ ПОИСКА.....	95
<i>Яковлев А. В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	97
<i>Яковлев А. В.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ БАЗ АУДИО- И ВИДЕОДАННЫХ	101
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ	108
<i>Быченко К. В., Аграновский А. В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ	108

Григорьева Е. Д., Ушаков В. А. СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ И ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ СВОЕВРЕМЕННОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОТИПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	112
Лебедев К. А., Ушаков В. А. ВЕБ-РЕШЕНИЯ: АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЦИАЛЬНОЙ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ.....	115
Ушаков В. А. РАЗВИТИЕ НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	119
Хлопцев Д. Ф., Гуков С. Ю., Ушаков В. А. БАЗИС АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КЛИЕНТСКОЙ ЧАСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ	124
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ	129
Белая Т. И., Анкудинова В. С., Красуляк А. В. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА БЛОКА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ КОМПЛЕКСА РАДИОМОНИТОРИНГА.....	129
Маркова А. А., Охтилев П. А. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	136
Поляк М. Д., Глушкова Е. М. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКАР ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЙ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ	142
Путилова Н. В., Туманова А. В. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММОЙ С ПОДДЕРЖКОЙ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	146
Рогачев С. А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	152
Сениченкова Я. О., Поляк М. Д. АНАЛИЗ ВРЕДНОСНЫХ АТАК МЕТОДОМ БЕЛОГО ЯЩИКА НА НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТИПА МУСОРНОГО БАКА.....	155
Скобцов В. Ю. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	159
Скобцов Ю. А. МУРАВЬИНЫЕ КВАНТОВЫЕ АЛГОРИТМЫ	166
Щекин С. В. ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ	171
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ.....	179
Балонин Н. А., Сергеев М. Б. СОБСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ.....	179
Гордеев А. В. ВИРТУАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ПАМЯТИ С ПРЯМЫМ ДОСТУПОМ. ДИНАМИЧЕСКИЕ ТОМА	183
Григорьев Е. К. ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИМ ВЫЧИСЛЕНИЯМ И МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ.....	187
Никитин А. В., Майн Е. Е., Решетникова Н. Н., Ситников И. А. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ МЕТАВСЕЛЕННОЙ ГУАП	190
Никитин А. В., Польщиков В. С. СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОБУЧЕНИЮ ПРОХОЖДЕНИЮ МАРШРУТА НЕИГРОВЫХ ОБЪЕКТОВ В МЕТАВСЕЛЕННОЙ ГУАП.....	201
Сергеев А. М., Мальцев Н. С. ГЕНЕРАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЕЙСТВИЙ И СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ Т5-МОДЕЛИ.....	206
Сергеев А. М., Поздняков К. Д. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ	209
Сергеев А. М., Радаева А. С. МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕКТОРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В КОД ДЛЯ УСТРОЙСТВ С ЧПУ ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	213

Сергеев М. Б., Белый Н. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	217
Сергеев М. Б., Гуков Ю. И., Осташов А. С. РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДУЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И КАТЕГОРИЗАЦИИ СИГНАЛОВ МЫШЦ ПРЕДПЛЕЧЬЯ НА БАЗЕ АТМЕГА 328	220
Сергеев М. Б., Знаменская Д. Д. ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	225
Сергеев М. Б., Краснова Т. Ф. ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЭТ-БУТЫЛОК НА СВАЛКЕ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ И КАМЕРЫ ORBBEC ASTRA	229
Сергеев М. Б., Падалко А. М. РАСПОЗНАВАНИЕ СПЕКТРА СИГНАЛА СПУТНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПЛИС.....	234
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	239

Научное издание

ОБРАБОТКА, ПЕРЕДАЧА И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Пятая Международная научная конференция
7–18 апреля 2025 г.

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-2022-7



Ответственный за выпуск:
Б. К. Акопян

Редакторская подготовка *С. В. Денисовой*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 27.03.2025. Дата выхода в свет: 04.04.2025. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 28,8. Уч.-изд. л. 29,4. Тираж 150 экз. Заказ № 49.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67, лит. А
Распространяется бесплатно