

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)
Всероссийская группа теории информации IEEE
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»
Общество «Знание» России, Приволжский дом знаний

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ

*Сборник статей XXIII Международной научно-технической
конференции, посвященной 80-летию
Пензенского государственного университета*

г. Пенза, 24–25 ноября 2023 г.

П о д р е д а к ц и е й
А. В. Кузьмина, В. В. Дрождина

Пенза
Издательство ПГУ
2023

УДК 004
П78

Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXIII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию Пензенского государственного университета (г. Пенза, 24–25 ноября 2023 г.) / под ред. А. В. Кузьмина, В. В. Дрождина. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. – 306 с.

ISSN 2311-0406

Исследованы теоретические и практические проблемы применения информатики в различных предметных областях. Рассмотрены проблемы теоретической информатики, вопросы разработки и применения нейронных сетей и методов машинного обучения, информационных технологий, прикладные вопросы информатики и проектирования информационных систем, а также проблемы разработки и применения информационных систем и технологий в медицине.

Издание подготовлено и опубликовано при поддержке компании ООО «Открытые решения». Предназначено для специалистов в области информационных технологий, занимающихся теоретическими и практическими аспектами разработки и внедрения систем прикладной информатики и автоматизированных систем.

УДК 004

П р и к а з

о проведении XXIII Международной научно-технической конференции
«Проблемы информатики в образовании, управлении,
экономике и технике», посвященной 80-летию
Пензенского государственного университета,
№ 840/о от 25.07.2023

ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный
университет, 2023

PROBLEMS OF INFORMATICS
IN EDUCATION, MANAGEMENT,
ECONOMICS AND TECHNICS

*XXIII International scientific and technical conference,
dedicated to the 80th anniversary
Penza State University*

November, 2023

Penza 2023

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 519.6

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЗАДАЧНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Евгений Андреевич Бувевич¹, Олег Эмануилович Яремко²

^{1,2}*Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва, Россия*

¹gftregs@gmail.com

Аннотация. Моделирование вычислительной системы как системы массового обслуживания сталкивается с рядом сложностей, обусловленных архитектурой современных микропроцессоров и операционных систем. Рассмотрены особенности вычислительных систем, влияющие на показатели эффективности, и предложена более точная модель.

Ключевые слова: многозадачность, иерархия памяти, внеочередное выполнение, предвыборка, зависимость данных

SPECIFICITY OF MODELING MULTI-TASKING COMPUTING SYSTEMS AS QUEUE SYSTEMS

Evgeniy A. Buyevich¹, Oleg E. Yaremko²

^{1,2}*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia*

¹gftregs@gmail.com

Abstract. Modelling a computing system as a queuing system faces a number of difficulties due to the architecture of modern microprocessors and operating systems. The paper examines the features of computing systems that affect performance indicators and proposes a more accurate model.

Keywords: multitasking, memory hierarchy, out-of-order execution, prefetching, data dependency

Под вычислительной системой (ВС) понимается совокупность одного или нескольких компьютеров или процессоров, прог-

рамного обеспечения и периферийного оборудования, организованная для совместного выполнения информационно-вычислительных процессов [1, с. 18].

В данной работе также приняты следующие ограничения:

– программное обеспечение (программа) реализует один тип информационных процессов (однородный поток заявок);

– все входные данные находятся внутри ВС в момент начала ее выполнения, все выходные данные сохраняются внутри ВС (нет операций, время выполнения которых не зависит от состояния ВС);

– программа имеет конечное число шагов для любых входных данных.

Процессом будем называть экземпляр программы, запущенный в определенный момент времени с определенными входными данными.

Вычислительным ядром (или просто ядром) будем называть часть вычислительной системы, реализующую в заданный момент времени один процесс.

Если ВС представить как систему массового обслуживания, то доступные вычислительные ядра по терминологии теории массового обслуживания будут каналами обслуживания, процессы – заявками, время выполнения программы (далее T_a) – временем обслуживания заявки.

Тогда представление о T_a можно получить как о некоторой функции производительности используемых в ней алгоритмов в среднем (производительность алгоритма в среднем описана в [2, с. 130]), подставленной в соответствующую модель из теории массового обслуживания.

Однако на практике такой подход приводит к значительному искажению T_a .

Рассмотрим пример программы бинарного поиска набора из 1 миллиона ключей в отсортированном по этому ключу массиве для ВС с многоядерным процессором (i5-8265U). Временная сложность такого поиска согласно [3, с. 459] будет $O(\log_2 z)$, где z – размер массива, а время соответственно:

$$T_{a1} = k * \log_2 z. \quad (1)$$

Определим константу для используемой системы, запустив один поток и $z_1 = 2^{10}$ элементов: $T_{a1} = 0.0035$ с, отсюда $k_1 = 0.00035$.

Представим ВС в качестве многоканальной системы с неограниченным временем ожидания. Закон распределения времени обслуживания неизвестен, будем сравнивать с детерминированным временем и показательно распределенным. Используем простейший входной поток заявок с интенсивностью $\lambda = u / T_a$, где u определяет число каналов, на которое рассчитана нагрузка. Если под T_a понимать время пребывания заявки в системе, то для показательного распределения согласно [4, с. 132] и формулы (1), получим:

$$T_a = p_0 \frac{u^{n+1}}{n!(n-u)} * \frac{n}{n-u} + k * \log_2 z \quad (2)$$

$$p_0 = \left(1 + \frac{u}{1!} + \frac{u^2}{2!} + \dots + \frac{u^n}{n!} + \frac{u^{n+1}}{n!(n-u)} \right)^{-1}$$

Проведем эксперимент с $z_2 = 2^{20}$ для $1 \leq u \leq 6$. Выполнив аналогичные замеры по (1) для одного процесса, получим значение $k_2 = 0.00045$. Отметим несовпадение констант для дальнейшего анализа. Полученные графики среднего значения T_a при различных u приведены на рис. 1.

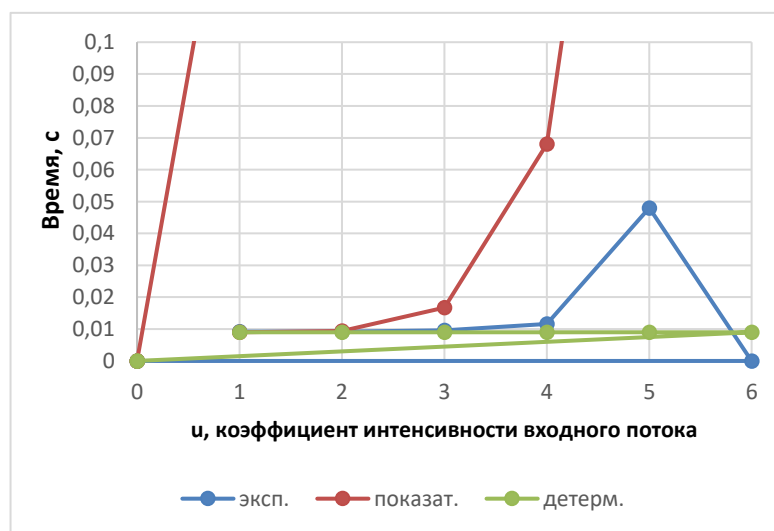


Рис. 1

Видно, что обе модели не описывают реальную систему, в частности реальная ВС не имеет стационарного режима при $u \geq 6$. Также нужно отметить рост времени обслуживания при

$u = 4$, что может быть обусловлено дисперсией, либо другими факторами.

Большинство современных вычислительных систем обладают следующими свойствами:

1. Иерархическая организация памяти. Каждый последующий уровень содержит большее количество данных при более длительном времени доступа.

2. Система может одновременно выполнять больше процессов, чем имеет ядер – имеет неограниченное число виртуальных каналов обслуживания.

3. Поддержка виртуальных каналов происходит за счет ресурсов системы.

Рассмотрим каждое более подробно.

Доступ к данным.

Типичная иерархия хранения данных приведена в табл. 1.

Таблица 1

	Уровень	Объем, V_i	Доступ, L_{A_i}	Оптимизации задержек
0	Регистры	байты	0	нет
1	Кеш L1	килобайты	0–10	внеочередное выполнение, предвыборка, многопоточность
2	Кеш	мегабайты	10–100	
3	RAM	гигабайты	200–500	
4	Диск	терабайты	10^4	переключение процессов операционной системой
5	Сеть	–	10^6	

Для снижения потерь разработано множество схем оптимизации использования ресурсов процессора. Наиболее распространенные:

– внеочередное выполнение – ядро одновременно выполняет несколько инструкций программы. Инструкции выполняются по готовности их аргументов;

– предвыборка – ядро или программа прогнозируют доступы к данным и заранее перемещают нужные данные на более близкие уровни хранения;

– многопоточность – одно физическое ядро выполняет несколько процессов одновременно.

Можно предположить, что время выполнения программы кроме числа шагов (S_a , последовательная вычислительная сложность), напрямую зависит от двух величин: D_a – объем данных, используемый программой, и D_b – объем данных, из которого происходит выборка D_a . Без оптимизаций задержка доступа к данным будет иметь следующий вид:

$$L_D = D_a \sum_{i=0}^{lvl(D_b)} p_{L_i} L_{A_i}, \quad (3)$$

где p_{L_i} – вероятность нахождения нужных данных в уровне i , L_{A_i} – задержка доступа к уровню i в тактах ЦПУ, (характерные значения приведены в табл. 1), $lvl(D_b)$ – ступенчатая неубывающая функция, определяющая минимально возможный уровень хранения указанного объема данных, свойство аппаратной части ВС. В качестве минимальной оценки D_a можно использовать пространственную сложность алгоритма [5, с. 61].

В работах Петера Деннинга [6 и др.], рассматривается понятие локальности использования данных (временной и пространственной, также называется локальностью ссылок) с целью перераспределения вероятностей p_{L_i} к более быстрым уровням. Но часто программы выполняют единичные выборки по ключу из больших массивов данных в случайном порядке (сервера баз данных). Это в общем случае не поддается локализации, и p_L можно оценить как:

$$p_{L_i} \sim \frac{V_i - \sum_{j=0}^{i-1} V_j}{D_b}. \quad (4)$$

В [7, с. 170] рассмотрены различные виды зависимостей между шагами программы и способы их оптимизации на уровне процессора. Для зависимости по данным можно численно выразить обратную величину зависимости шага от предыдущих через максимально возможный промежуток между вычислением адресов входных данных и самим шагом. Обозначим эту величину

P_0 – предсказуемость ссылок. Для всей программы ее можно представить в виде дискретно распределенной псевдослучайной величины с плотностью $p_0(s)$. Чем больше математическое ожидание P_0 , тем больше возможности ВС задействовать различные механизмы оптимизации задержек. С учетом этого, формулу (3) можно представить в следующем виде:

$$L_D = D_a \sum_{i=0}^{lvl(D_b) L_{A_i}} \sum_{j=0}^{L_{A_i}} p_{L_i} p_0(j) (L_{A_i} - j). \quad (5)$$

P_0 связана с параллельной вычислительной сложностью (S_p) – числом шагов, за которое алгоритм может быть выполнен на бесконечном числе процессоров. Если, в худшем случае, данные обрабатываются на следующем шаге после вычисления их адреса, но алгоритм может быть разделен на S_a / S_p независимых частей, то между этими шагами процессор может выполнить как минимум один шаг из других частей алгоритма. Отсюда можно получить минимальную оценку $M[P_0]$, как:

$$M[P_0] \geq \frac{S_a}{S_p}. \quad (6)$$

Хотя P_0 теоретически может использоваться и для оценки оптимизации зависимости по управлению, для современных ВС это требует дополнительного исследования.

Число выполняемых процессов.

Исходя из формулы (6) задержки доступа к памяти могут быть устранены, если исследуемая система выполняет достаточное количество процессов одновременно (процессы над разными исходными данными можно рассматривать как независимые части процесса над объединением этих данных) [7, с. 242]. Такой подход определяет организацию обслуживания заявок в современных ВС: конкретная заявка обслуживается, пока все данные для нее доступны; встретив необходимость ожидания, ядро переключается на обслуживание другой. Учитывая это, можно еще раз уточнить формулу для L_D

$$L_D = D_a \sum_{i=0}^{lvl(D_b)L_{A_i}/P(N)} \sum_{j=0}^{L_{A_i} - j * P(N)} p_{L_i} p_0(j) (L_{A_i} - j * P(N)), \quad (7)$$

где N – число заявок, обслуживаемое системой, $P(N)$ – число заявок, которое может обслуживать ядро. По определению $P(N) \geq 1$, т.к. в случае простоя ядра $D_a = 0$.

Наибольшую сложность с точки зрения оценки пропускной способности ВС представляют технологии одновременной многопоточности. В этом случае функциональные модули процессора совместно используются несколькими вычислительными ядрами (логические ядра, в отличие от физических, воплощенных в схемах на кристалле) и их взаимное влияние носит сложно прогнозируемый характер. В [7, с. С-11] используется понятие структурных задержек, как результата конкуренции ядер за некоторый модуль. Тогда число логических ядер можно принять за число каналов, но это приведет к усложнению модели. Выглядит более удобным отказаться от использования числа каналов и моделировать число выполняющихся процессов N , вычислительную мощность системы S в тактах, и вычислительную мощность на процесс $S_p \triangleq S / N$

Организация многозадачности.

Уровни хранения данных можно разделить на быстрые, задержки доступа к которым обрабатываются внутри процессора, и медленные – переключение процесса выполняется операционной системой. Выбор процессов для переключения в первом случае ограничен теми, которые уже выполняются на конкретном физическом ядре. Переключения в результате второй группы могут быть выполнены на любой остановленный процесс, но они требуют исполнения кода операционной системы. С учетом этого, вычислительная мощность системы в стационарном режиме может быть представлена как:

$$S = (s_{nom} - l_S(N)) * t, \quad (8)$$

где s_{nom} – номинальная вычислительная мощность всех ядер (обычно дается в тактах в единицу времени); $l_S(N)$ – потери на переключения процессов.

Модель.

Учитывая все вышесказанное, ВС можно описать системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = s_{nom} - l_S(N, \bar{y}) - l_D(P_0, D_a', D_b, \bar{y}) \\ \frac{dD_a}{dt} = f(S') \\ \frac{dN}{dt} = I'(w, t) - G'(t, ..) - H(N, S', \bar{y}) \\ \frac{dS_p}{dt} = S' / N \end{array} \right. \quad (9)$$

где S – число доступных вычислительных тактов в системе в целом; s_{nom} – номинальная частота всех ядер; l_S – потери на организацию работы ВС; P_0 – распределение предсказуемости ссылок программы; D_a – объем данных, используемый программой; D_b – общий объем данных, потенциально используемый программой; l_D – потери на недоступности нужных данных, первая производная (7) по времени; $\bar{y} = \{L_{A_0} \dots L_{A_5}, V_0 \dots V_4, \dots\}$ – вектор параметров аппаратной части ВС; N – число процессов в системе; H – число завершенных процессов; G – число процессов, получивших отказ; S_p – число тактов, выделяемых одному процессу; $I(w, t)$ – некоторая модель нагрузки, запускающая процессы (число прерываний, запросов и т.п. к моменту времени t ; S' , G' , H' , I' , S_p' , D_a' – первые производные соответствующих величин по времени, и уравнением

$$\begin{aligned} S_a &= \int_t^{t+T_a} S_p'(t) dt = S_p(t+T_a) - S_p(t) \\ T_a &= S_p^{-1}(S_p(t) + S_a) - t \end{aligned} \quad (10)$$

где S_p^{-1} – обратная к S_p функция; S_a – временная сложность программы в тактах ЦПУ.

Построив систему (9) для конкретной ВС и решив уравнение (10) относительно T_a , получим влияние параметров \bar{y} и $I(w, t)$ на T_a . Для стационарных режимов H' будет пропускной способностью системы.

Разработанная модель объясняет отмеченные в эксперименте явления:

1. Несовпадение констант k_1 и k_2 объясняется зависимостью L_D от D_b . Константа k_1 вычислялась для $D_b = 2^{10}$, а k_2 для $D_b = 2^{20}$, из формулы (7) и вида $lv(D_b)$ следует что L_D во втором случае выше.

2. Рост времени обслуживания при $u = 4$ следует из положительности слагаемого $l_S(N, \bar{y})$. Используемый процессор имеет 4 физических ядра, но часть их вычислительной мощности тратит на организацию многозадачности.

3. Устойчивость режима при $u = 5$ (и также при $u = 4$) объясняется $P(N) > 1$ из формулы (7). При обслуживании ядром строго одной заявки, его простой из-за недоступности данных составит $l_D \geq s_{nom} * (k_2 - k_1) / k_2$. При наличии в системе числа заявок, превышающего число ядер, она получает возможность обслуживать избыточные заявки во время простоя. Не раскрывая H , описывающую планировщик операционной системы, оценку пропускной способности можно получить как $u \leq u_c * k_2 / k_1$, где u_c – число ядер. Максимальная пропускная способность u соответствует $4 * (0.00045 / 0.00035) = 5,14$ каналам, что не противоречит результатам эксперимента.

В будущем планируется дальнейший анализ и детализация компонентов системы (9).

Список литературы

1. Бройдо В. Л., Ильина О. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. СПб. : Питер, 2011.
2. Кнут Д. Искусство программирования. М. : Вильямс, 2020. Т. 1.
3. Кнут Д. Искусство программирования. М. : Вильямс, 2018. Т. 3.
4. Черушева Т. В., Зверовщикова Н. В. Теория массового обслуживания. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021.
5. Мусатов Д. В. Сложность вычислений. Конспект лекций. М. : МФТИ, 2016.
6. Denning P. J. The Locality Principle // Communications of the ACM. 2005. № 48 (7). P. 19–24.
7. Hennessy J. L., Patterson D. A., Computer Architecture: a Quantitative Approach. 6th ed. Waltam : Morgan Kaufmann, 2017.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ АДДИТИВНОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА ПРИ АНАЛИЗЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Александр Иванович Иванов¹, Дмитрий Викторович Тарасов²

¹Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт, г. Пенза, Россия

²Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹ivan@pniei.penza.ru

²tarasovdv@mail.ru

Аннотация. В настоящее время показатель Херста достаточно легко интерпретируется применительно к биометрическим, медицинским и экономическим данным. Целью работы является повышение достоверности оценок за счет компенсации методической погрешности. Используется факт того, что показатель Херста должен иметь значение 0,5 при его оценках на выборках разного объема. Приведены таблица поправок и аналитическая зависимость для коррекции значений показателя Херста.

Ключевые слова: показатель Херста, малые выборки, биометрические данные, методическая погрешность

ADDITIONAL CORRECTION OF THE ADDITIVE METHODOLOGICAL ERROR OF ESTIMATES OF THE HURST INDEX IN THE ANALYSIS OF EMPIRICAL DATA

Aleksandr I. Ivanov¹, Dmitriy V. Tarasov²

¹Penza Scientific Research Electrotechnical Institute, Penza, Russia

²Penza State University, Penza, Russia

¹ivan@pniei.penza.ru

²tarasovdv@mail.ru

Abstract. *Relevance and goals.* Currently, the Hurst indicator is quite easily interpreted in relation to biometric, medical and economic data. The aim of the work is to increase the reliability of estimates by compensating for methodological errors. *Materials and methods.* The fact is used that the Hurst indicator should have a value of 0.5 when it is estimated on samples of different volumes. *Results and conclusions.* A table of corrections and an analytical dependence for correcting the values of the Hurst index are given.

Keywords: Hurst index, small samples, biometric data, methodological error

Введение

Показатель Херста является одним из активно используемых параметров при анализе рынка [1–3] и коллективной биометрии [4]. К сожалению, эмпирический показатель Херста по умолчанию предполагает использование больших выборок из-за того, что он является степенным:

$$\frac{R(N)}{\sigma(N)} = \left\{ \frac{\pi \cdot N}{2} \right\}^H, \quad (1)$$

где N – размер выборки; R – размах выборки; σ – стандартное отклонение выборки; H – степенной показатель Херста, изменяющийся в интервале от 0,5 до 1,0 для предсказуемых персистентных систем и, изменяющийся в интервале от 0,0 до 0,5 для антиперсистентных систем.

Переходя в логарифмическую форму уравнения (1), получим еще один вариант записи показателя Херста:

$$H(N) = \log_2(R(N)/\sigma(N))/\log_2(\pi \cdot N/2). \quad (2)$$

Вторая форма удобна для пояснения причин, по которым при анализе данных рынков и данных коллективной биометрии необходимы большие выборки. Если предположить, что логарифм нормированного размаха данных является константой, то ошибка оценки показателя будет оцениваться следующим соотношением:

$$\Delta H(N) \approx \text{const}/\log_2(\pi \cdot N/2). \quad (3)$$

То есть ошибки из-за сокращения размеров выборки реальных данных должны расти обратно пропорционально логарифму объема выборки.

Проведенные численные эксперименты показали, что вместе со случайной составляющей погрешности $\Delta H(N)$ оценки (2) содержится методическая составляющая погрешности, которую можно устранить. Одна из первых работ, отмечающая наличие мультипликативной составляющей методической погрешности, является работа Е. Федера [5] при слишком низких и слишком больших значениях показателя Херста. Одним из первых попытался устранить мультипликативную погрешность Э. Найман [6]. Работ о том, насколько эффективен мультипликативный корректор Э. Наймана [6] нами не обнаружено. Это и послужило

стимулом написания данной работы по корректировке только аддитивной составляющей методической погрешности.

Численное моделирование значений показателя Херста для малых выборок на эталонном «белом шуме»

Рассмотрим наиболее простую ситуацию, когда речь идет о действительно случайных входных данных, полученных от программного генератора псевдослучайных чисел с нормальным распределением. Если бы формулы (1), (2) оценки показателя Херста верно отражали действительность, то с ростом размеров выборки мы наблюдали бы стабильное значение математического ожидания распределений. На рисунке 1 даны результаты численного моделирования. Программная реализация численного эксперимента приведена в левой части рисунка. В правой части рисунка даны четыре распределения значений показателя Херста для четырех выборок $N = \{20, 40, 80, 160\}$.

На рисунке 1 видно, что неопределенность показателя Херста (случайная составляющая погрешности) с ростом объема выборки падает. Однако, наряду со случайной составляющей погрешности, существует значительная методическая составляющая погрешности оценок. Более того, с ростом размера выборки методическая составляющая увеличивается. При малой выборке в 20 отсчетов методическая погрешность минимальна и составляет величину $\Delta H \approx 0,5 - 0,392 = 0,108$. При выборке в $N = 160$ отсчетов методическая погрешность практически удваивается $\Delta H \approx 0,5 - 0,303 = 0,197$.

$N := 20$

```

H00(sh) :=
  x ← momm(N, 0, 1 + sh)
  R ← max(x) - min(x)
  σ ← stdev(x)
  mk ← -0.0011 · log(N, 2.718) + 1.0136
  L ←  $\frac{\log\left(\frac{R}{\sigma}, 2\right) \cdot mk}{\log\left(\frac{\pi \cdot N}{2}, 2\right)}$ 
  L

i := 0..9999   shi := md(0.01)
Lmi := H00(shi)   mean(L) = 0.396   stdev(L) = 0.031
  
```

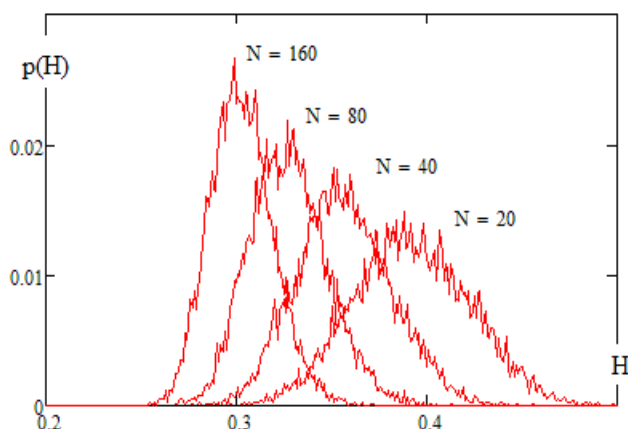


Рис. 1. Результаты численного эксперимента по оценке показателя Херста для независимых данных

Отметим, что увеличение выборки в 8 раз приводит примерно к двукратному снижению случайной составляющей погрешности и примерно к двукратному росту методической составляющей погрешности.

Таблично-аналитическое описание методической составляющей погрешности

Очевидно, что мы можем вычислить значения методической погрешности и устранить ее при оценках значений показателя Херста. В нижней части рисунка 2 дана таблица соответствующих поправок для 12-ти выборок от 10 до 320 опытов.

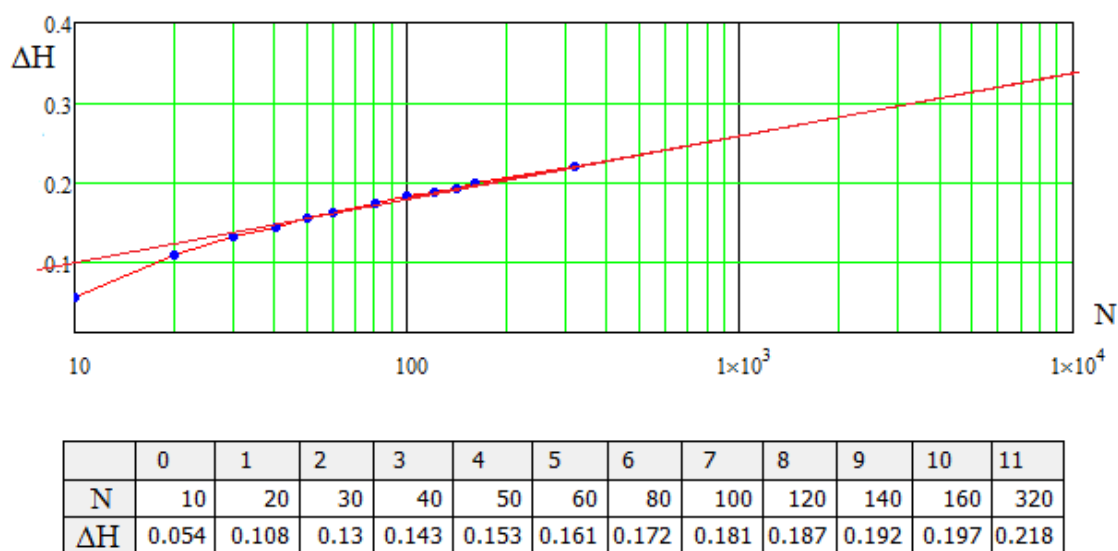


Рис. 2. График монотонного роста значений методической погрешности как функция объема выборки

Из рисунка 2 видно, что функция $\Delta H(N)$ близка к линейной в логарифмических координатах. На практике для описания методической погрешности можно использовать ее приближение:

$$\Delta H(N) \approx 0,087 \cdot \log_{10}(N). \quad (4)$$

Устранение методической погрешности (4) позволяет поднять точность оценок примерно в 2 раза на выборках в 30 опытов и более, однако при этом остается не скомпенсированной случайная составляющая погрешности.

Заключение

Компенсация методической погрешности является принципиально важным технологическим элементом оценки значений показателя Херста как на малых, так и на больших выборках. Если методическая погрешность оценок не устраняется, то увеличение объема исследуемых выборок не приводит к снижению ошибок.

Следует отметить, что наряду с методической ошибкой должна существовать и случайная составляющая ошибок оценки показателя Херста (3). Случайная составляющая всегда уменьшается с ростом размеров тестовой выборки. Всегда можно либо использовать достаточно большую выборку, либо воспользоваться нейросетевой коррекцией случайной составляющей погрешности [7].

Список литературы

1. Калуш Ю. А., Логинов В. М. Показатель Херста и его скрытые свойства // Сибирский журнал индустриальной математики. 2002. Т. 5, вып. 4. С. 29–37.
2. Петерс. Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка ; пер. с англ. В. И. Гусевой. М. : МИР, 2000. 333 с.
3. Мандельброт Б., Хадсон З. Л. (НЕ)послушные рынки. Фрактальная революция в финансах. М. ; СПб. ; Киев : Вильямс, 2006. 408 с.
4. Иванов А. И. Высокорамерная коллективная биометрия подсознательного поведения людей на рынке и производстве: препринт. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. 60 с.
5. Федер Е. Фракталы. М. : Мир, 1991. 254 с.
6. Найман Э. Как покупать дешево и продавать дорого: Пособие для разумного инвестора. М. : Альпина Паблицерз, 2011. 552 с.
7. Иванов А. И. Нейросетевой многокритериальный статистический анализ малых выборок. Проверка гипотезы независимости. Справочник. Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. 218 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Сергей Вячеславович Лукичев¹, Владимир Иванович Горбаченко²,
Игорь Анатольевич Абрамов³, Наталья Ивановна Манина⁴

¹Горный институт Кольского научного центра
Российской академии наук, г. Апатиты, Россия

^{2,3,4}Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия

¹s.lukichev@ksc.ru

³igora379@gmail.com

⁴natashafmf2001@gmail.com

Аннотация. Проведен анализ моделирования поверхностей геологических тел. Предложен подход, основанный на детализации триангуляции. Разработан алгоритм детализации триангуляции, использующий быстрый метод радиальных базисных функций (Fast RBF). Эксперименты с разработанной программой детализации триангуляции показали высокую точность уточнения триангуляции.

Ключевые слова: поверхность, триангуляция, быстрый метод радиальных базисных функций

SURFACE MODELING USING RADIAL BASIS FUNCTIONS

Sergey V. Lukichev¹, Vladimir I. Gorbachenko²,
Igor A. Abramov³, Natalia I. Manina⁴

¹Mining Institute, Kola Science Centre of the Russian Academy
of Sciences, Apatity, Russia

^{2,3,4}Penza State University, Penza, Russia

¹s.lukichev@ksc.ru

³igora379@gmail.com

⁴natashafmf2001@gmail.com

Abstract. The analysis of the modelling of the surfaces of geological bodies is carried out. An approach based on triangulation detailing is proposed. The algorithm of triangulation detailing using the Fast Radial Basis Function (Fast RBF)

method is developed. Experiments with the developed triangulation detailing program have shown high accuracy of triangulation refinement.

Keywords: surface, triangulation, fast radial basis function method

В процессе разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых возникает необходимость моделирования геологических тел, ограниченных некоторыми поверхностями. Геологические тела [1] – это часть статического геологического пространства, ограниченная границей, внутри которой остаются непрерывными те свойства, которые были использованы для проведения границы. Поверхности, ограничивающие геологические тела, как правило являются замкнутыми и негладкими.

Моделирование – это построение поверхности по ограниченному количеству экспериментально полученных, например, путем бурения скважин, данных о геологическом теле. В процессе построения поверхности возникает необходимость получения ее координат в некоторых новых точках, которые чаще всего задаются с помощью сеточной поверхности, первоначально расположенной на плоскости. В настоящее время для этого используется имплицитное (условное моделирование), применяющее интерполяцию с помощью радиальных базисных функций (РБФ) [2–3]. Основой современного имплицитного моделирования является достаточно давно известный Fast RBF (быстрый метод радиальных базисных функций) [2, 4–5], базирующийся на быстрых итерационных алгоритмах подпространств Крылова решения систем линейных алгебраических уравнений для определения параметров РБФ [6–8]. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений имеют сложность порядка $O(N^3)$, где N – число узлов интерполяции, а итерационные алгоритмы имеют сложность $O(N^2)$. Итерационные алгоритмы подпространств Крылова способны достичь приемлемой точности за небольшое число итераций, поэтому применение таких алгоритмов снижает на порядок сложность вычислений. В том же соотношении итерационные алгоритмы снижают затраты памяти. В Fast RBF также применяются подходы к снижению количества узлов интерполяции, учитываемых при расчетах: быстрый метод мультиполей (FMM – Fast multipole method) [9–10] и редукция (сокращение) количества узлов интерполяции [4],

учитываемых при расчетах. В самом общем виде идея быстрого метода мультиполей состоит в разбиении пространства на области, для каждой области с помощью РБФ строится интерполяция, учитывающая только узлы внутри области. Глобальная интерполяция в каждой точке складывается из локальной интерполяции внутри области и вклада интерполяций из других областей.

Fast RBF хорошо работает на относительно гладких поверхностях. Геологические тела имеют, как правило негладкую поверхность и перегибы [11]. В нашей работе предлагается подход, основанный на предварительной – "грубой" триангуляции поверхности тела с последующей детализацией триангуляции с помощью локального Fast RBF. При этом предварительная триангуляция по точкам с известными координатами может осуществляться с помощью известных алгоритмов, например, триангуляции Делоне [12].

Целью работы является детализация триангуляции с помощью радиальных базисных функций.

Первоначально по экспериментальным данным с помощью триангуляции строится трехмерная поверхность. Приближение поверхности получается неточным из-за ограниченного набора экспериментальных данных. Далее производится детализация триангуляции – разбиение треугольников, полученных в процессе предварительной триангуляции. При разбиении находится точка, назовем ее рабочей точкой (РТ) внутри или на ребре треугольника – это начальное положение РТ. Принцип размещения РТ – формирование новых треугольников максимально правильной формы с близкими к задаваемым размерам длинами ребер. Необходимо рассчитать уточненное положение рабочей точки. Для этого рассчитывается расстояние от начального положения рабочей точки по нормали к базовой плоскости (БП). Если в начальном положении РТ лежит внутри треугольника, то БП совпадает с плоскостью треугольника. Если в начальном положении РТ лежит на ребре, то вектор нормали к базовой плоскости равен сумме векторов нормалей треугольников, образующих ребро.

Уточненное положение РТ необходимо рассчитать по координатам узлов предварительной триангуляции (БТ – базовых точек), которые участвуют в процессе интерполяции. Для вычисления уточненного положения РТ относительно БП необходимо

вычислить положение проекции БТ на БП и расстояния от базовых точек до БП. Это расстояние может быть положительным или отрицательным в зависимости от расположения БТ относительно БП. Для вычисления расстояния от уточненного положения РТ до БП используется локальная РБФ-интерполяция, учитывающая тренд в расположении БТ относительно БП. Уточненное положение РТ находится на нормали, проходящей через точку исходного положения РТ на БП или ребра.

Вычисление уточненного положения РТ производится по следующей схеме (вычисления проводятся по известным формулам аналитической геометрии [13], под точкой в трехмерном пространстве будем подразумевать также соответствующий ей радиус-вектор, и наоборот — под радиус-вектором с некоторыми координатами — соответствующую ему точку).

Базовая плоскость однозначно определяется точкой плоскости $\mathbf{r}_1 = [x_1, y_1, z_1]$ — координатой начального положения РТ в мировой системе координат, и вектором нормали БП $\mathbf{n} = [A, B, C]$. Тогда уравнение базовой плоскости имеет вид

$$A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0. \quad (1)$$

Уравнение плоскости в форме (1) можно привести к канонической форме

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (2)$$

если сгруппировать известные слагаемые

$$D = -Ax_1 - By_1 - Cz_1 = -(\mathbf{r}_1, \mathbf{n}), \quad (3)$$

где $(\mathbf{r}_1, \mathbf{n}) = Ax_1 + By_1 + Cz_1$ — скалярное произведение векторов \mathbf{r}_1 и \mathbf{n} .

Проекция базовой точки с координатами в мировой системе координат $\mathbf{r}_0 = [x_0, y_0, z_0]$ на базовую плоскость (2) с нормалью $\mathbf{n} = [A, B, C]$ может быть вычислена по формуле

$$\mathbf{r}_{0p} = \mathbf{r}_0 - \frac{D + (\mathbf{r}_0, \mathbf{n})}{(\mathbf{n}, \mathbf{n})} \mathbf{n}, \quad (4)$$

где $\mathbf{r}_{0p} = [x_{0p}, y_{0p}, z_{0p}]$ – координаты проекции точки на плоскость в мировой системе координат; скалярные произведения равны: $(\mathbf{r}_0, \mathbf{n}) = Ax_0 + By_0 + Cz_0$, $(\mathbf{n}, \mathbf{n}) = A^2 + B^2 + C^2$.

Координаты проекций БТ на БП будут представлены в мировой системе координат. Расстояние l_0 от БТ, например, от точки с координатами $\mathbf{r}_0 = [x_0, y_0, z_0]$ до БП (2) определяется по величине и знаку выражением

$$l_0 = \frac{Ax_0 + By_0 + Cz_0 + D}{\pm\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \quad (5)$$

Знак перед корнем противоположен знаку D в уравнении плоскости (2). Знак расстояния положителен, если точка лежит выше плоскости и отрицателен в противном случае. Расстояние от БТ до плоскости – это расстояние между БТ и ее проекцией на БП. Это расстояние легко вычислить, причем расчет по (5) учитывает расположение базовой точки относительно базовой плоскости.

Далее решается задача локальной РБФ-интерполяции – находится расстояние от уточненного положения рабочей точки до базовой плоскости. Фактически неявно решается задача РБФ-интерполяции в локальной системе координат, но явный переход в локальную систему координат не производится. Эта задача описывается ниже.

Последним шагом необходимо рассчитать координаты уточненного положения РТ $\mathbf{r}_2 = [x_2, y_2, z_2]$ в мировой системе координат. Точка \mathbf{r}_2 лежит на прямой — нормали к БП, проходящей через начальное положение РТ – точку $\mathbf{r}_1 = [x_1, y_1, z_1]$, и отстоит от $\mathbf{r}_1 = [x_1, y_1, z_1]$ на расстояние, вычисленное с помощью РБФ-интерполяции. Причем это расстояние может быть как положительным, так и отрицательным. Канонические уравнения этой прямой с учетом того, что направляющий вектор прямой – это нормаль $\mathbf{n} = [A, B, C]$ к БП, и прямая проходит через точку $\mathbf{r}_1 = [x_1, y_1, z_1]$, имеют вид

$$\frac{x - x_1}{A} = \frac{y - y_1}{B} = \frac{z - z_1}{C}. \quad (6)$$

Известное расстояние между точками \mathbf{r}_1 и \mathbf{r}_2 (высота рабочей точки над базовой плоскостью, рассчитанная с помощью РБФ-интерполяции) равно

$$l_2 = \pm \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}. \quad (7)$$

Знак расстояния совпадает со знаком высоты конечного положения рабочей точки над базовой плоскостью.

Точка \mathbf{r}_2 лежит на прямой (6), поэтому

$$\frac{x_2 - x_1}{A} = \frac{y_2 - y_1}{B}, \quad y_2 = y_1 + \frac{B}{A}(x_2 - x_1). \quad (8)$$

$$\frac{x_2 - x_1}{A} = \frac{z_2 - z_1}{C}, \quad z_2 = z_1 + \frac{C}{A}(x_2 - x_1). \quad (9)$$

Находим из (8) и (9) y_2 , z_2 и подставляем в (7), находим x_2 , подставляя x_2 в (8) и (9), находим y_2 и z_2 . После элементарных преобразований получаем

$$l_2^2 = (x_2 - x_1)^2 \left(1 + \frac{B^2}{A^2} + \frac{C^2}{A^2} \right).$$

Координаты уточненного положения РТ равны

$$x_2 = x_1 + l_2 \cos \alpha, \quad y_2 = y_1 + l_2 \cos \beta, \quad z_2 = z_1 + l_2 \cos \gamma, \quad (10)$$

$$\text{где } \cos \alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \quad \cos \beta = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}},$$

$\cos \gamma = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}$ – направляющие косинусы вектора нормали к базовой плоскости.

При расчете координат уточненного положения РТ необходимо учитывать знак расстояния ее уточненного положения относительно БП.

Рассмотрим задачу локальной РБФ-интерполяции. Радиальные базисные функции [14–18] являются функциями расстояния между некоторой точкой пространства \mathbf{x} и параметром \mathbf{c} функции, называемым центром функции: $\varphi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|)$, $\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|$ – евклидова норма (расстояние) между точкой и центром.

В работе использованы популярные РБФ: функция Гаусса (Gaussian), обратная квадратичная функция (Inverse quadratic), обратная мультিকвадратичная функция (Inverse multiquadric) и мультиквадратичная функция (Multiquadric). Функция Гаусса (Gaussian) имеет вид

$$\varphi(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|^2}{2a^2}\right) = e^{-\varepsilon^2\|\mathbf{x}-\mathbf{c}_k\|_2^2}, \quad (11)$$

где \mathbf{c} – вектор центра функции, a – параметр формы, обычно называемый шириной, ε – подбираемый параметр.

Другая популярная функция – обратная мультиквадратичная функция (Inverse multiquadric)

$$\varphi(\mathbf{x}) = \left(1 + \frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|^2}{2a^2}\right)^{-1/2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2\|\mathbf{x}-\mathbf{c}_k\|_2^2}}. \quad (12)$$

Похожая функция – функция Коши, или обратный квадратик (Inverse Quadric)

$$\varphi(\mathbf{x}) = \left(1 + \frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|^2}{2a^2}\right)^{-1} = \frac{1}{1 + \varepsilon^2\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|^2}.$$

Используется также мультиквадратичная функция (Multiquadric) Харди

$$\varphi(\mathbf{x}) = \left(1 + \frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|}{a^2}\right)^{n/2},$$

где n – целое, обычно $n=1$, тогда мультиквадратик имеет вид

$$\varphi_i = \sqrt{1 + \varepsilon^2\|\mathbf{x}-\mathbf{c}_k\|_2^2}.$$

При моделировании геологических объектов узлы интерполяции располагаются не на сетке, а произвольным образом в области определения функции. Такая интерполяция называется интерполяцией на рассеянных (scattered) данных [18–21]. Аппроксимация на рассеянных данных является бессеточным (meshfree) методом [18]. Задача интерполяции функций с помощью РБФ имеет

следующую постановку. Пусть в многомерном пространстве дано множество из N точек – узлов интерполяции. Координаты этих точек представляют собой векторы \mathbf{x}_i , $i = 1, 2, \dots, N$. Задано также соответствующее множество действительных чисел d_i , $i = 1, 2, \dots, N$, являющихся известными значениями функции $f(\mathbf{x})$ в узлах интерполяции. В нашей задаче пробные точки – это базовые точки, известная функция – это известные координаты z в базовых точках. Необходимо найти интерполирующую функцию $F(\mathbf{x})$, удовлетворяющую условиям интерполяции

$$F(\mathbf{x}_i) = d_i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (13)$$

В качестве $F(\mathbf{x})$ берется взвешенная сумма базисных функций – РБФ

$$F(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot \varphi_i(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|), \quad (14)$$

где w_i – вес, $\varphi_i(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|)$ – радиальная базисная функция.

Количество базисных функций равно количеству узлов интерполяции \mathbf{x}_i , а сами эти точки являются центрами радиальных базисных функций: $\mathbf{c}_i = \mathbf{x}_i$, другие параметры РБФ необходимо подбирать.

Подставляя в условие (13) выражение (14), получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных весов сети

$$\begin{bmatrix} \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_N\|) \\ \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_N\|) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_N\|) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdots \\ d_N \end{bmatrix}. \quad (15)$$

В матричной форме система (15) имеет вид

$$\mathbf{\Phi} \mathbf{w} = \mathbf{d}, \quad (16)$$

где

$$\Phi = \begin{bmatrix} \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}_N\|) \\ \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{c}_N\|) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_1\|) & \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_2\|) & \cdots & \varphi(\|\mathbf{x}_N - \mathbf{c}_N\|) \end{bmatrix}, \mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_N \end{bmatrix}, \mathbf{d} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdots \\ d_N \end{bmatrix}.$$

В [22] доказано: если все узлы интерполяции \mathbf{x}_i различны, то матрица Φ в (16) является неособенной, значит, решение системы (16) существует (это утверждение известно как теорема Мичелли). Матрица Φ является симметричной. В [22] также доказано, что при использовании функции Гаусса и обратного мультиквадрика матрица Φ является положительно определенной, а при использовании мультиквадрика не является положительно определенной. Положительная определенность матрицы расширяет множество допустимых методов решения. Известно [23], что число обусловленности матрицы Φ $\text{cond}(\mathbf{A}) = \|\mathbf{A}\| \cdot \|\mathbf{A}^{-1}\|$ растет при увеличении количества узлов интерполяции N . Это означает, что при большом количестве узлов интерполяции матрица имеет большие размеры и является плохо обусловленной, т.е. очень чувствительной к погрешностям исходных данных и погрешностям округлений.

Матрица системы (16) является квадратной плотной и симметричной. Такие системы обычно решают прямыми методами [8, 24]: методами LU-разложения, Холецкого (LL^T -разложения), LDL^T -разложения, QR-разложения. Согласно идеям Fast RBF для решения системы (16) целесообразно применять быстрые итерационные методы подпространств Крылова [6–8], позволяющие за счет численной устойчивости методов ослабить негативное влияние плохой обусловленности системы. Ввиду положительной определенности матрицы системы (16) целесообразно использовать метод сопряженных градиентов (CGM – Conjugate Gradient Method). В известных работах по Fast RBF [4–5] используется обобщенный метод минимальных невязок (GMRES – General Minimal RESiduals), применимый для систем общего вида. В данной работе был применен более современный устойчивый алгоритм бисопряженных градиентов (BiCGSTAB – Biconjugate Gradient Stabilized). Эксперименты с различными РБФ и раз-

личными алгоритмами решения системы линейных уравнений показали явное преимущество BiCGSTAB – при равной точности время решения почти в два раза меньше, чем при использовании LU-разложения и несколько меньше, чем при использовании LDL^T -разложения и CGM.

Для реализации описанной схемы уточнения положения РТ первоначально разработана модель трехмерной поверхности, чтобы получить координаты БТ в пространстве. Была выбрана модель геодезического купола, в котором аппроксимируется часть сферы расположением треугольных граней, и получены координаты точек, образующих эти грани. На одной из граней трехмерной поверхности выбрана РТ (был выбран центр треугольника) и вычислены ее координаты, а также определен нормальный вектор к БП, которую определяют точки треугольной грани. Таким образом были получены исходные данные (набор БТ, нормаль к БП и начальное положение РТ) для программной реализации уточнения положения РТ.

Программная реализация уточнения положения РТ выполнена на языке C++. Для оценки погрешности интерполяции учитывалось, что базовые точки и идеально точно рассчитанные точки детализации триангуляции (рабочие точки) расположены на поверхности, аппроксимирующей сферу. Эксперименты показали, что относительная погрешность интерполяции при использовании функции Гаусса в качестве РБФ не превысила 0,45 %.

Таким образом, предложенный алгоритм обеспечивает высокую точность интерполяции.

Список литературы

1. Геологические тела (терминологический справочник) / под ред. Ю. А. Косыгина, В. А. Кулындышева, В. А. Соловьева. М. : Недра, 1986. 334 с.
2. Gomes A. J. P., Voiculescu I., Wyvill J. J. B., Galbraith C. Implicit Curves and Surfaces: Mathematics, Data Structures and Algorithms. London : Springer, 2009. 365 p.
3. Егорова Л. А., Митрофанов А. Ф. ИмPLICITНЫЕ каркасные модели – революция в геологическом моделировании // Рациональное освоение недр. 2016. № 2–3. С. 42–51.
4. Carr J., Beatson R., Cherrie J. [et al.]. Reconstruction and representation of 3D objects with radial basis functions // SIGGRAPH '01:

Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York : ACM, 2001. P. 67–76.

5. Biancolini M. E. Fast Radial Basis Functions for Engineering Applications. Cham: Springer, 2017. 372 p.

6. Саад Ю. Итерационные методы для разреженных систем. М. : Изд-во Московского университета, 2013. Т. 1. 344 с.

7. Liesen J. Krylov subspace methods: principles and analysis. Oxford : Oxford University Press, 2015. 408 p.

8. Горбаченко В. И. Вычислительная линейная алгебра с примерами на MATLAB. СПб. : БХВ Петербург, 2011. 320 с.

9. R. Beatson, J. Cherrie, D. Ragozin. Fast evaluation of radial basis functions: methods for four-dimensional polyharmonic splines // SIAM Journal on Mathematical Analysis. 2001. Vol. 32, № 6. P. 272–1310.

10. Гумеров Н. А. Быстрый метод мультиполей // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2013. Т. 18, № 4. С. 11–24.

11. Галянина Н. П., Бутолин А. П., Пономарева Г. А. Структурная геология. Оренбург : ОГУ, 2021. 143 с.

12. Скворцов А. В., Мирза Н. С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2006. 168 с.

13. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. СПб. : Лань, 2021. 448 с.

14. Buhmann M. D. Radial Basis Functions: Theory and Implementations. Cambridge : Cambridge University Press, 2004. 259 p.

15. Hardy R. L. Multiquadric Equations of Topography and Other Irregular Surfaces // Journal of Geophysical Research. 1971. Vol. 76, № 8. P. 1905–1915.

16. Hardy R. L. Theory and Application of the Multiquadric-Biharmonic Method 20 Years of Discovery // Computers and Mathematics with Applications. 1990. Vol. 19, № 8-9. P. 163–208.

17. Wendland H. Scattered Data Approximation. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 348 p.

18. Fasshauer G. F. Meshfree Approximation Methods with MATLAB. Singapore: World Scientific Publishing, 2007. 500 p.

19. Franke R. Scattered Data Interpolation: Tests of Some Method // Mathematics of Computation. 1982, Vol. 38, № 157. P. 182–200.

20. Franke R., Nielson G. M. Scattered Data Interpolation and Applications: A Tutorial and Survey // Geometric Modeling. Computer Graphics Systems and Applications. Heidelberg : Springer. 1991. P. 131–160.

21. Wendland H. Scattered Data Approximation. Cambridge : Cambridge University Press, 2010. 348 p.

22. Micchelli C. F. Interpolation of scattered data: Distance matrices and conditionally positive definite functions // Constructive Approximation. 1986. Vol. 2, iss. 1. P. 11–22.

23. Le Borne S. Fast direct solvers for RBF interpolation problems. URL: <https://www.math.purdue.edu/~xiaj/FastSolvers2018/leborne.pdf>

24. Уоткинс Д. Основы матричных вычислений. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 664 с.

УДК 004.9

ПРОБЛЕМА СТОЛКНОВЕНИЙ В МНОГОРОБОТНЫХ СИСТЕМАХ

Валерий Владимирович Солодовник¹,
Сергей Александрович Дюбрюкс²

^{1,2}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹solodokwellll@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема столкновений, описано возникновение безвыходных ситуаций в многороботных системах, предложен распределенный алгоритм для предотвращения столкновений между роботами.

Ключевые слова: робот, столкновение, безвыходная ситуация, система помеченных переходов, сеть Петри

COLLISION PROBLEM IN MULTI-ROBOT SYSTEMS

Valeriy V. Solodovnik¹ , Sergey A. Dubruks²

^{1,2}South-West State University, Kursk, Russia

¹solodokwellll@mail.ru

Abstract. The collision problem is considered, the occurrence of stalemate situations in multi-robot systems is described, and a distributed algorithm for preventing collisions between robots is proposed.

Keywords: robot, collision, deadlock, labelled transition system, Petri net

В многороботной системе без учета каких-либо внешних препятствий столкновение (англ. collision) роботов друг с другом

происходит при пересечении их траекторий движения. Кроме того, во время процесса предотвращения столкновения возможны безвыходные ситуации (англ. deadlock) [1]. Например, на рисунке 1 показано четыре автономных транспортных средства, проезжающих нерегулируемый перекресток. В текущей ситуации все четыре автомобиля находятся в безвыходной ситуации, и их движение полностью парализовано.

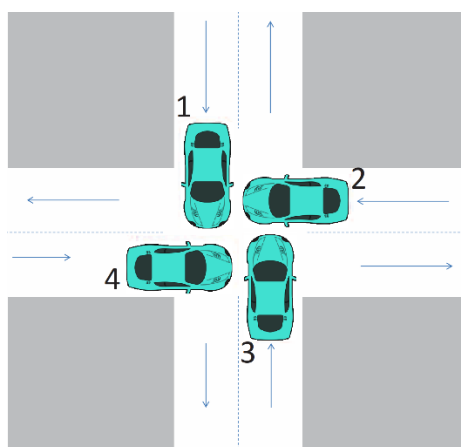


Рис. 1. Безвыходная ситуация с четырьмя автономными транспортными средствами на нерегулируемом перекрестке

Если роботы смогут перестраивать свои траектории во время движения, то столкновения и безвыходные ситуации могут быть разрешены путем изменения траекторий движения роботов. Однако, если каждый робот в системе должен двигаться по заранее заданной траектории и не может изменить свою траекторию или направление движения, то единственным способом избежать столкновений и безвыходных ситуаций – сделать так, чтобы роботы проходили одну и ту же точку в разное время. Известно два вида организации системы управления роботами для предотвращения столкновений и безвыходных ситуаций – централизованный и децентрализованный. Однако, централизованному управлению не хватает гибкости и масштабируемости, а децентрализованное управление часто не учитывает достаточное число возможных ситуаций, возникающих в процессе функционирования многороботной системы [2].

Дадим определения столкновений и безвыходных ситуаций в терминах моделей системы помеченных переходов (англ. labeled transition system, LTS), а затем сформируем проблему.

Если два робота столкнулись, то они находятся в одной и той же точке. Таким образом, если два робота не находятся в одной и той же точке, то они не столкнулись. Отсюда следует следующее определение столкновения в терминах дискретных моделей системы помеченных переходов.

Многороботная система T находится в состоянии столкновения в конфигурации c , если существуют по крайней мере два робота r_i и r_j , $i \neq j$, такие, что $s_{cur}^i = s_{cur}^j$, где s_{cur}^i и s_{cur}^j – их текущие положения соответственно.

Таким образом, многороботная система T находится в безвыходной ситуации при конфигурации c , если некоторые роботы, $r_{i_1}, r_{i_2}, \dots, r_{i_k}$, находятся в бесконечном ожидании: $\forall i_m \in \{i_1, \dots, i_k\}, Pos_{i_m}(c(i_m)) = c(i_{m+1})$, где $i_{k+1} = i_1$.

Предположим, что множество всех конфигураций системы в T равно C , множество конфигураций столкновения равно C_c , а множество конфигураций с безвыходными ситуациями равно C_d . Тогда множество безопасных конфигураций равно $C_s = C \setminus (C_c \cup C_d)$. Используя логические операторы «импликации» (\rightarrow) и «конъюнкции» (\wedge), а также операторы «в конечном итоге»

(\diamond) и «всегда» (\square), можно сформулировать постановку проблемы.

Пусть для системы роботов имеется модель систем помеченных переходов в системе $\{T_i\}_{i \in I_N}$. Тогда необходимо найти распределенный способ управления движением в реальном времени для системы роботов такой, чтобы любая достижимая конфигурация системы c удовлетворяла условию:

$$(c \in C_s) \wedge \left(\bigwedge_{i \in I_N} (c(i) \rightarrow \diamond \neg c(i)) \right).$$

Условие $(c \in C_s)$ означает, что все достижимые конфигурации безопасны, т.е. не существует столкновений и безвыходных ситуаций, а вторая $\left(\bigwedge_{i \in I_N} (c(i) \rightarrow \diamond \neg c(i)) \right)$ – что каждый робот может совершать постоянные движения и не может вечно находиться в одной и той же точке.

Предлагается распределенный алгоритм для предотвращения столкновений между роботами. Основная идея заключается

в том, что если робот предсказывает столкновение с другим роботом после очередной смены точки, то он останавливается, чтобы дождаться перемещения другого робота.

В многороботной системе не произойдет столкновение тогда и только тогда, когда $\forall s \in S_\alpha$ существует не более одного робота в точке s . Пусть булевый сигнал $sign_s$ обозначает точку s . Если в точке s не находится ни один робот системы, то $sign_s = 0$, в противном случае $sign_s = 1$.

Однако, поскольку каждый робот проверяет свою следующую точку независимо от других, несколько роботов могут одновременно перейти в одну и ту же точку. Поэтому, чтобы гарантировать отсутствие столкновения, они должны договариваться друг с другом, чтобы определить, кто из них действительно может осуществить переход в следующую точку. Существуют различные стратегии переговоров. Например, возможной стратегией переговоров является случайный выбор, который может быть реализован следующим образом. Предположим, что X , называемая областью переговоров, представляет собой набор рядом расположенных точек, в которых может произойти столкновение роботов. В каждый момент времени роботы могут общаться со своими соседями, чтобы определить роботов, которые движутся в X . Пусть E_X – множество подвижных роботов, которые движутся в X . Сначала каждый робот в E_X генерирует случайную временную задержку, основанную на одном и том же распределении. Затем они связываются с другими роботами из E_X для получения задержек, и робот с минимальной задержкой получает право на перемещение. После того как робот определен, E_X становится пустым.

Тогда $NEG(E_X)$ обозначает переговорный процесс, в результате которого определяется робот, способный двигаться дальше. Пусть $Sign = \{sign_s, s \in S_\alpha\}$ и $Sign(s) = sign_s$, тогда стратегия предотвращения столкновений для робота r_i состоит в следующем: когда r_i собирается переместиться в $s \in S_\alpha^i$, текущая точка $Pre_i(s)$, он сначала проверяет значение $Sign(s)$. Если $Sign(s) = 0$, то он транслирует свой индекс в E_{X_s} и выполняет $NEG(E_{X_s})$. Если r_i получает право на перемещение, он входит в точку s , и сигнал s

меняется на 1. В противном случае он останавливается в своей текущей точке.

Опишем этот алгоритм управления в более интуитивно понятных терминах сетей Петри.

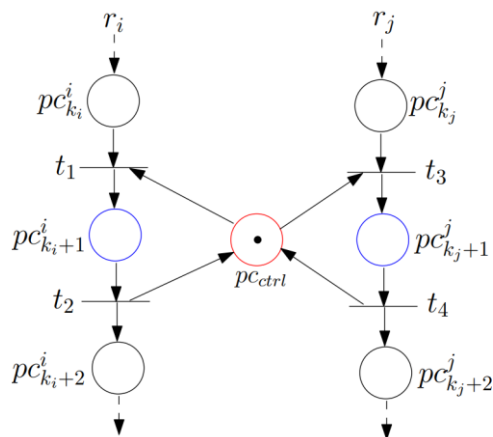


Рис. 2. Сеть Петри столкновения между роботами r_i и r_j

Как показано на рис. 2, места $pc_{k_i}^i - pc_{k_i+2}^i$ (или $pc_{k_j}^j - pc_{k_j+2}^j$) представляют три последовательных точки роботов r_i (или r_j). Каждый переход представляет собой событие перемещения из входа в выход. $pc_{k_i+1}^i$ и $pc_{k_j+1}^j$ представляют одну и ту же точку, скажем, s , в $CS^{i,j}$. Чтобы избежать столкновения, r_i и r_j не могут одновременно находиться в $pc_{k_i+1}^i$ и $pc_{k_j+1}^j$, т.е. для любой достижимой метки M , $M(pc_{k_i+1}^i) + M(pc_{k_j+1}^j) \leq 1$. Добавим контрольное место pc_{ctrl} , выполняющее роль сигнала, т.е. $sign_s$. Если $M(pc_{ctrl}) = 1$, то $sign_s = 0$, в противном случае $sign_s = 1$. Только когда pc_{ctrl} имеет метку, могут быть разрешены переходы t_1 и t_3 . Действительно, когда $M(pc_{k_i}^i) = M(pc_{k_j}^j) = M(pc_{ctrl})$, переходы t_1 и t_3 одновременно доступны и могут быть выполнены. Но осуществить можно только один из них. Таким образом, при выборе перехода происходит переговорный процесс, т.е. NEG(EX). Такое сравнение позволяет говорить о том, что стратегии переговоров

между несколькими роботами также могут быть реализованы аналогично методам выбора переходов в сетях Петри [3].

Стоит отметить, что каждый робот хранит свои локальные переменные: $\{sign_s, s \in S_\alpha^i\}$. Проверая свой путь, каждый робот может определить значения признаков и самостоятельно выполнить алгоритм предотвращения столкновений.

Список литературы

1. Gautam A., Mohan S. A review of research in multi-robot systems // IEEE 7th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIIS). / Chennai, 2012. P. 1–5. doi: 10.1109/ICIIIS.2012.6304778 2012
2. Бройнль Т. Встраиваемые робототехнические системы. Проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления. М. : Институт компьютерных исследований, 2012. 520 с.
3. Рэндал У. Б., МакЛэйн Т. У. Малые беспилотные летательные аппараты. Теория и практика. М. : Техносфера, 2015. 312 с.

УДК 004.9: 519.2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Андрей Анатольевич Тарасов

*Научно-производственное предприятие «Рубин»,
г. Пенза, Россия*

mail@npp-rubin.ru

Аннотация. Целью работы является создание инженерной методики расчета вероятностных характеристик группы параллельных процессов. Разработан пример использования методики для исследования группы из шести параллельных процессов применительно к параллельному программированию. Результаты аналитических расчетов верифицированы статистическим имитационным моделированием. С использованием методики получены точные значения вероятностных характеристик продолжительности группы параллельных процессов.

Ключевые слова: функция вероятности, параллельный процесс, равномерное распределение

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE DURATION OF PARALLEL PROCESSES

Andrey A. Tarasov

*Scientific and Production Enterprise "Rubin",
Penza, Russia*

mail@npp-rubin.ru

Abstract. The aim of the work is to create an engineering methodology for calculating the probabilistic characteristics of a group of parallel processes. An example of using the methodology to study a group of six parallel processes in relation to parallel programming has been developed. The results of analytical calculations are verified by statistical simulation modeling. Using the technique, exact values of the probabilistic characteristics of the duration of a group of parallel processes were obtained.

Keywords: probability function, parallel process, uniform distribution

Рассчитываются вероятностные характеристики продолжительности группы одновременно, параллельно исполняемых операций, когда действие группы завершается при условии окончания всех операций. Продолжительность операции складывается из детерминированного времени от начала всех операций группы до самого раннего окончания группы операций и вероятностного интервала времени окончания от самого раннего до самого позднего окончания группы операций.

1. На основе цели моделирования определяются факторы, влияющие на показатели достижения цели, которые в свою очередь определяются применением результатов исследования.

Могут быть несколько общеизвестных целей исследования [1]: средство осмысления действительности, средство общения, средство обучения и тренажа, инструмент прогнозирования, средство постановки эксперимента и другие.

2. Обоснование предположений, допущений. На продолжительность операции оказывает влияние множество факторов, поэтому используется случайная непрерывная величина продолжительности неопределенности окончания операции. Среди распределений вероятности на ограниченном интервале [2, 3] наиболее распространено равномерное распределение, которое опреде-

ляется только двумя параметрами, что удобно для исследований на начальных этапах разработки [4].

Считается, что продолжительности операций, определяющие продолжительности группы параллельных операций, мало зависят друг от друга, но каждый значительно влияет на вероятностные характеристики продолжительности группы. При этом сделаны допущения о независимости случайных величин, что обычно допускается для расчетов на начальных этапах проектирования системы и позволяет оценить вклад каждой операции в продолжительность группы операций.

Для сокращения количества случайных величин предварительно определяются максимальные значения времени раннего завершения операции и максимальное значение времени позднего завершения операции среди всех операций группы. Из дальнейшего исследования исключаются операции, время позднего завершения которых меньше максимального времени раннего завершения операции. Очевидно, на время завершения группы параллельных операций влияют только операции, завершающиеся в интервале максимальных значений раннего и позднего завершения операции. Вероятности завершения группы одновременно, параллельно исполняемых операций, когда действие группы завершается при условии окончания всех операций, определяются произведением вероятностей завершения всех параллельно исполняемых операций. Максимальные значения времени раннего завершения a_m группы n операций и максимальное значение времени позднего завершения b_m группы n операций определяются [5, 6]:

$$a_m = \max_{j=1, \dots, n} a_j, b_m = \max_{j=1, \dots, n} b_j, a_j < b_j, j = 1, \dots, n;$$

Продолжительность вероятностного интервала завершения группы параллельных n операций

$$t_m = (b_m - a_m).$$

Снизить размерность задачи вычисления продолжительности параллельных операций с допустимой потерей точности можно за счет операций j , у которых время выполнения частично или полностью перекрывается с другими операциями и для которых разности $a_m - b_j$ или $b_m - a_j$ не превышают значения $\gamma (b_m - a_m)(1 - \gamma)$. Численное значение γ назначается исходя из цели

моделирования. Типовое значение порога потери информации $\gamma = 0,05$ или $0,01$ (5 или 1 %).

3. Сбор численных значений определяющих факторов.

Источником сведений могут быть результаты испытаний, экспериментов, данные из справочников, стандартов, описаний прототипов, а также знания и опыт специалистов.

4. Синтез математических соотношений без конкретизации числовых значений факторов.

Расчетные математические выражения приведены в [8, 9]. Риск неисполнения операции определяется как дополнение функции распределения вероятности $R(t) = 1 - F(t)$ [6].

5. Расчет числовых значений показателей цели исследования.

6. Оценка точности и адекватности результатов расчета.

Применение методики рассмотрено на определении вероятностных характеристик времени завершения потоков в параллельной программе, иными словами, на определении продолжительности параллельных синхронизированных процессов в программе [7].

Пусть необходимо вывести функции вероятности, плотности вероятности, математического ожидания и дисперсии продолжительности группы из шести параллельных потоков. Группа процессов завершается при условии окончания всех процессов, т.е. завершившиеся раньше процессы ждут окончания самого позднего завершения процесса. Продолжительность процесса оценивалась безразмерными числовыми значениями.

При расчетах применялись значения, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Номер процесса, i	Наименьшая продолжительность процесса, a_i	Наибольшая продолжительность процесса, b_i
1	16	21
2	11	33
3	2	5
4	16	21
5	8	16,5
6	6	12

Временная диаграмма процессов $p_1(t) \div p_6(t)$ и процесса группы $p_6(t)$ приведены на рис. 1. Вертикальными пунктирными линиями отмечены a_m, b_m . Из рисунка следует, что групповой процесс $p_6(t)$ самое раннее может завершиться при $t = 16$, это время определяют процессы $p_1(t)$ и $p_4(t)$. Процесс $p_6(t)$ точно завершится не позже $t = 33$. Процессы $p_3(t)$ и $p_6(t)$ точно заканчиваются раньше, чем могут завершиться процессы $p_1(t)$ и $p_4(t)$, поэтому они исключаются из расчетов характеристик времени завершения группы процессов. Процесс $p_5(t)$ может завершиться позже начала $p_1(t)$ и $p_4(t)$ при $t = 16,5$. Чтобы исключить этот процесс, оценивается потеря информации от исключения $p_5(t)$. Перекрытие с интервалом $[a_m, b_m]$ составляет 0,5, потери при этом составят $0,5 / (33 - 16) = 0,029$. При пороге потерь $\gamma = 0,05$ процесс $p_5(t)$ можно исключить, при $\gamma = 0,01$ – необходимо учитывать. Таким образом, в примере учитываются три процесса: $p_1(t), p_4(t)$ и $p_2(t)$.

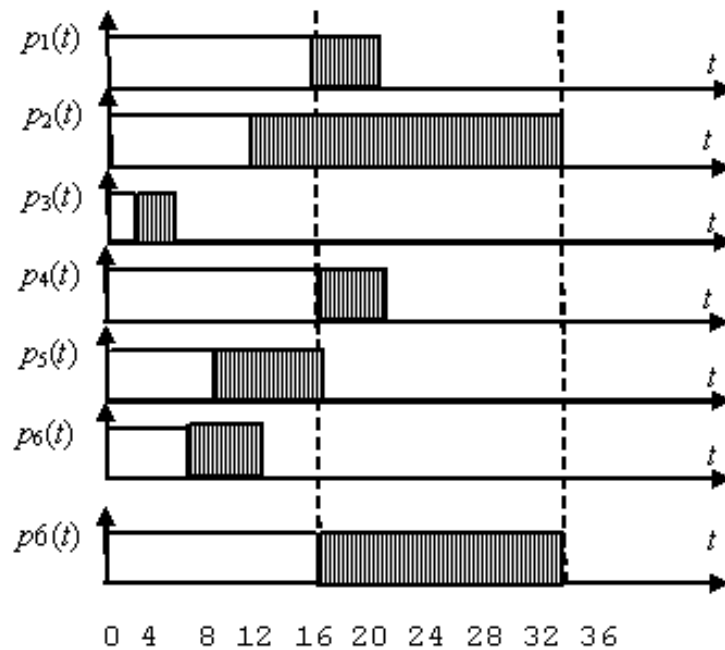


Рис. 1. Временные диаграммы параллельных процессов группы

Функция вероятности завершения группы процессов определяется через произведения функций вероятности всех процессов группы. Из рис. 2 очевидно $F_6(t) = 0$ при $0 \leq t < 16$, $F_6(t) = 1$ при $33 \leq t$. При $16 \leq t < 21$ $F_6(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot F_4(t)$, при $21 \leq t < 33$ $F_6(t) = F_2(t)$.

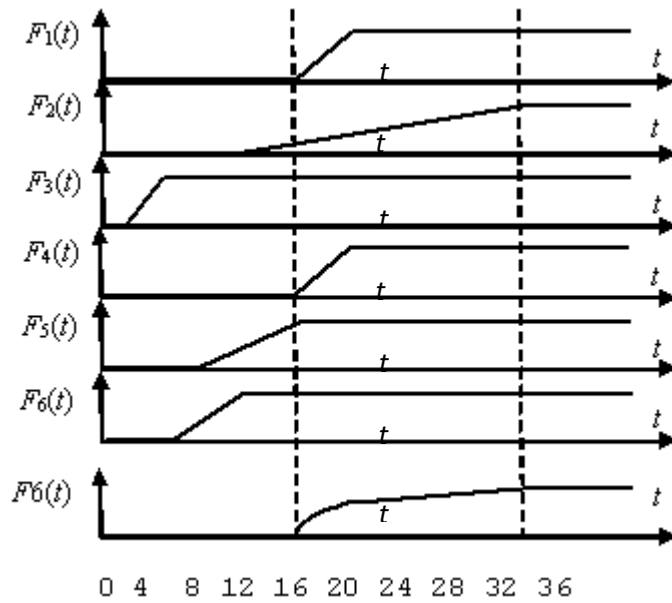


Рис. 2. Функции вероятностей завершения параллельных процессов

Время раннего окончания группы процессов $a_m = 16$, время позднего окончания группы процессов $b_m = 33$. Группа параллельных процессов может завершиться через $16 \div 33$.

$$\begin{aligned}
 FP6(t) = \frac{1}{550} \{ & [(t-16)(t-11)(t-16)H(t-16) - \\
 & -(t-21)(t-11)(t-16)H(t-21) - (t-16)(t-33)(t-16)H(t-33) + \\
 & +(t-21)(t-33)(t-16)H(t-33)] - [(t-16)(t-11)(t-21)H(t-21) + \\
 & +(t-21)(t-11)(t-21)H(t-21) + (t-16)(t-33)(t-21)H(t-33) - \\
 & -(t-21)(t-33)(t-21)H(t-33)] \}; \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fp6(t) = \frac{1}{550} \times \{ & [3t^2 - 86t + 608]H(t-16) - \\
 & - [3t^2 - 96t + 743]H(t-21) - [3t^2 - 130t + 1312]H(t-33) + \\
 & + [3t^2 - 140t + 1557]H(t-33) - [3t^2 - 96t + 743]H(t-21) + \\
 & + [3t^2 - 106t + 903]H(t-21) + [3t^2 - 140t + 1557]H(t-33) - \\
 & - [3t^2 - 150t + 1827]H(t-33) \}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Графики функций $F6(t)$ и $f6(t)$, рассчитанные по (1) и (2), приведены на рис. 3.

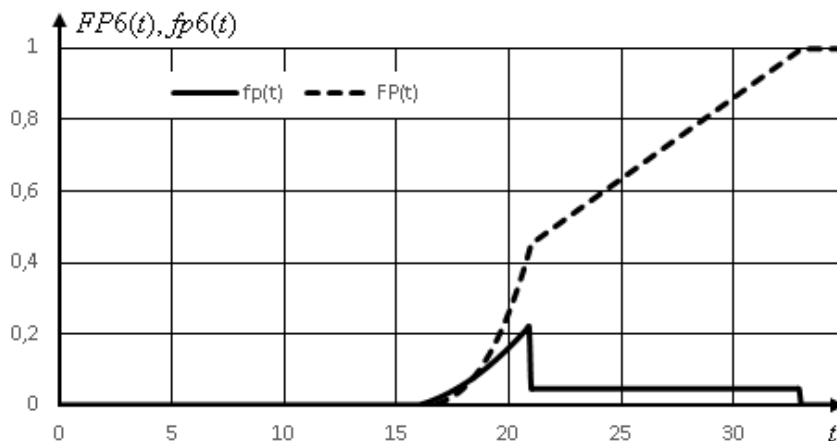


Рис. 3. Графики $fp6(t)$, $FP6(t)$ группы параллельных процессов $U_1[16; 21]$, $U_2[11; 33]$, $U_4[16; 21]$

Характеристики положения и рассеяния группы параллельных процессов:

$$m_1 = EP6 = 23,61;$$

$$DP6 = 20,886.$$

Группа параллельных процессов $U_1[16; 21]$, $U_2[11; 33]$, $U_4[16; 21]$ завершится с вероятностью 0,9 в момент $t_{0,9} = 30,8$ (0,9-квантиль). Значение $t_{0,9}$ определяется при решении уравнения $FP6(t_{0,9}) = 0,9$. Медиана той же группы $Me(t) = 22$.

Достоверность расчетов проверялась статистическим имитационным моделированием в среде AnyLogic 8.7.2. При 10 миллионах испытаний получены следующие значения: $a_m = 16$, $b_m = 33$, $EP6 = 23$, $\sigma = 4,37$ ($DP6 = 19,097$), доверительный интервал для среднего равен 0,003. Таким образом, достоверность расчета характеристик последовательности операций подтверждена.

Выводы. Методика определения продолжительности группы параллельных процессов обеспечивает точную оценку описательных статистик. С использованием методики получены вероятностные характеристики продолжительности группы параллельных процессов.

Список литературы

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. М. : Мир, 1978. 420 с.

2. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб. : Наука, 2001. 295 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 832 с.
4. Голенко-Гинзбург Д. И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками. Воронеж : Научная книга, 2010. 284 с.
5. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М. : Мир, 1967. Т. 2. 746 с.
6. Венцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. М. : Высшая школа, 2000. 480 с.
7. Майоров С. А., Новиков Г. И., Алиев Т. И. [и др.]. Основы теории вычислительных систем. М. : Высш. шк., 1978. 408 с.
8. Бутаев М. М., Тарасов А. А. Характеристики равномерно распределенных случайных значений продолжительности параллельной обработки запроса инфокоммуникационной системой // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XX Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2020. С. 8–23.
9. Бутаев М. М., Тарасов А. А. Аналитическая оценка продолжительности пути параллельной pert-сети // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 19–25.

УДК 519.727

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛЯРНОГО ФЛИППИНГ-ДЕКОДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТИЧЕСКИХ МНОЖЕСТВ

Илья Сергеевич Тимохин¹, Федор Ильич Иванов²

*^{1,2}Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия*

¹is.timokhin@hse.ru

²fivanov@hse.ru

Аннотация. Рассмотрено несколько способов построения критического множества для алгоритма полярного декодирования с бит-флип-

пингом. Нахождение оптимизаций, а также демонстрация их эффективности и есть основной результат данной работы. Численное моделирование и сравнение проведено по нескольким показателям: корректирующая способность и сложность аппаратных реализаций.

Ключевые слова: полярный код, быстрое декодирование, бит-флиппинг

OPTIMIZATION OF POLAR BIT-FLIPPING DECODING WITH DIFFERENT CRITICAL SETS

Ilya S. Timokhin¹, Fedor I. Ivanov²

^{1,2}*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

¹is.timokhin@hse.ru

²fivanov@hse.ru

Abstract. In this paper, the authors examined several methods for constructing a critical set for the polar decoding algorithm with bit flipping. Finding optimizations, as well as demonstrating their effectiveness, is the main result of this work. Numerical modeling and comparison were carried out according to several indicators: corrective ability and complexity of hardware implementations.

Keywords: polar code, fast decoding, bit-flipping

Введение

Полярные коды [1] основаны на технологии поляризации канала и могут достигать теоретической пропускной способности канала при использовании алгоритмов декодирования последовательного исключения с условием, что длина кода стремится к бесконечности. Были представлены и разработаны флиппинг-методы [2] (Successive Cancellation Flip, далее – SCF) для решения подобной проблемы. Такие методы используют то же кодовое дерево и алгоритмы, но с итеративным подходом и дополнительными попытками декодирования некоторой последовательности при незначительных изменениях битов. Открытой проблемой остается также выбор битовой последовательности, которую необходимо менять на инвертированную. Такая последовательность называется критическим множеством (Critical Set).

Полярный код может быть определен как линейный блочный код, который представлен в виде кодового дерева. Каждый бит в сообщении можно связать с подканалом и либо зафиксировать бит («заморозить» его), либо использовать бит как информационный,

если шума в канале нет. В (N, K) -коде должно быть выбрано K информационных битов и $N - K$ замороженных битов, $N = 2^n, n \geq 0$. Successive Cancellation (SC) подход [1] является базовой стратегией для полярного декодирования. Он использует жадный подход для поиска значения вектора сообщения в дереве кодирования. Предположим, что на входе декодера был получен вектор y . После рекурсивного подсчета метрик правдоподобия был получен вектор, называемый выходом логарифмического отношения правдоподобия и обозначаемый как α_0 . Каждый элемент (вес) преобразуется в ожидаемый бит сообщения из \hat{u}_0^{N-1} . SC-Flip (SCF) представляет собой обобщение SC-декодера с проверкой CRC. Этот метод параметризуется T попытками итераций для SC-декодера. Если $T > 1$ и CRC-проверка для \hat{u}_0^{N-1} не удалась, то вычисляется критическое множество \mathcal{U} . Далее необходимо вызвать SC-декодирование для вектора y и поменять значение текущего бита в критическом множестве. Такая процедура проводится до тех пор, пока не будет получен верный CRC-код или пока не будет превышено количество попыток декодирования T . Этот алгоритм имеет значительное улучшение в исправлении ошибок по сравнению с SC-декодером.

Методы построения критических множеств

Различные флиппинг-стратегии включают в себя различные методы построения критического множества, рассмотрим некоторые из них:

- Одноуровневое множество (Naive Set) [7]. \mathcal{U} состоит из T наименьших абсолютных значений метрики для выхода LLR ($|\mathcal{U}| = T$). Инвертируется только один бит за попытку, поэтому мы можем назвать множество одноуровневым;

- Критическое множество с подблоками (Subblocks Critical Set) [4]. Пусть полное бинарное полярное дерево состоит из подблоков. Пусть коды состоят из нескольких подблоков, и первый незамороженный бит каждого подблока помещается в множество \mathcal{U} . Тогда \mathcal{U} реализует инверсию подблоков как многоуровневое критическое множество.

- Эвристическое критическое множество (Heuristics Critical Set) [5]. Это простой метод генерации \mathcal{U} , основанный только на индексах информационного набора.

– Критическое множество с оракулом (Oracle Based Set) [6]. Этот метод использует некоторые дополнительные параметры, чтобы избежать ошибок и обеспечить некоторую обратную связь для обновления критического множества.

– Критическое множество максимизации вероятности (Beilef Propagation Critical Set) [3]. Этот подход основан на специальных узлах и их пересчете алгоритмом распространения доверия.

– Сегментированное критическое множество (Segmented Critical Set) [7]. Кодовое слово делится на равное количество частей, рассчитывается средняя метрика правдоподобия по каждой части, затем сортируется по убыванию. В критическое множество входят индексы с наименьшей метрикой по каждому сегменту.

Численные результаты. Сравнительный анализ

Были рассмотрены метрики по исправляющей способности (Frame Error Rate, далее – FER) и нормализованной сложности – сравнение SC-декодера (как базового решения) и других стратегий с увеличением E_b / N_0 . В данной работе используется 5G NR полярная конструкция (N, K) -кода, $R = \frac{K}{N}$.

Рассмотрена длина кода $N = 256$ с кодовым отношением $R = \frac{1}{2}$. Для модуляции полярных кодов 5G NR мы будем использовать канал AWGN с BPSK-функцией.

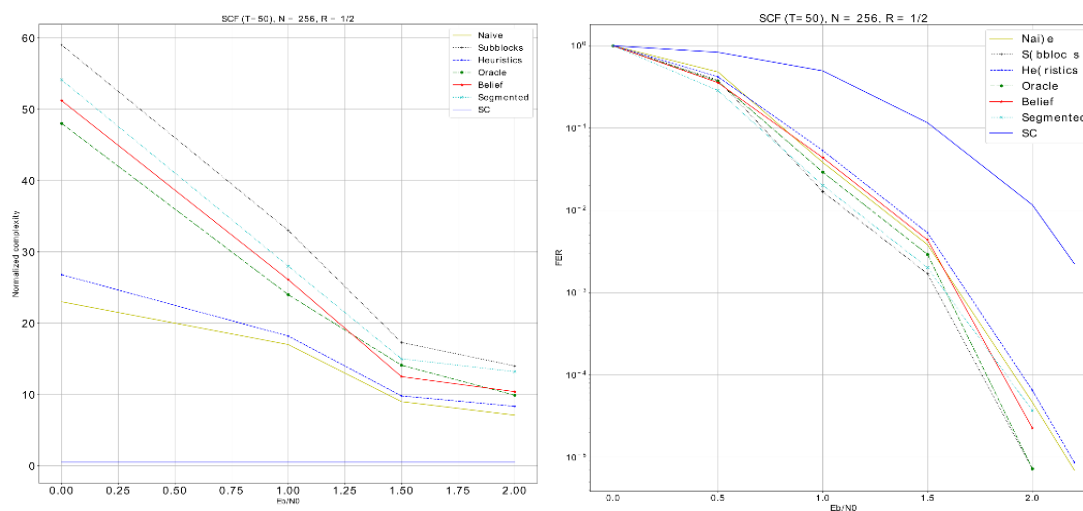


Рис. 1. Корректирующая способность (справа) и нормализованная сложность (слева) SCF-декодера при различных критических множествах

При средней длине кода эвристический метод показывает недостаточную эффективность для среднего значения FER. Это также свидетельствует о том, что данный метод плохо приспособлен к изменению числа T и, поскольку он основан только на некоторой исходной информации, недостаточно гибок для выбора необходимых индексов критического множества. Одноуровневое критическое множество исправляет больше ошибок, чем эвристика и более сложные методы (например, сегментированный) и достигает значений множества максимизации вероятности.

Также показаны значения нормализованной сложности SCF-метода при построении критических множеств. Очевидно, что одноуровневый метод является одним из наименее ресурсоемких. Множество с оракулом при низком кодовом соотношении обеспечивает хорошую вычислительную сложность. Высокие показатели производительности этого метода обеспечивают его хорошую применимость и хороший компромисс между трудоемкостью и надежностью. Остальные методы требуют точной параметризации и выбора параметров кода, но на текущем соотношении кода показатель сложности достаточно высок.

Заключение

Полярное кодирование – перспективное направление в современных коммуникациях и сетевых технологиях. Вот почему поиск стратегий быстрых и гибких методов декодирования полярных кодовых последовательностей является обширной и пока что открытой задачей для теории информации. В этой работе были рассмотрены различные подходы к построению критических множеств для полярного флиппинг-декодирования, позволяющего оптимизировать расчеты и обеспечить более высокую точность за счет использования дополнительных попыток. Практически текущие рекомендации могут быть применены для будущего тестирования на реальном оборудовании с целью повышения эффективности сетевого взаимодействия. Даже при достаточно низких затратах памяти (в случае списочного метода) или вычислительной сложности (в случае SCF) можно добиться максимальной эффективности алгоритма. В перспективе интересно увидеть, как добиться лучшей корректирующей способности, комбинируя новые критические множества (например, нейронные или древовидные) и методы декодирования.

Список литературы

1. Arikan E. Channel polarization: a method for constructing capacity achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels // *IEEE Transactions on Information Theory*. 2009. Vol. 55, № 7. P. 3051–3073.
2. Afisiadis O., Stimming A. B., Burg A. A low-complexity improved successive cancellation decoder for polar codes // *IEEE ACSSC*. Pacific Grove, 2014.
3. Yuyu Y. [et al.]. Noise-Aided Belief Propagation List Bit-Flip Decoder for Polar Codes // *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*. Nanjing, 2020. P. 807–810.
4. Zhang Z., Qin K., Zhang L. [et al.]. Progressive Bit-Flipping Decoding of Polar Codes Over Layered Critical Sets // *IEEE Globecom*. Singapore, 2017. P. 1–6.
5. Rowshan M., Viterbo E. Improved list decoding of polar codes by shifted-pruning. – Proc. // *IEEE Inf. Theory Workshop (ITW)*. Visby, 2019. P. 1–5.
6. Chandesaris L., Savin V., Declercq D. Dynamic-SCFlip Decoding of Polar Codes // *IEEE Transactions Communications*. 2018. Vol. 66, № 6. P. 2333–2345.
7. Li S., Deng Y., Gao X. [et al.]. Generalized Segmented Bit-Flipping Scheme for Successive Cancellation Decoding of Polar Codes With Cyclic Redundancy Check // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 83424–83436.

УДК 519.6

ЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

**Олег Эмануилович Яремко¹,
Андрей Игоревич Ячменев²**

*^{1,2}Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва, Россия*

¹yaremki@mail.ru

²ruestrangerisalive@mail.ru

Аннотация. Предлагается новый метод вычисления дробных интегралов и дифференциалов. В методе используется тождество, полученное в результате интегрирования по частям. Дробный интеграл и дифференциал представлен в виде суммы ряда типа Тейлора для специального класса функций. Такое представление полезно для работы с гладкими функциями и для аппроксимации дробных интегралов и производных. Аппроксимация возможна за счет потенциального уменьшения значений остатков ряда.

Ключевые слова: дробный интеграл, дробный дифференциал, аппроксимация

EFFICIENT ALGORITHMS FOR CALCULATING FRACTIONAL INTEGRATION AND DIFFERENTIATION

Oleg E. Yaremko¹, Andrey I. Yachmenev²

^{1,2}*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia*

¹yaremki@mail.ru

²ruestrangerisalive@mail.ru

Abstract. We present a new method for computing fractional integrals and differentials. The method uses the identity obtained as a result of integration by parts. The fractional integral and differential are presented as the sum of a Taylor type series for a special class of functions. This representation is useful for working with smooth functions and for approximating fractional integrals and derivatives. Approximation is possible due to the potential reduction of the values of the series residuals.

Keywords: Fractional integral, fractional differential, approximation

Дробные интегралы и дифференциалы были впервые изучены в начале 19 века математиками Лиувилем и Риманом. Позднее они были расширены рядом других ученых, в том числе Коши, Лапласом и Лебегом [1]. Использование дробных дифференциалов сейчас наблюдается в различных областях, таких как диффузия, теплопроводность, фрактальные структуры и многое другое [1]. В современном представлении дробного исчисления существует множество определений, но выделяются два основных [2, 3].

Первый, интеграл Римана-Лиувилля:

$$I^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x f(t)(x-t)^{\alpha-1} dt ,$$

и производная Римана-Лиувилля:

$$D_x^\alpha f(x) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^{[\alpha]}}{dx^{[\alpha]}} I_x^{[\alpha]-\alpha} f(x) \quad \alpha > 0 \\ f(x) \quad \alpha = 0 \\ I_x^{-\alpha} f(x) \quad \alpha < 0 \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Второй, производная Грюнвальда-Летникова [2]:

$${}^{GL}D_{a^+}^\alpha f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{k=0}^{[n]} (-1)^k \frac{\Gamma(\alpha+1) f(x-kh)}{\Gamma(k+1)\Gamma(\alpha-k+1)}, \quad nh = x-a.$$

Другие определения концептуально схожи либо с первым, либо со вторым. Особенность расчета этих подходов схожа в том, что требуется вычислять сумму всех элементов в некотором приближении, поскольку каждый из них может оказывать равное влияние на результат.

Основной результат работы заключается в доказательстве формулы для интеграла дробного порядка:

$${}_0I_x^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k x^{k+\alpha}}{k!(k+\alpha)} \frac{d^k}{dx^k} f(x). \quad (2)$$

Наметим доказательство. Для случая целых значений α формула доказывается интегрированием по частям. Дробный случай получается методом аналитического продолжения по переменной α . Далее, используя определение (1), можно получить формулы для производной дробного порядка

$${}_0D_x^\alpha f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{\alpha}{k} \frac{x^{k-\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} \frac{d^k}{dx^k} f(x). \quad (3)$$

Заметим, что эта формула справедлива для любого комплексного α . Формула (3) позволяет получить новые тождества. Например, найдено правило вычисления производной произведения двух функций:

$$\begin{aligned}
{}_0D_x^\alpha (f(x)g(x)) &= \sum_{k=0}^{\infty} \binom{\alpha}{k} \frac{x^{k-\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} \frac{d^k}{dx^k} [f(x)g(x)] = \\
&= \sum_{k=0}^{\infty} \binom{\alpha}{k} \frac{x^{k-\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} \sum_{h=0}^k \binom{k}{h} \frac{d^h}{dx^h} f(x) \frac{d^{k-h}}{dx^{k-h}} g(x) = \\
&= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\alpha)^k x^{k+\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} \sum_{h=0}^k \frac{1}{h!} \frac{d^h}{dx^h} f(x) \frac{1}{(k-h)!} \frac{d^{k-h}}{dx^{k-h}} g(x) = \\
&= \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(\pi\alpha - \pi k) x^{k+\alpha}}{(\alpha-k)} \sum_{h=0}^k \frac{1}{h!} \frac{d^h}{dx^h} f(x) \frac{1}{(k-h)!} \frac{d^{k-h}}{dx^{k-h}} g(x).
\end{aligned}$$

Новые формулы обладают рядом отличительных особенностей, делающих их более практичным для применения по сравнению известными. Во-первых, их структура аналогична ряду Тейлора, что приводит к уменьшению каждого последующего элемента, уменьшающегося обратно пропорционально факториалу при численном расчете. Во-вторых, они не требуют специальных алгоритмов расширения на набор комплексных чисел. Используя уравнение (3), можно разработать алгоритм приближенного расчета. Алгоритм представлен на языке Wolfram Mathematica:

```

FractDiff[pow_, f_, t_, noo_]:
= Sum[Binomial[pow, k]
* t^(k - pow)/Gamma[k + 1 - pow]
* D[f, {t, k}], {k, 0, noo}]

```

Функция принимает на вход 4 аргумента:

1. pow (power) – порядок оператора дифференцирования.
2. f (function) – функция, к которой применяется оператор.
3. t – переменная, по которой производятся вычисления.
4. noo (Number of Operations) – количество операций, определяющих точность вычислений.

Реализация в Wolfram Mathematica будет полезна для научных расчетов. Однако для использования в крупных проектах реализация на C++ может оказаться более практичной. Уравнение (2) будет использоваться для вычисления целочисленной степени производной функции в C++. При сочетании этих подходов, хотя и с несколько увеличенными временными затратами, точность расчетов существенно возрастает.

Для этого понадобятся вспомогательные функции, которых нет в стандартных библиотеках:

1. Binomiald – функция, вычисляющая биномиальный коэффициент, способная вычислять нецелые значения.

```
double binomiald(double k, int
a) noexcept
{
    double b = 1.0;
    double k2 = k + 1.0;
    double p = 1.0;
    for (int c = 1; c <= a; ++c)
    {
        b *= k2 / p - 1.0;
        p += 1.0;
    }
    return b;
}
```

2. Производная Грюнвальда-Летникова (double GL) см. [4]

```
double GL_righthand_derivative(std::function<double(double)> f, double pow, double point, unsigned long N) noexcept
{
    const double h = point / N;
    double sign = 1.0;
    double sum = 0;
    const double correction = pow * h / 2.0;
    double pointshift = point - correction - h;
    for (size_t k = 0; k < N; k++)//gofor(k, range(0, N))
    {
        sum += sign * binomiald(pow, k) * f(pointshift += h);
        sign *= -1.0;
    }
    return sum * std::pow(-1.0/h,pow);
}
```

3. Приближенный расчет дифференциала порядка «pow» функции

```
double N_derivative(std::function<double(double)> f, double
pow, double point, unsigned long N) noexcept
{
```

```

double sum = 0;
for (size_t k = 0; k < N; k++)//gofor(k, range(0, N))
{
    sum += binomiald(pow, k) / std::exp(std::lgamma(k - pow
+ 1)) * std::pow(point, k - pow) * GL_righthand_derivative(f, k,
point, N);
}
return sum;
}

```

Пример. Вычислить производную дробного порядка $D^{1/3}(x^2)$. Точный ответ будет $\frac{\Gamma(3)}{\Gamma(8/3)}x^{5/3}$.

Таблица 1

Сравнение точности алгоритмов расчета дробной производной

Точка x	Точный ответ	GL (9 итерацией)	Новый алгоритм (3 итерации)
0.2	0.09092137736013944	0.09093970043565745	0.09092137736013943
0.4	0.288657380135766	0.2887155522744711	0.288657380135766
0.6	0.5673722586492711	0.5674865992481914	0.5673722586492709
0.8	0.9164300577717989	0.9166147428001502	0.9164300577717989
1.0	1.329278600918967	1.329546485908133	1.329278600918967
1.2	1.801294640474853	1.801657649248871	1.801294640474852
1.4	2.328963807359781	2.329433155503858	2.328963807359781
1.6	2.909484075524463	2.910070413941038	2.909484075524462
1.8	3.540545570594309	3.541259084684707	3.540545570594309

Список литературы

1. Zenyuk D. A., Orlov Yu. N. About application fractional Riemann-Liouville calculus for describing probability distributions // IPM preprints im. M. V. Keldysh. 2014. № 18. 21 p.
2. de Oliveira E. C., Machado J. A. T. A Review of Definitions for Fractional Derivatives and Integral // Mathematical Problems in Engineering, 2014. Vol. 2014. 6 p.
3. Madan S. Some G Pólya gems from complex analysis // Resonance. 2014. Vol. 19. P. 323–337.
4. Persechino A. An introduction to fractional calculus. Numerical methods and application to HF dielectric response // Smart Materials and Structures. 2020. Vol. 9, № 1.

2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

УДК 303.732.4

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА POINTNET НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Дмитрий Андреевич Гура

*Кубанский государственный технологический университет,
Краснодар, Россия
Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия
gda-kuban@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрена сверточная нейросетевая модель PointNet, проведен анализ математических операций данной модели и выполнено тестирование прогнозной работы модели с данными в виде набора трехмерных облаков точек. Проведен анализ точности работы модели, выведены отличия использования нейросетевой реализации PointNet и реализации в виде модели машинного обучения.

Ключевые слова: нейросетевая модель, сверточная нейросеть, классификация, прогноз, облако точек, PointNet

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/22.16.

IMPLEMENTATION OF THE POINT NET ALGORITHM ON GPUS USING PARALLEL COMPUTING

Dmitriy A. Gura

*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia
gda-kuban@mail.ru*

Abstract. In this paper, the convolutional neural network model Pointnet is considered, the mathematical operations of this model are analyzed and the predictive operation of the model with data in the form of a set of three-dimensional

point clouds is tested. The analysis of the accuracy of the model is carried out, the differences between the use of the neural network implementation of PointNet and the implementation in the form of a machine learning model are derived.

Keywords: neural network model, convolutional neural network, classification, forecast, point cloud, PointNet

Financing: the study was carried out with financial support from the Kuban Science Foundation within the framework of the scientific and innovative project No NIP-20.1/22.16.

Введение

В последнее время алгоритм PointNet привлекает все большее внимание в области компьютерного зрения и машинного обучения [1]. Он позволяет работать с облаками точек нейросетевыми методами, что в свою очередь дает возможность не извлекать параметры для обучения модели вручную. Это решает проблему неизвестных факторов формирования модели, повышая качество результата прогнозирования [2]. Однако, обработка облаков точек является достаточно трудоемкой задачей, требующей высокой производительности вычислений. В данной работе представлена эффективная реализация алгоритма PointNet на графических процессорах с использованием параллельных вычислений.

«Несмотря на существование множества различных методов и моделей машинного обучения и компьютерного зрения, их главным принципом работы является весовой факторный анализ, а результатом математических вычислений является последовательно генерируемое путем выборки нескольких точек по критерию наименьшего расстояния облако точек» [3, 4]. Поскольку факторный анализ плохо обрабатывает аномалии данных, было проанализировано несколько альтернативных вариантов моделей с имплементированной в них адаптивной настройкой весов факторов и параметров алгоритма.

«Альтернативные глубокие нейронные сети, разработанные для факторного анализа, подходящие для решения поставленной задачи: VoxNet, ShapeNet, DeepPano и OctNet. Эти сверточные модели можно комбинировать с Pointnet, применяя их для обучения модели. Все вышеперечисленные сети проецируют трехмерный факторный анализ на более упрощенные участки данных (такие как представления октодеревьев, двумерных проекций изображений, и данных дискретных множеств)» [5], и эта проекция, в свою

очередь, создает точечные представления по содержимому участка данных. Все это приводит к проблеме отсутствия точного результата работы для каждой точки воссоздаваемого пространства и несоответствия стыков данных разных подгрупп точек (различные z координаты на стыках участков) [6]. Исходя из данных утверждений можно сделать вывод, что вышеперечисленные модели лучше применять для построения облака точек небольших объектов с законченной формой. PointNet же лишен данной проблемы, и исходя из этого принято решение о его использовании для выполнения поставленной задачи.

Метод

«Алгоритм PointNet основан на использовании сверточной нейронной сети, которая работает непосредственно с облаками точек без использования вокселизации или рендеринга» [1, 2]. Она состоит из двух основных блоков: блока преобразования и блока распознавания. Блок преобразования преобразует каждую точку в новое пространство признаков, а блок распознавания использует эти признаки для классификации или сегментации точечного облака. Полная схема блока распознавания модели PointNet представлена на рис. 1.

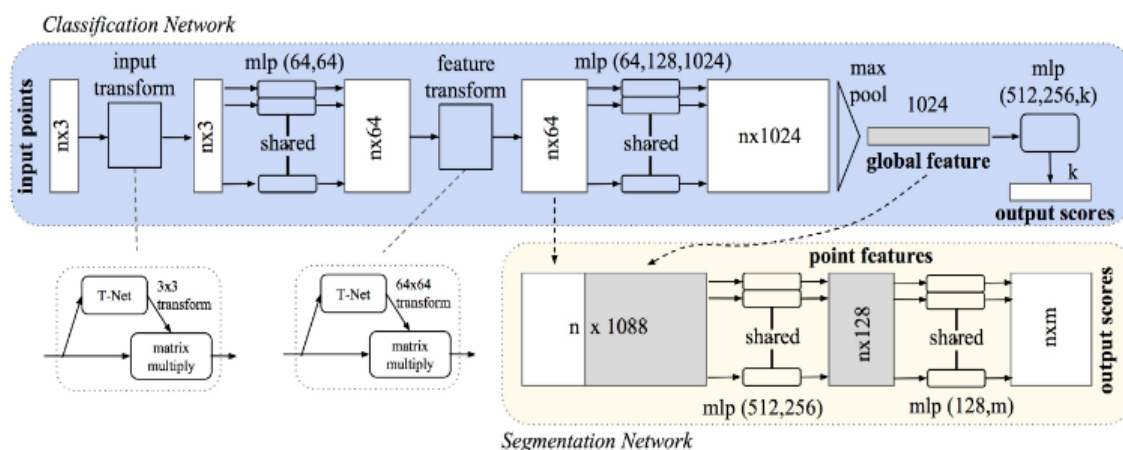


Рис. 1. Схема блока распознавания модели PointNet

Блок преобразования состоит из нескольких полносвязных слоев и слоя свертки на графе связности точек, который позволяет получить глобальную информацию о точечном облаке. Формула преобразования для каждой точки выглядит следующим образом:

$$f_i = \max_j = 1_n hw(x_i, x_j - x_i), \quad (1)$$

где x_i – i -я точка; x_j – j -я точка в облаке; hw – функция полносвязного слоя; w – параметры полносвязного слоя.

Блок распознавания работает с признаками, полученными на выходе блока преобразования. Он состоит из нескольких полносвязных слоев, которые принимают признаки каждой точки и генерируют выходное значение для точечного облака в целом. Формула распознавания для классификации точечного облака выглядит следующим образом:

$$y = \text{softmax}\left(MLP_W\left(\max_i=1_n(f_i)\right)\right), \quad (2)$$

где softmax – полносвязный слой; W – его параметры; y – функция активации, применяемая для генерации вероятностей классов; f_i – признаки для i -й точки в облаке, полученные на выходе блока преобразования.

Сверточная нейросетевая модель позволяет изменить набор признаков, используемых при прогнозировании. Признаки определяются автоматически, но в рамках исследования для повышения быстродействия количество отдельных признаков было ограничено. В итоге нейросетевая модель PointNet автоматически определила веса каждого из признаков по формуле:

$$W_i = \text{maxpooling}(h_i), \quad (3)$$

где W_i – вес признака (фактора); h_i – элемент вектора признаков maxpooling – функция агрегации до максимума.

Использование весов в модели позволяет изменять «важность» признаков, что изменяет влияние каждого из признаков на результат работы модели. По своей сути вес признака – видоизмененное процентное влияние признака на результат работы модели. Модели машинного обучения определяют веса как свободные члены функции восстановления зависимостей, в то время как нейросетевая модель может использовать веса как отдельные факторы модели.

Эксперименты

Для оценки точности работы алгоритма PointNet был проведен эксперимент по построению модели поверхности при помощи нейросетевой модели с автоматически определенными параметрами [7]. В рамках такого эксперимента представляется возмож-

ность провести оценку результатов работы модели на признаках, отличных от тех, которые видны человеческому восприятию действительности, что в корне изменяет результат работы прогнозирующей модели и подтверждает различие между прогнозированием при помощи машинного обучения и нейросетевых методов [8].

В качестве ориентира для оценки точности работы модели всегда должен выступать набор фактических данных, причем обязательным условием является то, что модель не должна была учиться на этом наборе данных [9]. На рис. 2 представлен набор фактических данных о поверхности, выраженный в виде облака точек и проведенный через блок сегментации модели PointNet.

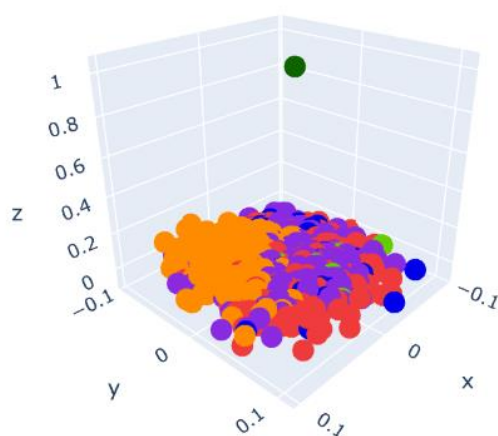


Рис. 2. Фактические данные

Далее на обученной модели вызовем прогноз этого же участка облака точек. Результат представлен на рис. 3.

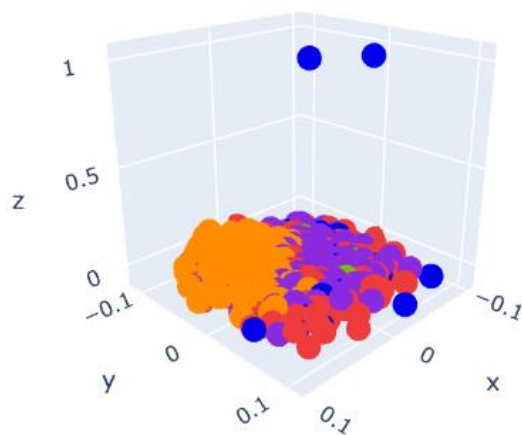


Рис. 3. Спрогнозированные данные

Как видно из рис. 2 и 3, сильных отличий между фактом и прогнозом визуально нет. Более точной оценкой результата прогноза послужит оценка расстояния между спрогнозированными и фактическими точками, выраженная в виде процентного соотношения приближения между двумя соответствующими точками. В рамках данной работы точность прогноза PointNet составила приблизительно 76 %, что является относительно высоким результатом.

Для оценки эффективности реализации алгоритма PointNet был проведен ряд тестов с настройками использования памяти центрального процессора и видеопроцессора. По итогам тестирования было выявлено, что работа модели на графической карте памяти по своей скорости в среднем в 10 раз превышает скорость работы при использовании ЦПУ.

Заключение

Представлена эффективная реализация алгоритма PointNet на графических процессорах с использованием параллельных вычислений и на центральном процессоре. Эта реализация позволяет работать с облаками точек непосредственно, без необходимости извлекать признаки вручную, при этом обеспечивая высокую производительность вычислений. Использование нейросетевой модели изменяет основные факторы прогнозирования и дает результат отличный от использования моделей машинного обучения с заранее определенными факторами. При тестировании модель показала хороший результат оценки точности прогнозирования при сравнении с фактическими данными без обучения на этом тестовом наборе, что говорит о том, что обученная модель хорошо справляется с прогнозом ранее неизвестных ей поверхностей облака точек.

Список литературы

1. Gao L., Lai Y.-K., Li Ch. [et. al.]. Yun-Peng XiaoFang-Lue Zhang A survey on deep geometry learning: from a representation perspective // Computational Visual Media. 2020. Vol. 6, № 2. P. 113–133. doi: 10.1007/s41095-020-0174-8
2. Mahdavi M., F. Fooladgar, Kasaei S. Pointwise Attention-Based Atrous Convolutional Neural Networks, 2019, arXiv:1912.12082
3. Jones T. R., Durand F., Zwicker M. Normal improvement for point rendering // IEEE Comput Graph. 2004. № 24 (4). P. 53–56.

4. Huang H., Li D., Zhang H. [et al.]. Consolidation of unorganized point clouds for surface reconstruction. ACM Transactions on Graphics. 2009. № 28 (5). 176 p.

5. Maturana D., Scherer S. Voxnet: a 3D convolutional neural network for real-time object recognition // Proceedings IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. Hamburg, 2015. P. 922–928.

6. Гура Д. А. Особенности применения нейронной сети PointNet для анализа точек лазерного отражения // Актуальные проблемы применения цифровых технологий при работе с пространственными данными : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 28–31.

7. Гура Д. А., Дьяченко Р. А., Андриющенко А. В., Арутюнян В. А. К вопросу выделения уровня земли из облака точек с применением современного специализированного программного обеспечения // Научные труды КубГТУ. 2023. № 3. С. 106–119.

8. Лаптев В. Н., Сопильняк Ю. Н., Дьяченко Р. А., Багдасарян Р. Х. К вопросу повышения надежности систем сбора и хранения хронологических данных // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 101. С. 2412–2426.

9. Дьяченко Р. А., Борисов С. Н. О возможности использования API геоинформационных систем // Научные чтения имени профессора Н. Е. Жуковского : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2018. С. 299–302.

УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРА

**Никита Андреевич Киреев¹,
Арина Дмитриевна Кильчанова²**

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹kireevn357@gmail.com

²kilarin0309@gmail.com

Аннотация. Проведено исследование, направленное на создание модели классификации активности человека на основе данных акселерометра. В ходе исследования была подробно изучена применяемая методология, основанная на использовании сверточных нейронных сетей (CNN). Этот

процесс включал в себя анализ шагов предварительной обработки данных, разработку оптимальной структуры CNN и проведение экспериментов для оценки эффективности полученной модели. Основная цель работы заключалась в точной классификации активности человека для пяти различных классов активности.

Ключевые слова: акселерометр, машинное обучение, сверточная нейронная сеть, физическая активность, классификация, CNN, матрица ошибок

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO CLASSIFY HUMAN ACTIVITY BASED ON ACCELEROMETER DATA

Nikita A. Kireev¹, Arina D. Kilchanova²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹kireevn357@gmail.com

²3kilarin0309@gmail.com

Abstract. This article conducted a study aimed at creating a human activity classification model based on accelerometer data. The study examined in detail the methodology used, based on the use of convolutional neural networks (CNN). This process included analyzing data preprocessing steps, designing an optimal CNN structure, and conducting experiments to evaluate the performance of the resulting model. The main goal of the work was to accurately classify human activity into five different activity classes.

Keywords: accelerometer, machine learning, convolutional neural network, activity indicator, classification, CNN, error matrix

Сбор данных акселерометра с целью мониторинга и классификации физической активности человека стал актуальным в различных сферах, от медицины до фитнеса и виртуальной реальности [1]. Однако точная классификация различных активностей человека на пять классов, представляет собой сложную задачу из-за разнообразия движений и условий.

Для решения этой задачи необходимо выполнить следующие шаги:

– подготовка данных: начальным этапом методологии является сбор и предварительная обработка данных. Это включает в себя снятие шума, нормализацию и разбиение данных на тренировочный, валидационный и тестовый наборы. Также была проведена аугментация данных для увеличения разнообразия обучающей выборки [2].

– определение архитектуры сверточной нейронной сети (CNN): разработана сверточная нейронная сеть с несколькими сверточными слоями: слоями пулинга и полносвязными слоями. Это позволяет извлекать пространственные и временные признаки из данных акселерометра. Были проведены эксперименты с разными архитектурными конфигурациями, включая разное число слоев и размеры фильтров.

– обучение и оценку модели: в качестве функции потерь используются категориальная кросс-энтропия и оптимизатор SGD. Модель обучается на тренировочных данных с использованием техники обратного распространения ошибки. После обучения проводилась оценка производительности модели на валидационном и тестовом наборах данных с анализом метрик: точности, полноты, F1-меры и матрицы ошибок. После настройки гиперпараметров модель проверяется на тестовом наборе данных для окончательной оценки ее производительности [3, 4].

Проведенные эксперименты показали (рис. 1), что CNN-модель успешно классифицирует активность человека для пяти классов активности. Модель достигает точности около 85 % на тестовых данных, что подтверждает ее эффективность. Матрица ошибок также демонстрирует способность модели различать разные активности с высокой точностью.

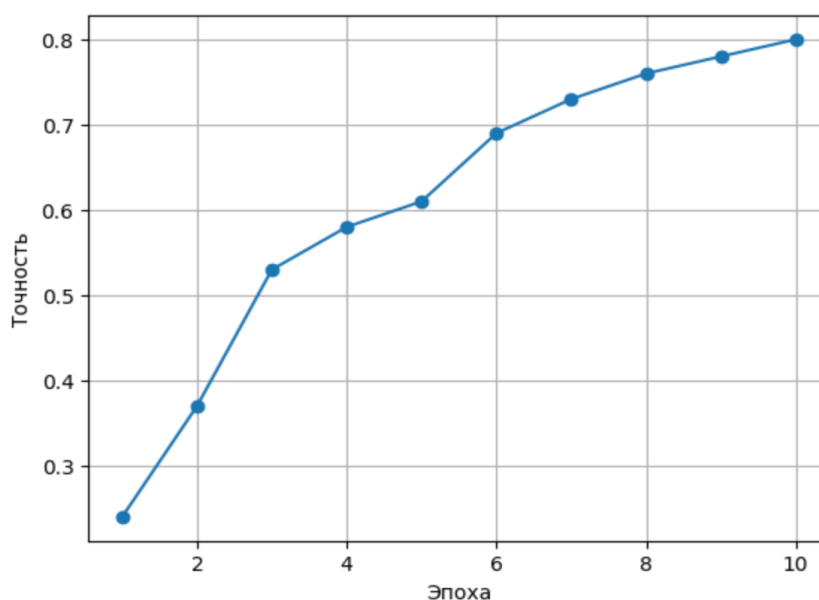


Рис. 1. График точности нейронной сети на разных эпохах обучения

Таким образом, представлены результаты применения сверточных нейронных сетей для классификации активности человека

на основе данных акселерометра для пяти классов активности. Полученные результаты подтверждают высокую производительность CNN-моделей в этой задаче. Этот подход имеет потенциал для реализации в широком спектре практических приложений, включая здравоохранение, фитнес и управление виртуальной реальностью. Дальнейшие исследования могут включать в себя оптимизацию архитектуры сети и расширение наборов данных для повышения обобщенности модели [5].

Список литературы

1. Кузьмин А. В., Иващенко А. В., Рябова Е. П. Биомедицинские применения акселерометров: общие направления и публикационные тренды // Медицинская техника. 2023. № 4. С. 52–55.
2. Ravi D., Wong C., Lo B., Yang G. Z. Deep Learning for Human Activity Recognition: A Resource-Efficient Implementation // 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). San Francisco, 2017.
3. Ordóñez F. J., Roggen D. Deep Convolutional and LSTM Recurrent Neural Networks for Multimodal Wearable Activity Recognition // Sensors. 2016. № 16 (1). P. 115.
4. Ronao C. A., Cho S. B. Human activity recognition with smartphone sensors using deep learning neural networks // Expert Systems with Applications. 2016. № 59. P. 235–244.
5. Wang W., Li J., Liu J., Liang Y. Human Activity Recognition Based on Convolutional Neural Networks // 24th International Conference on Pattern Recognition. Beijing, 2018.

УДК 623.094

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗРЫВА ОТ ЦЕЛИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ, ПЕРЕДАВАЕМОГО С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Михаил Юрьевич Комаров¹, Евгений Романович Тарас²,
Максим Михайлович Мягков³, Георгий Александрович Сандлер⁴**

*^{1,2,3,4}Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия*

¹komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Аннотация. Разработана методика измерения отклонений разрыва снаряда от цели на основе анализа видеоизображения, передаваемого с беспилотного летательного аппарата. Экспериментально показано, что данная методика позволяет сократить время и повысить точность измерения отклонения разрыва снаряда от цели.

Ключевые слова: нейронная сеть, анализ видеоизображения, беспилотный летательный аппарат

THE METHOD OF MEASURING THE DEVIATIONS OF THE GAP FROM THE TARGET BASED ON THE ANALYSIS OF THE VIDEO IMAGE TRANSMITTED FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Mikhail Y. Komarov¹, Evgeniy R. Taras²,
Maxim M. Myagkov³, Georgiy A. Sandler⁴

^{1,2,3,4}*Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

¹komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Abstract. A technique has been developed for measuring the deviations of a projectile rupture from a target based on the analysis of a video image transmitted from an unmanned aerial vehicle. It has been experimentally shown that this technique allows to reduce the time and improve the accuracy of measuring the deflection of the projectile rupture from the target.

Keywords: neural network, video image analysis, unmanned aerial vehicle

На сегодняшний день в зоне проведения специальной военной операции (СВО) артиллерийские подразделения решают большой объем задач по поражению различных целей. Для успешного выполнения поставленных задач одним из основных факторов является пристрелка [1]. Анализ тенденций показывает, что в настоящее время одними из наиболее применяемых и перспективных способов пристрелки, и воздушной разведки является использование комплексов воздушной разведки, с применением различных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Главным достоинством БПЛА является возможность ведения воздушной разведки с максимальной скрытностью, что позволяет значительно эффективнее производить разведку. Например, уже существующие мульти-

коптеры (БПЛА), имеющие бортовую видеокамеру и наземный пульт управления с вычислительной системой, с помощью которой определяют масштаб видеоизображения, учитываемый при расчете корректирующих поправок. Также с помощью бортовых систем спутниковой навигации и угловой ориентации обеспечивают зависание мультикоптера (квадрокоптера) с видеокамерой в конкретном положении на требуемой высоте над целью с заданными плановыми координатами. Все это приводит к уменьшению ошибок корректировки стрельбы артиллерии в бою, однако оператор должен самостоятельно определять точку разрыва и проводить измерения в программном обеспечении, что вносит дополнительные ошибки, например, при сильном боковом ветре происходит снос облака взрыва, а в момент разрыва точку на экране оператор не всегда может точно определить.

Таким образом, поиск новых методов определения отклонений разрыва снаряда от цели является интересной и актуальной задачей. Одним из методов является измерение линейных величин на основе анализа видеоизображений.

Для исследования возможности применения в БПЛА данной системы был проведен расчет теоретически возможной точности определения угла данной системой. Суть расчетов сводилась в определении минимального угла, который будет занимать размер одного пикселя матрицы телевизионного канала. Расчетная схема показана на рис. 1.

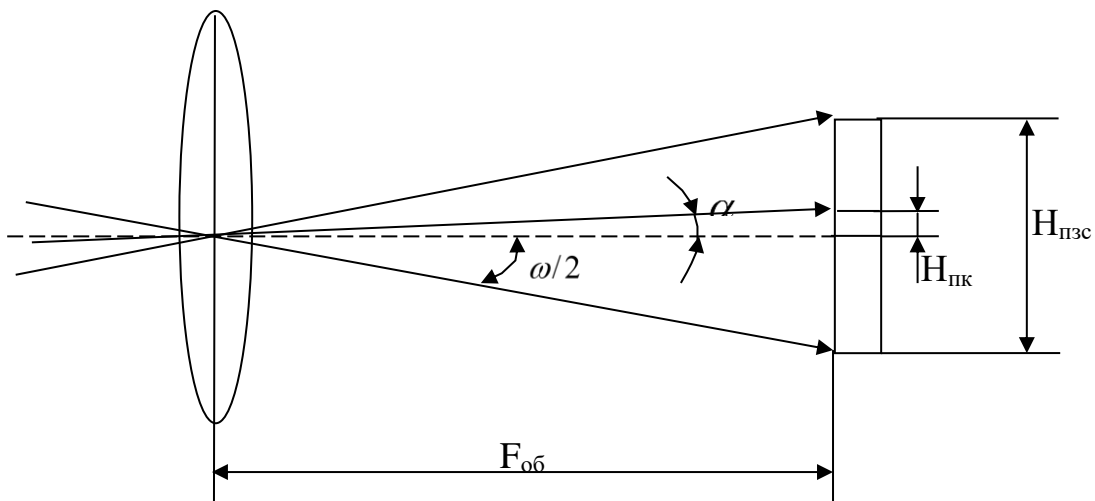


Рис. 1. Расчетная схема определение чувствительности видеокамер

В качестве канала телевизионного наблюдения использовались возможности цифровых фотокамер Canon (камера № 1 и камера № 2). Исходные данные были выбраны исходя из характеристик данных фотокамер:

1. Требуемая точность наводки α не менее 0–00,5 д.у.
2. Фокусное расстояние объектива $F_{об}$. Для видеокамеры № 1 при увеличении 1 крат $F_{об} = 5,8$ мм, при увеличении 4 крат $F_{об} = 23,2$ мм. Для видеокамеры № 2 при увеличении 1 крат $F_{об} = 6,0$ мм и при увеличении 10 крат $F_{об} = 60$ мм.
3. $H_{пзс}$ – «физический» размер ПЗС матрицы, для выбранных фотокамер равен 4,3 мм на 5,8 мм (по вертикали и горизонтали).
4. Формат видеоизображения 640 пк на 480 пк.
5. $H_{пк}$ – «физический» размер 1-го пикселя ПЗС матрицы равен 0,0089 мм. Из-за отсутствия данных определялся как среднее значение при делении физического размера матрицы на количество пикселей в формате видеоизображения (по вертикали и горизонтали соответственно) [2].

В связи с тем, что некоторые данные были взяты из сети Internet, было проведено экспериментальное определение величины фокусного расстояния ($F_{об}$) объективов исследуемых камер, для сравнения с данными из Internet источников. Для этого опытным путем была определена величина угла поля зрения ω камер № 1 на увеличении 4 крат, а затем расчетным путем найдено фокусное расстояние объектива.

Для этого камера устанавливалась на юстировочный гониометр (точность определения угла 0–00,25 делений угломера), проводилось горизонтирование гониометра и камеры. После этого на местности выбирался удаленный ориентир, по которому проводилось определение величины поля зрения в горизонтальной плоскости в следующей последовательности:

- навести и сфокусировать камеру на выбранный ориентир;
- перемещая поворотный столик гониометра подвести левый (правый) срез поля зрения на ориентир, снять отчет с юстировочного гониометра, подвести правый (левый) срез поля зрения, путем разворота поворотного столика гониометра и снять второй отчет.

– вычислить разность отсчетов, которая даст величину ω поля зрения прибора.

Зная физический размер ПЗС матрицы можно определить фокусное расстояние объектива $F_{об}$:

$$F_{об} = \frac{H_{нзс}}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\omega}{2}\right)}. \quad (1)$$

В табл. 1 представлены результаты определения величины поля зрения.

Таблица 1

**Результаты определения величины поля зрения
и фокусного расстояния**

Тип видеокамеры	Увеличение, крат	Поле зрения ω , град.	Расчетное значение фокусного расстояния $F_{об}$, мм	Значение фокусного расстояния, указанное в технической документации F_T , мм
№ 1	4	14,605 $\pm 0,026$	23 мм	23,3 мм

Анализ полученных результатов говорит о достоверности представленных в сети интернет данных и возможности их использования при определении чувствительности исследуемых видеокамер.

Минимальный угол α , который сможет распознать ПЗС матрица, может быть найден по выражению $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{H_{нк}}{F_{об}}\right)$, результаты расчетов теоретической чувствительности видеокамер № 1 и № 2 при различных значениях фокусного расстояния, представлены в табл. 2.

Расчет линейной величины отклонения разрыва снаряда от цели производится по следующим исходным данным: высота квадрокоптера, угол поворота его камеры и минимальный угловой размер одного пикселя, который рассчитывался по параметрам оптической системы, таким как фокусное расстояние и размеры ПЗС матрицы (рис. 2).

**Результаты определения величины поля зрения
и фокусного расстояния**

Тип видеокамеры	Увеличение, крат	Фокусное расстояние $F_{об}$, мм	Расчетное значение минимального угла α , град
№ 1	1	5,8	0,088
	2	11,6	0,044
	3	17,4	0,029
	4	23,2	0,022
№ 2	1	6	0,085
	2	12	0,042
	3	18	0,028
	4	24	0,021
	5	30	0,017
	6	36	0,014
	7	42	0,012
	8	48	0,011
	9	54	0,009
	10	60	0,008

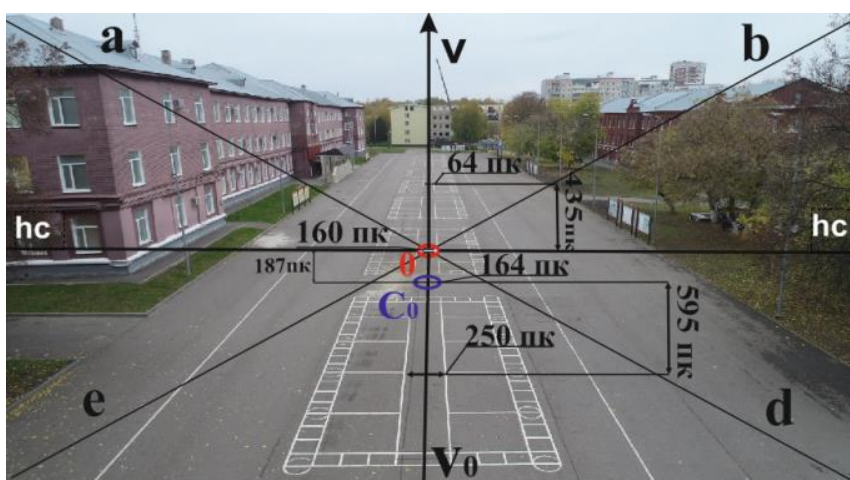


Рис. 2. Измерение линейной величины на примере строевого плаца

Следующим вопросом для обеспечения более качественного измерения отклонения является определение точки разрыва ряда. Таким образом, можно выделить основные методы для решения задачи распознавания объектов:

1. Методы, основанные на шаблонах.
2. Методы с использованием контурных моделей.

3. Нейросетевые методы.
4. Метод Виолы-Джонса.
5. Метод опорных векторов.

Наиболее подходящим методом для решения задачи является нейросетевой метод (рис. 3). Искусственные нейронные сети являются одним из методов реализации искусственного интеллекта, так как искусственная нейронная сеть – это алгоритм, который хоть и примитивно имитирует работу мозга живых существ. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются [3]. Возможность обучения – одно из главных преимуществ искусственных нейронных сетей перед классическими линейными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов (весов) связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять комплексные зависимости между входными данными (Input) и выходными (Output), а также выполнять обобщение. Это означает, что в случае успешного обучения, нейронная сеть сможет дать верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или искаженных данных.

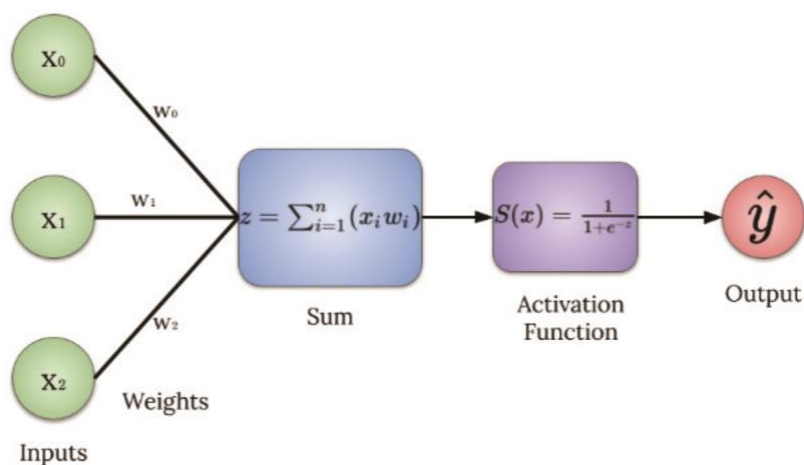


Рис. 3. Простая модель искусственного нейрона

Таким образом, в результате анализа применения данной методики при решении задач по пристрелке цели с применением комплексов воздушной разведки можно сделать следующие выводы:

1. Сокращается время измерения отклонения снаряда от цели и расчета корректур в установки для стрельбы.

2. Уменьшение ошибок корректировки стрельбы артиллерии в результате более точного определения отклонения.

3. Точность определения точки разрыва снаряда на экране пульта управления.

4. Применение данной методики сократит расход боеприпасов, назначенных для пристрелки цели.

Список литературы

1. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии (ПСИУО-2020) дивизион, батарея, взвод, орудие. М., 2001. Ч. 1.

2. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Скрипаль А. В., Абрамов А. В. Видеотехнологии автоматизированного контроля : учеб. пособие для студентов физического факультета. Саратов : Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, 2010.

3. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и их приложения : учеб. пособие. Казань : Изд-во Казанского университета, 2018.

УДК 621.391

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАПОЛНЕННОСТИ СТАЛИ В СТАЛЬКОВШЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Павел Алексеевич Коротнев¹, Андрей Леонидович Приоров²,
Александр Николаевич Ганин³, Денис Борисович Волков⁴,
Роман Игоревич Соргин⁵**

^{2,5}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,

г. Ярославль, Россия

^{1,3,4}ООО «Точка зрения»,

г. Ярославль, Россия

¹korotnev@tochka.ai

²andcat@yandex.ru

³ganin@tochka.ai

⁴volkov@tochka.ai

⁵roman@sorgin.ru

Аннотация. Целью исследования является определение уровня заполненности ковша сталью в технологических процессах металлургического производства. Разработан алгоритм сегментации поверхности стали в ковше с использованием методов глубокого машинного обучения. Для сегментации изображения была использована архитектура нейронной сети BiSeNet V2. Результаты тестирования показали практическую применимость предложенного подхода, продемонстрировав высокую точность определения уровня заполненности ковша сталью.

Ключевые слова: глубокое обучение, нейронные сети, компьютерное зрение, металлургическое производство, сегментация изображения

Финансирование: исследование выполнено за счет средств Программы развития ЯрГУ до 2030 г., проект СП-01/2021 «Разработка алгоритмов технического зрения и искусственного интеллекта для создания цифровых двойников технологических линий металлургического предприятия».

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF STEEL FILLING IN A STEEL LINE BASED ON IMAGE SEGMENTATION ALGORITHM

Pavel A. Korotnev¹, Andrey L. Priorov², Alexander N. Ganin³, Denis B. Volkov⁴, Roman I. Sorgin⁵

^{2,5}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

^{1,3,4}Limited Liability Company "Point of View", Yaroslavl, Russia

¹korotnev@tochka.ai

²andcat@yandex.ru

³ganin@tochka.ai

⁴volkov@tochka.ai

⁵roman@sorgin.ru

Abstract. The purpose of the study is to determine the level of ladle filling with steel in technological processes of metallurgical production. An algorithm has been developed for segmenting the surface of steel in a ladle using deep machine learning methods. For image segmentation, the BiSeNet V2 neural network architecture was used. Test results showed the practical applicability of the proposed approach, demonstrating high accuracy in determining the level of steel filling of the ladle.

Keywords: deep learning, neural networks, computer vision, metallurgical production, image segmentation

Financing: the research was carried out at the expense of the YarSU Development Program until 2030, project SP-01/2021 “Development of technical vision and artificial intelligence algorithms for creating digital twins of technological lines of a metallurgical enterprise”.

В рамках поставленной задачи на металлургическом производстве существует проблема отсутствия контроля над заполне-

нием расплавленной сталью ковша. По мере эксплуатации ковша, его внутренняя обкладка из огнеупорного кирпича изнашивается и становится тоньше, тем самым увеличивая объем самого ковша. При постоянстве вливаемого в ковш объема расплава, уровень заполненности ковша постепенно падает, сигнализируя о необходимости проведения ремонтных работ над ковшом. Пока же уровень износа кирпичной кладки не достиг критической отметки, имеется возможность заливать в ковш дополнительный объем расплава, держа постоянно высокий уровень заполнения ковша [1, 2].

Целью поставленной задачи является оценка уровня заполненности ковша. Автоматизированное измерение позволит заполнять ковш оптимальным количеством стали, а также контролировать уровень его износа. Для решения задачи были записаны фотоматериалы с установленной на производстве зафиксированной IP-камеры. Получаемые изображения имеют разрешение 2560x2560 пикселей. Из исходных изображений в полном разрешении были вырезаны квадратные фрагменты со стороной в 1024 пикселя (16 изображений на 1 исходное при шаге скользящего окна 512 пикселей). Для каждого такого изображения были получены координаты объектов на нем из файлов с разметкой LabelMe. На основе этих координат были получены изображения-маски для каждого вырезанного квадратного изображения (рис. 1).

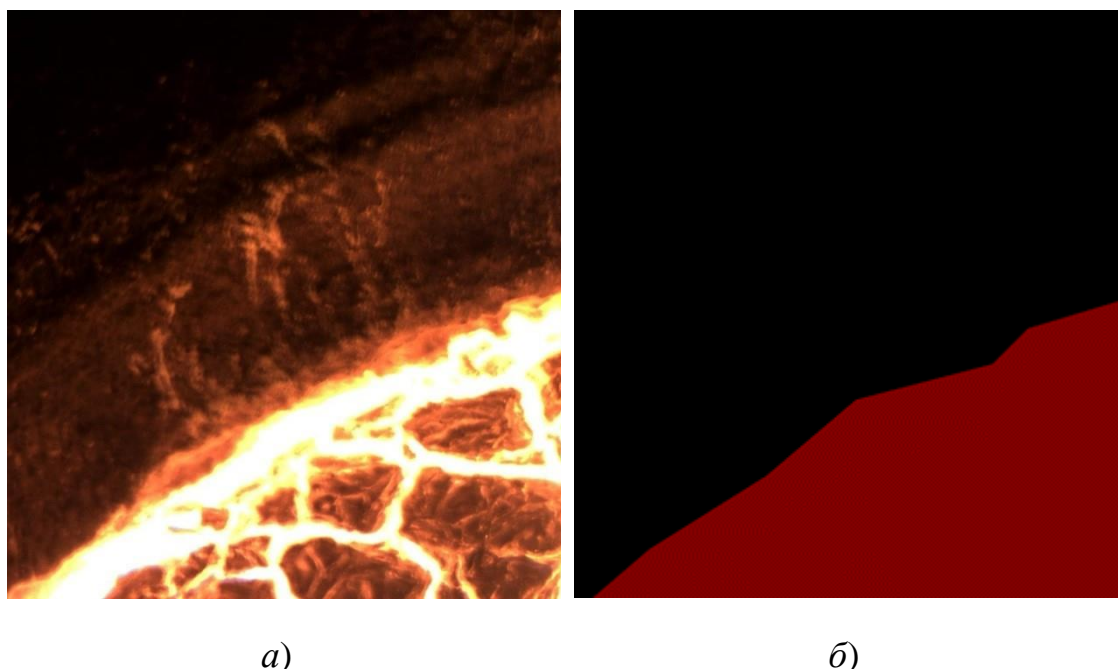


Рис. 1. Пример подготовленной единицы тренировочной выборки:
а – вырезанное квадратное изображение 1024x1024;
б – маска для него

Всего было получено 29456 таких пар изображений, которые были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки.

В качестве алгоритма сегментации была выбрана архитектура ViSeNet V2 на фреймворке PaddlePaddle. Она показывает достаточную точность сегментации вкуче с высокой скоростью работы, что необходимо для работы в реальном времени [3]. Обученная сеть показала отличную точность сегментирования. Скорость сегментации одного изображения с IP-камеры в исходном разрешении (2560x2560) составляет менее 1 секунды, чего достаточно для работы в реальном времени.

Результаты тестирования алгоритма приведены в табл. 1 и показывают хорошую точность сегментации типовым метрикам оценки качества, как для фрагментов фона, так и фрагментов изображения, содержащих жидкую сталь.

Таблица 1

Результаты тестирования алгоритма сегментации

	IoU	Precision	Recall
Фон	0.991	0.995	0.995
Сталь	0.981	0.991	0.990

Измерение заполненности ковша происходит в момент его остановки. О факте остановки ковша алгоритм узнает от сигнала датчика, установленного на месте остановки. После получения сигнала от датчика, алгоритм начинает получать изображения с камеры, установленной над местом остановки ковша. Полученные изображения сегментируются нейронной сетью ViSeNet V2, после чего на полученных сегментированных изображениях находится крайняя верхняя точка расплава.

Список литературы

1. Трофименко Я. М., Ершов Е. В. Обнаружение и идентификация сталеразливочных ковшей в сталеплавильном производстве // Опτικο-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2021. С. 255–257.
2. Трофименко Я. М., Ершов Е. В. Модель формирования маршрутов перемещения сталеразливочных ковшей в сталеплавильном

производстве // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тез. докладов 79-й Междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск, 2021. С. 352.

3. Yu Ch., Gao Ch., Wang J. [et al.]. BiSeNet V2: Bilateral Network with Guided Aggregation for Real-time Semantic Segmentation // Cornell University, arXiv:2004.02147v1, 2020.

УДК 631.171

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОСАДОК КОРМОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Роман Васильевич Ларионов¹, Никита Валерьевич Котов²,
Владимир Вячеславович Хрящев³**

*^{1,2,3}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹rv.larionov@yandex.ru

²nik-kotov-98@inbox.ru

³vhr@yandex.ru

Аннотация. Исследован алгоритм на основе методов искусственного интеллекта для решения проблемы идентификации кормовых культур и сорняков на цифровых изображениях. Подход основан на анализе изображений, получаемых с беспилотного летательного аппарата, находящегося на высоте порядка 5 метров. Разрешение входных трехканальных RGB-изображений составляет 1600×1300 пикселей. В процессе подготовки данных получен набор из 3000 патчей для дальнейшей разбивки на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Полученные результаты тестирования нейросетевого алгоритма показали хорошую корреляцию с результатами экспертной разметки изображений кормовых культур, что говорит о практической востребованности предложенного подхода.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронная сеть, цифровые изображения, кормовые культуры, детектирование сорняков

Финансирование: исследование выполнено за счет средств Программы развития ЯрГУ до 2030 г., проект № СП-03/2021 «Разработка методик и алгоритмов прогнозирования характеристик урожайности кормовых культур с использованием анализа данных, методов компьютерного зрения и искусственного интеллекта».

ANALYSIS OF IMAGES OF FORAGE CROPS PLANTING BASED ON REMOTE SENSING DATA USING MACHINE LEARNING METHODS

Roman V. Larionov¹, Nikita V. Kotov², Vladimir V. Khryashchev³

^{1,2,3}*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

¹rv.larionov@yandex.ru

²nik-kotov-98@inbox.ru

³vhr@yandex.ru

Abstract. An algorithm based on artificial intelligence methods has been studied to solve the problem of identifying forage crops and weeds in digital images. The approach is based on the analysis of images obtained from an unmanned aerial vehicle located at an altitude of about 5 meters. The resolution of the input three-channel RGB images is 1600×1300 pixels. During the data preparation process, a set of 3000 patches was obtained for further division into training, validation and test samples. The results of testing the neural network algorithm showed a good correlation with the results of expert marking of images of forage crops, which indicates the practical relevance of the proposed approach.

Keywords: artificial intelligence, neural network, digital images, forage crops, weed detection

Financing: the research was carried out at the expense of the YarSU Development Program until 2030, project No. SP-03/2021 “Development of methods and algorithms for predicting the yield characteristics of forage crops using data analysis, computer vision methods and artificial intelligence”.

В качестве входных данных для системы искусственного интеллекта использовались цифровые трехканальные RGB-изображения, полученные с камеры беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Разрешение камеры составляло 1600×1300 пикселей. В экспериментах использовалась высота съемки в 5, 10, 15, 50 и 60 м соответственно. Для дальнейшего анализа были выбраны изображения, полученные с высоты порядка 5 м. Для подготовки обучающих данных полученные изображения подвергались процедуре предварительной обработки: преобразование изображений к патчам, содержащим целевые объекты интереса; нормализация яркостных значений; преобразование порядка следования каналов изображения.

Первым действием является уменьшение разрешения изображений и формирование дополнительного набора изображений-патчей. На этом этапе из каждого исходного изображения были вырезаны 10 случайных патчей размером 256×256 пикселей. Каждому патчу соответствует метка класса объекта, соответствующая поста-

новке задачи классификации: культура растения, стадия развития, плотность культурных растений, вид сорной растительности, стадия развития сорной растительности, плотность сорной растительности (табл. 1) [1–4]. Для каждой из таких задач был сформирован набор набор из 3000 патчей, который разделялся согласно классическим методикам для методов машинного обучения на обучающий (2431 патч), тестовый (271 патч) и валидационный – (301 патч).

Таблица 1

Классы целевых типов классификации

Целевой тип	Классы
Культура растений	<ul style="list-style-type: none"> – викоовсяная смесь; – другое; – кукуруза; – многолетние травы; – чистый пар; – яровая тритикале; – ячмень
Стадия развития	<ul style="list-style-type: none"> – вегетация; – всходы; – выметывание; – колошение; – кущение; – нет; – отрастание; – фаза 5-21 листьев; – цветение
Плотность культурных растений	<ul style="list-style-type: none"> – 0; – 50; – 100
Вид сорной растительности	<ul style="list-style-type: none"> – корневые; – яровые; – прочие; – нет
Стадия развития сорной растительности	<ul style="list-style-type: none"> – нет; – вегетация; – всходы; – цветение
Плотность сорной растительности	<ul style="list-style-type: none"> – 0; – 50; – 100

При этом для каждого патча определен порядок названия – <порядковый_номер>_<дата_съемки>_<название_изображения>_<x>_<y>.JPG. Пример исходного изображения и изображения-патча представлен на рис. 1.

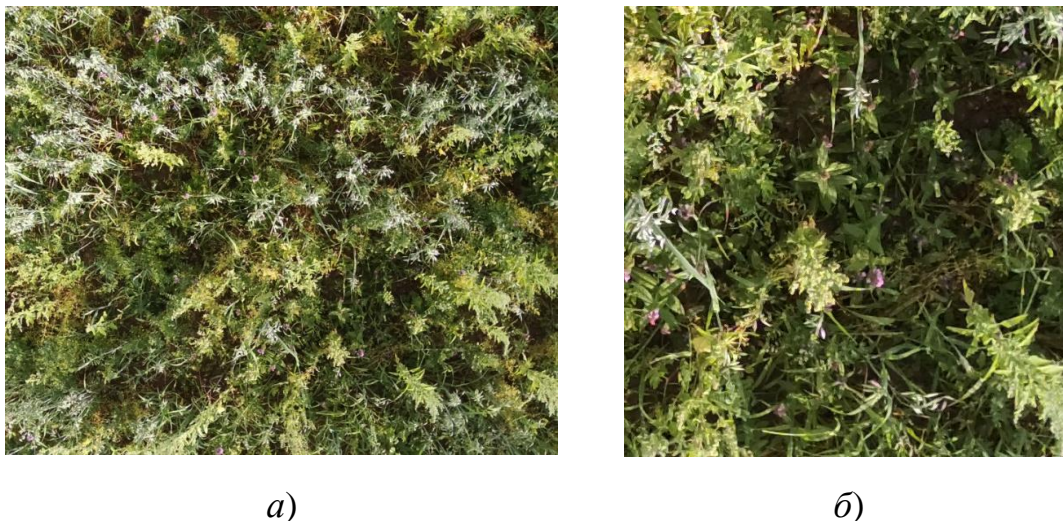


Рисунок 1 - Примеры изображений: а) оригинальное изображение; б) изображение-патч

На втором этапе предобработки выполняется нормализация яркостных значений. Изначально пиксели изображения имеют значения яркости в диапазоне $[0, 255]$, что соответствует 8-битному способу представления информации. Соответствующее преобразование выполняется согласно формуле (1):

$$X'=(X-\text{mean}(X))/(\text{std}(X)), \quad (1)$$

здесь X – изначальное значение яркости, X' – модифицированное на втором этапе предобработки значение яркости. Преобразование значений яркости пикселей производится по каждому каналу отдельно с определенными коэффициентами среднего значения и стандартного отклонения, соответственно – $\text{mean} = (0,485; 0,456; 0,406)$, $\text{std} = (0,229; 0,224; 0,225)$. Таким образом, значения яркости пикселей нормализованного изображения варьируются в диапазоне $[0, 1]$.

Использовались две различные нейросетевые архитектуры в качестве основы для алгоритмов классификации изображений: MobileNetV2 и ResNet34. Для оптимизации параметров использовался стандартный алгоритм Adam с параметром 0,001. Обучение проводилось на одной видеокарте суперкомпьютера DGX-1 и продолжалось 250 эпох. Тестирование алгоритма проводилось на

модели после нахождения наилучшей эпохи. Лучшая эпоха выбиралась на основании наименьшего значения функции потерь в текущей эпохе на обучающей выборке.

Полученные результаты тестирования нейросетевого алгоритма показали хорошую корреляцию с результатами экспертной разметки изображений кормовых культур, что говорит о практической востребованности предложенного подхода.

Исследование выполнено за счет средств Программы развития ЯрГУ до 2030 года, проект № СП-03/2021 «Разработка методик и алгоритмов прогнозирования характеристик урожайности кормовых культур с использованием анализа данных, методов компьютерного зрения и искусственного интеллекта».

Список литературы

1. Айтпаева А. А. Цифровизация сельского хозяйства в контексте повышения конкурентоспособности отечественного АПК // Вестник АГТУ. Сер.: Экономика. 2019. № 3. С. 56–63.

2. Каличкин В. К., Корякин Р. А., Лужных Т. А., Риксен В. С. Выбор и размещение сельскохозяйственной культуры с использованием искусственного интеллекта // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 10.

3. Лысенко С. А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование Земли из космоса. 2019. № 4. С. 48–59.

4. Хрящев В. В., Ключников А. С., Котов Н. В., Ларионов Р. В. Идентификация основных типов кормовых культур и сорняков на изображениях с полей методами искусственного интеллекта // Вестник АПК Верхневолжья. № 3 (63). С. 98–104.

УДК 004.93

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ФОНОВОГО ШУМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВСТАВОК В ФОНОГРАММЫ

Илья Андреевич Моисеев¹, Алексей Игоревич Максимов²

^{1,2}*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, г. Самара, Россия*

²*maksimov.ai@ssau.ru*

Аннотация. Предложен метод определения вставок в аудиозапись путем кластеризации векторов признаков, полученных из фрагментов ее фоновых шумов. Представлено экспериментальное исследование, в рамках которого производится подбор наиболее эффективных алгоритмов предобработки и модели выделения признаков для представленного метода.

Ключевые слова: кластеризация, выделение признаков, цифровые аудиосигналы

PHONOGRAM EDITING DETECTION VIA BACKGROUND NOISE CLUSTERIZATION

Илья А. Моисеев¹, Alexey I. Maskimov²

^{1,2}*Samara National Research University, Samara, Russia*

²*maksimov.ai@ssau.ru*

Abstract. In this paper, we propose a method for audio recording insertion detection by clusterization of feature vectors derived from the fragments of its background noise. An experimental study is carried out, within which the most effective preprocessing algorithm and feature extraction model are selected for the proposed method.

Keywords: clusterization, feature extraction, digital audio processing

Данная работа посвящена одной из прикладных задач криминалистической экспертизы – определению наличия монтажа фонограмм, т.е. установлению их подлинности. Методик его детектирования на данный момент разработано достаточно много [1], одной из которых является анализ фонового шума [2]. Под фоновым шумом в данном исследовании будем понимать звук, поступающий на средства записи при отключении известных его источников [3].

Предлагаемый в данной работе метод сравнивает характеристики фрагментов фонового шума аудиозаписи для вынесения вердикта – присутствуют ли в анализируемой фонограмме вставки инородных аудио фрагментов или нет. Отметим, что предлагаемый метод решает только задачу определения наличия инородных вставок в фонограмму, хотя видов монтажа фонограмм существует гораздо больше (удаление, перемещение фрагментов аудиозаписи и т.д.).

Представленный в данной работе метод является продолжением исследований авторов [4] в сфере анализа фоновых шумов.

Метод кластеризации фоновых шумов фонограмм состоит из следующих этапов:

1. Выделение из фонограммы фонового шума – удаление вокальной составляющей.
2. Разбиение аудиозаписи на набор пересекающихся фрагментов.
3. Формирование мел-спектрограммы [5] для каждого фрагмента.
4. Предобработка фрагментов.
5. Выделение признаков из обработанных фрагментов при помощи нейросети.
6. Кластеризация полученных векторов признаков.

Схема предлагаемого метода представлена на рис. 1.

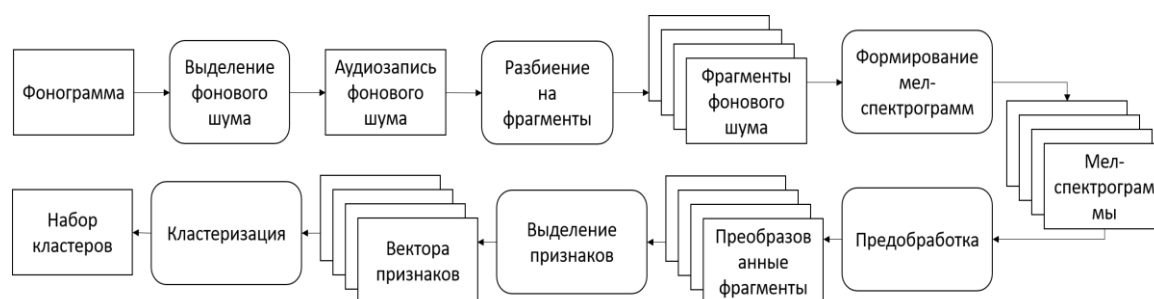


Рис. 1. Схема метода определения вставок в фонограмме на основе кластеризации фрагментов фоновых шумов

Этапы 3–5 выполняются независимо для каждого фрагмента фонового шума. Количество кластеров векторов признаков на последнем этапе указывает на наличие вставок в аудиозапись и их количество – если кластер единственный, аудиозапись можно считать подлинной, если кластеров больше одного – в аудиозаписи присутствуют вставки в количестве, равном числу кластеров минус 1. Более того, по принадлежности фрагментов к кластерам, можно определить, в каком месте аудиозаписи произошел монтаж.

Для экспериментального исследования было взято два метода предобработки – из работ [6] (Guzhov) и [7] (Palanisamy). В первом случае единственная мел-спектрограмма реплицируется трижды, формируя трехмерный массив данных, который далее, согласно методу, подается на вход нейронной сети. Во втором случае трехмерный массив формируется за счет построения трех

мел-спектрограмм одного и того же фрагмента, но с различными параметрами оконного преобразования Фурье.

Для выбора наиболее подходящей для разработанного метода модели выделения признаков были взяты три широко используемых архитектуры – InceptionV3 [8], ResNet50 [9] и DenseNet121 [10]. У взятых моделей были убраны верхние слои, отвечающие за классификацию, чтобы была возможность использовать их для выделения признаков. Все выбранные модели были предобучены на одном и том же датасете – Imagenet [11].

В качестве алгоритма кластеризации выбор был остановлен на OPTICS [12] – одном из наиболее широко распространенном, «классическом» алгоритме кластеризации. Преимуществом данного алгоритма является то, что он допускает неравномерную плотность распределения элементов в кластере. Это крайне полезно для исследуемой прикладной области, так как характеристики фонового шума могут изменяться в процессе записи фонограммы.

Для экспериментального исследования был взят датасет FSD Background Noise [13]. Фрагменты датасета были сформированы в тестовые наборы, каждому фрагменту был назначен эталонный кластер, после чего они были обработаны и кластеризованы предлагаемым методом при различных видах предобработки и моделях выделения признаков. Полученные метрики качества кластеризации (в терминах бинарной классификации – эталонный кластер/фактический кластер) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Полученные метрики качества кластеризации

Метод предобработки	Модель нейросети	Метрика качества		
		Precision	Recall	F-score
Guzhov	ResNet50	0,756	0,71	0,732
	DenseNet121	0,755	0,755	0,755
	InceptionV3	0,763	0,761	0,762
Palanisamy	ResNet50	1	0,366	0,53
	DenseNet121	0,763	0,761	0,762
	InceptionV3	0,763	0,761	0,762

В целом, полученные результаты можно назвать положительными, однако показатели метрик все еще недостаточны для

того, чтобы использовать предложенный метод для криминалистической экспертизы. Данная прикладная область работает с материалами, имеющими доказательное значение в суде, из-за чего требования к точности применяемых в ней методов крайне высоки. Но все же, полученные результаты позволяют заявить о целесообразности развития данного метода. В дальнейших исследованиях авторами планируется исследовать дополнительные алгоритмы предобработки фрагментов, извлечения признаков и кластеризации, чтобы улучшить полученные результаты.

В данной работе был представлен метод обнаружения вставок в аудиозаписи на основе кластеризации фрагментов фонового шума. В ходе экспериментальных исследований были получены метрики качества его работы при различных алгоритмах предобработки фрагментов и моделях извлечения признаков, продемонстрирована его работоспособность и эффективность. При этом наилучшие показатели качества были получены при использовании модели DenseNet121 и предобработки Palanisamy, а также при использовании модели InceptionV3 безотносительно метода предобработки.

Список литературы

1. Яровенко В. В., Букаев Н. М., Воропаев Г. С. [и др.]. Криминалистика : учеб. пособие / под ред. В. В. Яровенко. Владивосток : ВГУЭС, 2020. 337 с.
2. Лебедева Д. С., Максимов А. И. Исследование методов диагностики фальсификации фонограмм путем сравнения фрагментов фоновых шумов // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е. В. Арменского. М., 2022. С. 244–246.
3. Каганов А. Ш. Криминалистическая экспертиза звукозаписей. М. : Юрлитинформ, 2005. 272 с.
4. Максимов А. И., Моисеев И. А. Метод определения вставок в фонограммы путем анализа фрагментов их фоновых шумов // Южно-Сибирский научный вестник. 2023. № 3 (49). С. 192–197.
5. Фрейман В. И. Цифровая обработка сигналов : учеб. пособие. Пермь : ПНИПУ, 2021. 114 с.
6. Guzhov A. [et al.]. Esresnet: Environmental sound classification based on visual domain models // 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2021. P. 4933–4940.

7. Palanisamy K., Singhanian D., Yao A. Rethinking CNN models for audio classification // arXiv preprint arXiv:2007.11154. 2020.
8. Szegedy C. [et al.]. Rethinking the inception architecture for computer vision // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas, 2016. P. 2818–2826.
9. Shafiq M., Gu Z. Deep residual learning for image recognition: A survey // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 18. P. 8972.
10. Huang G. [et al.]. Densely connected convolutional networks // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu, 2017. С. 4700–4708.
11. Deng J. [et al.]. Imagenet: A large-scale hierarchical image database // 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. IEEE, 2009. P. 248–255.
12. Ankerst M. [et al.]. OPTICS: Ordering points to identify the clustering structure // ACM Sigmod record. 1999. Vol. 28, №. 2. P. 49–60.
13. FSD Background Noise // Freesound Annotator: A platform for the collaborative creation of open audio collections labeled by humans and based on Freesound content. 2023. URL: https://annotator.freesound.org/fsd/explore/%252Fm%252F093_4n

УДК 004.032.26

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОДНОВРЕМЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Илья Олегович Спешилов¹, Василий Павлович Кирнос²,
Алена Александровна Булгакова³**

*^{1,2,3}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹yatortik20011@yandex.ru

²v.kirnos@uniyar.ac.ru

Аннотация. Рассматривается система на основе алгоритма одновременной локализации и картографирования с использованием нейронных сетей (активный нейро SLAM) для эффективного исследования сред в мобильной робототехнике. Оптимизированная с использованием глубокого обучения система обеспечивает достаточно точное картографирование, оценку местоположения

и планирование движения. Проведенные эксперименты показывают, что оптимальное количество эпох и изображений в базе влияют на точность обнаружения объектов интереса. Предложено объединение популярной нейросетевой архитектуры YOLOv8 и базы изображений Indoor Navigation UAV Dataset для обучения на основе комплексирования информации с видеокамеры и дальномера. Установлено, что при этом точность обнаружения достигает около 80 %. Исследование подчеркивает важность оптимизации параметров для повышения эффективности практического применения современных нейросетевых систем в мобильной робототехнике.

Ключевые слова: автономный мобильный робот, визуальная одометрия, алгоритм нейро SLAM, сверточная нейронная сеть, нейросетевая архитектура YOLOv8

MODERNIZATION ALGORITHM FOR SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING BY NEURAL NETWORKS

Ilya O. Speshilov¹, Vasiliy P. Kirnos², Alyona A. Bulgakova³

^{1,2,3}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹yatortik20011@yandex.ru

²v.kirnos@uniyar.ac.ru

Abstract. A system based on an algorithm for simultaneous localization and mapping using neural networks (active neuro SLAM) for effective research of environments in mobile robotics is considered. Optimized using deep learning, the system provides fairly accurate mapping, location estimation, and motion planning. The experiments show that the optimal number of epochs and images in the database affect the accuracy of detecting objects of interest. It is proposed to combine the popular YOLOv8 neural network architecture and the Indoor Navigation UAV Dataset image database for training based on the integration of information from a video camera and a rangefinder. It has been found that the detection accuracy reaches about 80 %. The study highlights the importance of optimizing parameters to increase the effectiveness of the practical application of modern neural network systems in mobile robotics.

Keywords: autonomous mobile robot, visual odometry, neuro SLAM algorithm, convolutional neural network, YOLOv8 neural network architecture

В настоящее время прогресс в области машинного обучения, в том числе глубокого, компьютерного зрения и робототехники открыли пути к созданию интеллектуальных роботов, способных

ориентироваться в физическом мире и выполнять сложные задачи в домах и офисах. Одной из основных сложностей при построении интеллектуальных навигационных агентов является задача исследования, когда автономный агент помещается в неизвестную среду, где ему необходимо максимально быстро ее исследовать.

Эффективное исследование в достаточно большой среде требует от автономной роботизированной мобильной платформы знания трех основных вещей:

- где она была раньше (картографирование или картирование);
- где она находится сейчас (оценка местоположения или локализация);
- куда ей нужно двигаться дальше (планирование движения).

Как уже отмечалось, в настоящее время одним из популярных методов обучения является использование глубокого обучения [1–2]. Однако одновременное обучение картографированию, оценке положения и планированию является в вычислительном плане довольно затратным и требует большого количества обучающих примеров. Это делает предыдущие методы в значительной мере неэффективными при исследовании больших сред.

Для преодоления указанных ограничений рекомендуется использовать систему активного нейро SLAM. Она основана на известном методе по одновременной локализации и картированию, широко применяемом в современной мобильной робототехнике, и использует обучение для достижения лучшей производительности и надежности. В такой системе используются структурированные пространственные представления, иерархические стратегии и аналитические планировщики для обучения эффективному исследованию в больших сценах. Этот эффект обусловлен тем, что с увеличением объема обучающих данных сверточная нейронная сеть, составляющая основу такой системы, пользуется большим числом примеров для обучения, что, в свою очередь, способствует лучшему обобщению информации об объектах интереса [3–4].

В проведенном эксперименте в систему загружался определенный набор цифровых изображений с интервалом в 5 изображений, после чего определялась точность обнаружения объектов интереса. Установлено, что замедление темпов роста точности обнаружения наблюдается на уровне 90 изображений. Здесь

подтверждается достаточно общая закономерность, что на максимальную точность обнаружения объектов интереса на загружаемых изображениях значительное влияние оказывает оптимальное для данной практической задачи количество изображений в соответствующей базе данных.

Распространенный в настоящее время метод глубокого обучения выбран при исследовании зависимости точности обнаружения объектов интереса от количества эпох в процессе обучения. Непосредственно обучение в указанном случае проводилось на обучающем наборе изображений, а точность оценивалась на тестовом.

В данной работе исследования касались только навигации внутри здания. Поскольку помещения внутри его чаще всего имели форму прямоугольника, то достаточно рассмотреть только два класса объектов – «прямая линия» и «угол».

Во многих случаях увеличение числа эпох может привести к повышению точности обнаружения объектов интереса. Однако в данном исследовании при 80 эпохах скорость роста точности замедлилась. Оптимальное количество эпох, которое также является важным параметром обучения сверточных нейронных сетей, здесь подбиралось экспериментальным путем. При этом учитывалось то соображение, что излишне большое количество эпох может привести к снижению точности, вызванному переобучением нейросетевой модели.

Известно, что для автономной роботизированной мобильной платформы актуальными задачами являются визуальная одометрия и одновременная локализация и картографирование (SLAM). Для их решения используется открытый набор данных Indoor Navigation UAV Dataset, а также алгоритм на основе популярной в настоящее время и достаточно эффективной нейросетевой архитектуры YOLOv8. Установлено, что достигаемая при этом точность обнаружения составляет около 80 % (рис. 1).

В целях более глубокого понимания поведения системы принято решение расширить анализ, включив в рассмотрение не только данные, полученные с видеокамеры, но и информацию, поступающую от другого датчика, – дальномера. Для этого выбрана карта с наложенными метками, отражающими расстояние до стен исследуемого помещения, где находился автономный мобильный робот.

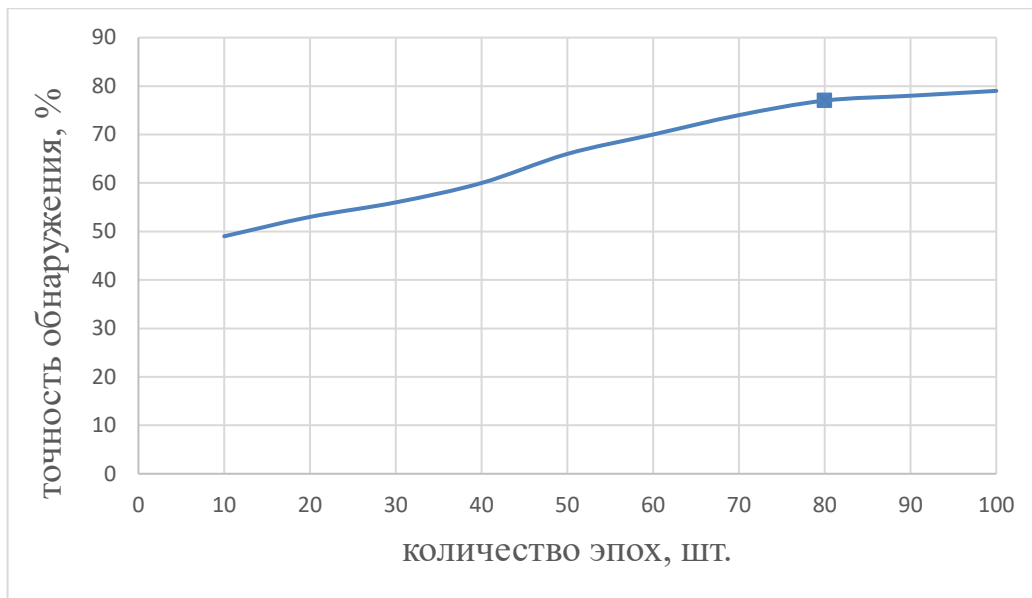


Рис. 1. Зависимость точности обнаружения объектов интереса от количества эпох обучения

Установлено, что обученный нейросетевой алгоритм успешно классифицировал объекты интереса на карте, выделяя установленные классы «прямая линия» и «угол» с достаточно высокой точностью. Результаты проведенного исследования представлены на рис. 2.



Рис. 2. Результат распознавания стен исследуемого помещения и выделение классов объектов интереса

В процессе проведенного исследования сделаны следующие основные выводы:

Кривая точности и доверительного порога. Построена кривая точности и доверительного порога, а также выявлено оптимальное значение доверительного порога, равное 0,3. Установлено, что данное значение обеспечивает наилучшее соотношение точности и надежности обнаружения объектов интереса.

Зависимость точности от количества эпох обучения. Установлено, что на 80-й эпохе точность составила 77 %. Этот результат подчеркивает важность подбора оптимального числа эпох обучения для достижения максимальной точности без переобучения нейросетевой модели.

График зависимости точности от количества изображений. Построен график, иллюстрирующий зависимость точности обнаружения объектов интереса от количества цифровых изображений в наборе данных. Установлено, что при 90 изображениях указанная точность достигала 72 %, что подтверждает влияние размера обучающей выборки на результаты работы системы.

Полученные результаты позволяют глубже понять особенности работы указанной нейросетевой системы и могут являться основой для ее дальнейшего усовершенствования и оптимизации.

Список литературы

1. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Communications of the ACM. 2017. Vol. 60, № 6. P. 84–90.
2. Huang J., Rathod V., Sun C. [et al.]. Speed/Accuracy Trade-Offs for Modern Convolutional Object Detectors // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Honolulu, 2017.
3. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений : монография. М., 2016. 968 с.
4. Бутаков Е. А., Островский В. И., Фадеев И. Л. Обработка изображений на ЭВМ. М., 2007. 791 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Анастасия Михайловна Ушакова¹,
Андрей Леонидович Приоров²,
Владислав Дмитриевич Набилков³,
Михаил Александрович Лаврентьев⁴,
Евгений Владимирович Куприянов⁵

^{1,2,3,4,5}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия

¹anastasiaaushakova@gmail.com

²andcat@yandex.ru

³cans1194fan@gmail.com

⁴lavrentev.mikhail@yandex.ru

⁵kuperjack@yandex.ru

Аннотация. Разработана модель сверточной нейронной сети, позволяющей добиться средней точности распознавания 80–90 %. Входными данными системы являются отсчеты I/Q компонент. На ее выходе распознается вид цифровой модуляции входного сигнала со средней точностью 90,3 % при отношении сигнал/шум 0 дБ.

Ключевые слова: цифровая модуляция, сверточные нейронные сети, распознавание, передача данных

AUTOMATIC RECOGNITION OF RADIO SIGNAL MODULATION TYPES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Anastasia M. Ushakova¹, Andrey L. Priorov², Vladislav D. Nabilkov³,
Mikhail A. Lavrentiev⁴, Evgeniy V. Kupriyanov⁵

^{1,2,3,4,5}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹anastasiaaushakova@gmail.com

²andcat@yandex.ru

³cans1194fan@gmail.com

⁴lavrentev.mikhail@yandex.ru

⁵kuperjack@yandex.ru

Abstract. A convolutional neural network model has been developed to achieve an average recognition accuracy of 80–90 %. The input data of the system are the counts of the I/Q components. At its output, the type of digital modulation of the input signal is recognized with an average accuracy of 90.3 % with a signal-to-noise ratio of 0 dB.

Keywords: Digital modulation, convolutional neural networks, recognition, data transmission

Введение

Одной из основных задач распознавания видов цифровой модуляции является контроль и обнаружение сигнально-кодовых конструкций, обеспечение своевременного и надежного обмена данными.

Решение данной задачи позволит оптимально использовать радиочастотный спектр, а также существенно облегчит распознавание вида цифровой модуляции принимаемого сигнала [1–3].

Для распознавания вида цифровой модуляции радиосигнала можно использовать методы извлечения признаков. Они включают в себя анализ различных характеристик сигнала, таких как спектральные характеристики, статистика амплитуды и фазы, формы сигнальных созвездий и другие. Эти признаки могут быть использованы для обучения модели глубокого машинного обучения.

С появлением новых технологий в радиосвязи число видов цифровой модуляции продолжает расти. Это создает дополнительные вызовы при их распознавании, так как необходимо учитывать все это многообразие видов цифровой модуляции.

Внутри вида модуляции более высокого порядка (например, различные подтипы QAM или PSK) радиосигналы могут иметь схожие признаки, что усложняет их распознавание. Необходимо разрабатывать более сложные модели, способные улавливать тонкие различия между ними.

Также радиосигналы могут подвергаться различным искажениям и помехам при передаче через канал связи, таким как шум, многолучевое распространение, фазовые искажения и другие. Эти искажения также могут затруднить процесс распознавания вида цифровой модуляции.

Для решения этих проблем часто применяются методы машинного обучения, в том числе глубокого, такие как сверточные нейронные сети (СНС). Эффективность данного метода зависит от качества признакового описания радиосигнала, размера обучающей выборки и сложности задачи распознавания данного вида цифровой модуляции.

Разработка алгоритма распознавания вида цифровой модуляции при помощи сверточных нейронных сетей

Для решения задачи разработки алгоритма распознавания видов цифровой модуляции радиосигналов используется гибридная СНС архитектуры CLDNN (Convolutional Long Short-Term Deep Neural Network) [4]. Архитектура этой сети представляет собой комбинацию СНС, а также слоя LSTM и полносвязных слоев. Применение данной архитектуры объясняется ее высокой производительностью в задачах, связанных с обработкой последовательностей и временных рядов.

Данные на входе сети представляют собой временные последовательности, то есть отчеты I/Q компонент. Сверточные слои преобразуют входные последовательности в карты признаков и уменьшают размерность. Для каждого сверточного слоя в качестве входных данных используются признаки предыдущего слоя.

Слой LSTM решает задачу поиска временной когерентности различных видов цифровой модуляции за счет уже имеющейся информации о предыдущем состоянии.

Для обучения модели СНС использован набор данных RADIOML 2018.01A, состоящий из сгруппированных по величине отношения сигнал/шум (ОСШ) и типу модуляции образцов I/Q компонент. Данный набор содержит в себе 24 класса модуляций с различными значениями ОСШ в диапазоне от -20 до 30 дБ [5].

Результаты оценки среднего значения точности классификации модулированных радиосигналов при различном значении ОСШ представлены на рис. 1.

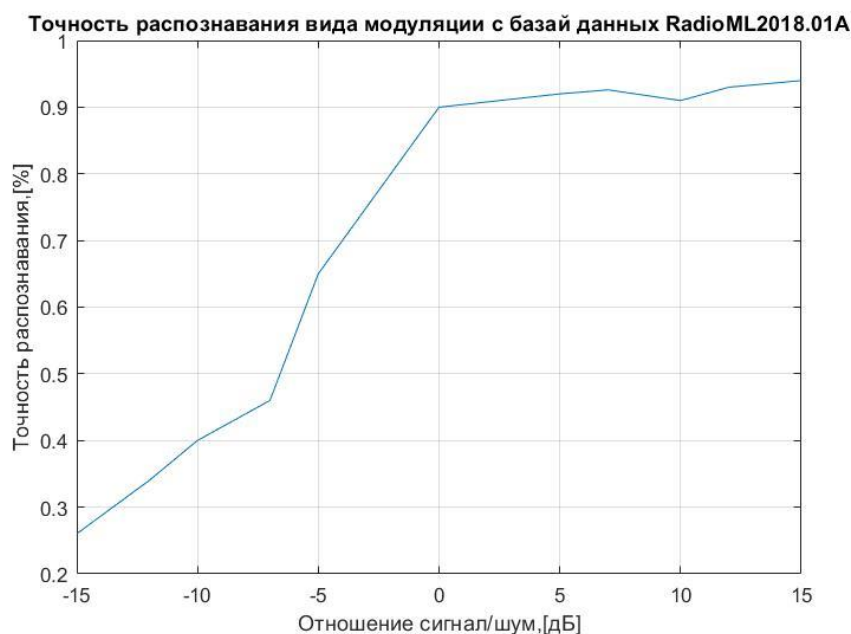


Рис. 1. Зависимость точности классификации от значений ОСШ

Заключение

Использование сверточных нейронных сетей для задачи распознавания видов цифровой модуляции – действительно мощный и эффективный подход, который может значительно упростить процесс анализа и классификации радиосигналов. Установлено, что рассмотренный метод имеет хорошие результаты при относительно низком ОСШ, но неустойчив к изменениям характеристик входного сигнала.

Использование указанной модели СНС для решения задачи распознавания видов цифровой модуляции радиосигналов позволяет получить среднюю точность 90,3 % при отношении сигнал/шум 0 дБ.

Список литературы

1. O'Shea T., Roy T., Clancy T.C. Over the Air Deep Learning Based Radio Signal Classification // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2018. Vol. 12. P. 168–179.
2. Zhu Z., Nandi A. K. Automatic Modulation Classification Principles, Algorithms and Applications, London, 2015.
3. Zhang D., Ding W., Zhang B. [et al.]. Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles // MDPI Sensors (Basel). 2018. № 18 (3).

4. Sainath T. N., Vinyals O., Senior A., Sak H. Convolutional long short-term memory, fully connected deep neural networks // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). South Brisbane, 2015. P. 4580–4584.

5. RF datasets for machine learning. URL: <https://www.deep-sig.ai/datasets>

УДК 004.032.26

СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ДИАГНОСТИКЕ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ

Дарья Сергеевна Шишикина¹, Владимир Иванович Горбаченко²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹shishikina.2560@mail.ru

Аннотация. Разработана программа, осуществляющая диагностику диабетической ретинопатии по снимкам глазного дна с помощью сверточной нейронной сети Inception v3. В программе реализованы предварительная подготовка данных, обучение и тестирование сети. Результаты тестирования показывают, что сеть способна классифицировать снимки соответственно общепринятой классификации диабетической ретинопатии, и показатели точности распознавания для поздних стадий развития заболевания являются достаточно высокими.

Ключевые слова: диабетическая ретинопатия, диагностика, сверточные нейронные сети, нейронные сети, распознавание изображений, многоклассовая классификация

CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN THE DIAGNOSIS OF DIABETIC RETINOPATHY

Daria S. Shishikina¹, Vladimir I. Gorbachenko²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹shishikina.2560@mail.ru

Abstract. A program has been developed that performs the diagnosis of diabetic retinopathy from fundus images using the convolutional neural network Inception v3. The program implements preliminary data preparation, training and

network testing. The test results show that the network is able to classify images according to the generally accepted classification of diabetic retinopathy, and the recognition accuracy indicators for the late stages of the disease are quite high.

Keywords: diabetic retinopathy, diagnostics, convolutional neural networks, neural networks, image recognition, multiclass classification

Диабетическая ретинопатия (ДР) является хроническим заболеванием, которое проявляется при осложненном течении сахарного диабета как первого, так и второго типа. Причиной возникновения диабетической ретинопатии является истончение гемато-ретиального барьера, вследствие которого различные крупные молекулы проникают в сетчатку, что вызывает сбои в работе микрососудистой системы глаза [1, 2].

Данное заболевание проявляется постепенно. Всемирной организацией здравоохранения была разработана следующая классификация [1, 2] диабетической ретинопатии, основанная на стадиях прогрессирования заболевания:

- для непролиферативной ретинопатии характерны отек сетчатки в центральной части глазного дна и мелкие кровоизлияния;
- препролиферативная ретинопатия характеризуется изменением вида и структуры стенок сосудов, наличием воспалительных выделений и кровоизлияний;
- пролиферативная ретинопатия выражена обильными кровоизлияниями в стекловидное тело глаза, появлением фиброзной ткани и неоваскуляризацией, т.е. разрастанием кровеносных сосудов в те места, в которых их быть не должно (также такие сосуды являются хрупкими, и их разрушение приводит к кровоизлияниям).

Диабетическую ретинопатию можно назвать достаточно опасным заболеванием по нескольким причинам:

- массовость: ДР диагностируют у большинства пациентов с сахарным диабетом, количество которых на данный момент в России исчисляется миллионами, а в мире – сотнями миллионов [3, 4];
- малое число способов диагностики диабетической ретинопатии: обычно диагностика заключается в сборе анамнеза и рассмотрении снимков глазного дна;
- сложность диагностики: на ранней стадии признаки наличия ДР практически неразличимы для взгляда человека, и для

качественного и эффективного диагностирования заболевания необходимо либо врач с большим опытом работы с диабетиками, либо консилиум врачей, который вынесет коллективное решение, однако для большинства пациентов и больниц это не является доступным;

– несвоевременность диагностики: на более поздних стадиях диабетическую ретинопатию увидеть гораздо проще, но чем позднее она диагностирована, тем более необратимым становится процесс дегенерации микрососудистой системы глаза; минимизировать негативные последствия и купировать дальнейшее развитие заболевания можно только на ранней стадии;

– тяжесть последствий отсутствия лечения или начала лечения на поздней стадии: многие из патологий сетчатки, которые проявляются при ДР, необратимы на поздней стадии, и несвоевременное лечение приводит к слепоте пациента, что влечет за собой инвалидность.

Из всех этих причин следует вывод о необходимости поиска способа автоматизации диагностики диабетической ретинопатии и повышении точности диагностирования заболевания на ранней стадии. Так как диагностика ДР осуществляется посредством анализа снимков глазного дна, хорошим вариантом для решения данной проблемы являются сверточные нейронные сети, которые часто используются при работе с изображениями.

В мире существует несколько исследований, посвященных применению различных сверточных нейросетевых архитектур для диагностики диабетической ретинопатии [5–8]. Самой известной работой на данную тему можно считать исследование, которое проводили в Google в 2016 году [9–12]. В его основе лежало применение для диагностики ДР по снимкам глазного дна сверточной нейронной сети Inception v3.

В России проблемой диагностики диабетической ретинопатии с помощью нейронных сетей занимались менее активно. Можно выделить два исследования: в [13] решалась как многоклассовая задача (определение стадии развития ДР), так и бинарная (определение факта наличия ДР), в [14] решалась только бинарная задача. В первом случае для многоклассовой задачи была достигнута точность 57,4 % (пять классов), максимальная точность для бинарной задачи составила 80,7 %. Во втором случае максимальная чувствительность составила 65 %.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблема диагностики диабетической ретинопатии и выявление стадии развития заболевания в России остается актуальной до сих пор.

В данной работе в качестве обучающих и тестовых данных для нейронной сети были использованы изображения из открытого набора данных с сайта Kaggle [15]. Данный набор включает в себя снимки глазного дна, промаркированные от 0 до 4, где 0 – нормальное состояние сетчатки, 1 и 2 – два этапа развития не-пролиферативной стадии, 3 – препролиферативная стадия, 4 – пролиферативная стадия. Исходные изображения в наборе имели разный размер, некоторые были отражены или перевернуты, на некоторых изображениях присутствуют артефакты и шум. Кроме того, набор не сбалансирован, и из 34882 изображений более 20000 принадлежат классу 0. Исходя из особенностей данного набора, была выявлена необходимость его предварительной подготовки перед обучением сети. С использованием библиотеки Augmentor [16] была проведена балансировка набора, также проведена обработка изображений для снижения на них шума средствами библиотеки CV [17]. На рис. 1 представлен пример снимка глазного дна из набора.



Рис. 1. Пример снимка из набора

В качестве архитектуры для модели была выбрана архитектура Inception v3 [18–20], которая уже зарекомендовала себя в разработках Google. Сеть Inception v3 относится к семейству сетей Inception. Они обладают общей отличительной особенностью – наличием блоков, в которых применяются параллельно свертки различных размеров. Это наделяет сеть определенной гибкостью и позволяет одновременно выделять ключевые признаки на разных уровнях детализации изображения. Конкретно архитектура Inception v3 отличается от предыдущих версий архитектур в данном семействе следующим:

- заменой в модулях Inception сверток больших размеров последовательностями сверток меньших размеров (модуль А);
- применением ассиметричных (прямоугольных) сверток, что увеличило производительность сети (модуль Б);
- расширением банков фильтров (модуль В).

Сама по себе архитектура Inception v3 (рис. 2) состоит из последовательности блоков, включающих в себя различные типы модулей.

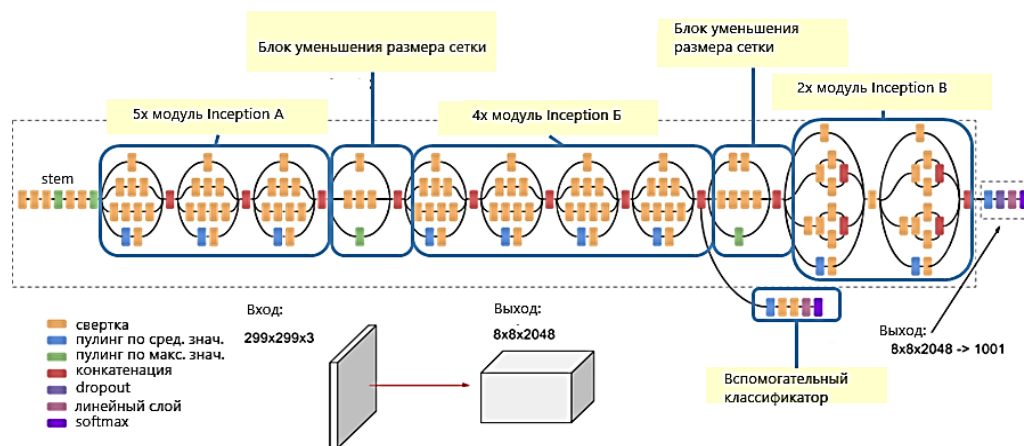


Рис. 2. Архитектура сети Inception v3

Построенная модель имела в своей основе предобученную сеть Inception v3, т.е. использовались веса сети после обучения на наборе ImageNet. Также использовалась тонкая настройка [20]. В качестве оптимизатора при обучении использовался стохастический градиентный спуск. Метки изображений были закодированы с помощью One-Hot Encoding [21]. Построение модели, обучение и тестирование проводилось на языке Python в Jupiter Notebook с использованием библиотеки машинного обучения Keras [22, 23] версии 2.12.0 на компьютере с процессором Intel Core i5-8300H CPU 2.30GHz и оперативной памятью 6.00 ГБ.

Для оценки работы модели применялись следующие метрики [24]:

- точность (accuracy), отражающая долю всех правильно классифицированных примеров (не является показательной для несбалансированных выборок);
- прецизионность (precision), отражающая долю истинноположительных исходов из всех положительных исходов;

- полнота или чувствительность (recall, sensitivity), отражающая долю истинноположительных примеров среди примеров, являющихся действительно положительными;
- F1-мера – гармоническое среднее между прецизионностью и полнотой.

Обучение модели проводилось в два этапа. Сначала было реализовано трансферное обучение, в котором обучались только полносвязные слои, добавленные к предварительно обученной архитектуре. Были получены следующие результаты: максимальная точность на валидационном наборе – около 60 %, минимальные потери на валидационном наборе – около 0,91.

Для улучшения классификационной способности модели было проведено полное обучение с загрузкой лучшего варианта сети после предыдущего трансферного обучения. Были получены следующие результаты: максимальная точность на валидационном наборе выросла до 65%, минимальные потери снизились до 0,7.

Для этого варианта сети было проведено тестирование и расчет метрик качества. Результаты приведены на рис. 3.

	precision	recall	f1-score	support
0	0.53	0.65	0.58	1050
1	0.53	0.45	0.48	1050
2	0.58	0.57	0.57	1050
3	0.75	0.77	0.76	1050
4	0.84	0.78	0.81	1050
accuracy			0.64	5250
macro avg	0.65	0.64	0.64	5250
weighted avg	0.65	0.64	0.64	5250

Рис. 3. Результаты тестирования

Видно, что значения прецизионности и полноты для классов 0 (отсутствие ДР) и 1, 2 (непролиферативная стадия) значительно меньше показателей для классов 3 и 4 (препролиферативная и пролиферативная стадии): прецизионность для классов 0, 1 и 2 составляет, соответственно, 53 %, 53 % и 58 %, для классов 3 и 4 – 75 % и 84 %, а полнота – 65 %, 45 % и 57 % для классов 0, 1, 2 и 77 % и 78 % для классов 3 и 4. Из этого можно сделать вывод о том, что модель классифицирует изображения в соответствии с общепринятой классификацией и отличает друг от друга пролифе-

ративную, препролиферативную и непролиферативную стадии, принимая при этом максимально похожие классы 1 и 2 за единую непролиферативную стадию (на это указывают небольшие показатели прецизионности и полноты для классов 1 и 2, которые резко отличаются от высоких значений для классов 3 и 4 – модель не путает классы 3 и 4 между собой и отличает их от классов 0, 1 и 2, но путает классы 1 и 2 друг с другом). Модель испытывает затруднения с отличием ДР на ранней стадии от отсутствия ДР, однако она классифицировала правильно 65 % изображений без признаков ДР.

В целом, модель хорошо справляется с классификацией изображений по стадиям и с хорошей точностью определяет наличие препролиферативной и пролиферативной стадий, однако необходимо проведение дополнительных экспериментов для улучшения способности сети определять наличие диабетической ретинопатии на раннем этапе развития заболевания.

Так или иначе, данная модель является одной из немногих в России, решающих задачу многоклассовой классификации (диагностика диабетической ретинопатии на определенной стадии прогрессирования болезни) с хорошей точностью для некоторых классов, и может быть улучшена при дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Kohner E.M. Diabetic retinopathy // British Medical Bulletin. 1989. Vol. 5, № 1. P. 148–173.
2. Диабетическая ретинопатия (тактика ведения пациентов). URL: https://www.rmj.ru/articles/oftalmologiya/Diabeticheskaya_retinopatiya_taktika_vedeniya_pacientov/?ysclid=lfz6iqmxne441287674# (дата обращения: 04.09.2023).
3. Демидова Т. Ю., Кожевников А. А. Барометр диабетической ретинопатии: актуальные вопросы и перспективы // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. 2019. Т. 10, № 3. С. 128–134.
4. Статистика сахарного диабета. URL: <https://rusind.ru/statistika-saxarnogo-diabeta.html> (дата обращения: 04.09.2023).
5. Grzybowski A., Brona P., Gilbert Lim G. [et al.]. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review // Eye. 2020. № 34. P. 451–460. doi: 0.1038/s41433-019-0566-0
6. Uppamma P., Bhattacharya S. Deep Learning and Medical Image Processing Techniques for Diabetic Retinopathy: A Survey of Applications,

Challenges, and Future Trends // Journal of Healthcare Engineering. 2023. Vol. 2023. doi: 10.1155/2023/2728719

7. Alyoubi W. L., Shalash W. M., Abulkhair M. F. Diabetic retinopathy detection through deep learning techniques: A review // Informatics in Medicine Unlocked. 2020. Vol. 20. P. 100377. doi: 10.1016/j.imu.2020.100377

8. Добров Э. Р. Применение нейросетей в диагностике диабетической ретинопатии // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 90–105. doi: 10.21685/2227-8486-2022-2-7

9. Diagnosing Diabetic Retinopathy with AI. URL: https://about.google/intl/ALL_us/stories/seeingpotential/ (дата обращения: 05.09.2023).

10. Using AI to prevent blindness. URL: <https://health.google/caregivers/arda/> (дата обращения: 05.09.2023).

11. Gulshan V., Peng L., Coram M. [et al.]. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs // JAMA. 2016. Vol. 316, № 22. P. 2402–2410. doi: 10.1001/jama.2016.17216

12. Sayres R., Taly A., Rahimy E. [et al.]. Using a Deep Learning Algorithm and Integrated Gradients Explanation to Assist Grading for Diabetic Retinopathy // Ophthalmology. 2019. Vol. 4, № 126. P. 552–564. doi: 10.1016/j.optha.2018.11.016

13. Мамедов Т. Х., Дзюба Д. В, Наркевич А. Н. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания диабетической ретинопатии на цифровых изображениях // Сибирское медицинское обозрение. 2022, № 1. С. 83–87. doi: 10.20333/25000136-2022-1-83-87

14. Нероев В. В., Брагин А. А., Зайцева О. В. Разработка прототипа сервиса для диагностики диабетической ретинопатии по снимкам глазного дна с использованием методов искусственного интеллекта // Национальное здравоохранение. 2021. Т. 2, № 2. С. 64–72. doi: 10.47093/2713-069X.2021.2.2.64-72

15. Diabetic Retinopathy Unzipped | Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/saipavansaketh/diabetic-retinopathy-unzipped> (дата обращения: 06.08.2023).

16. Augmentor. URL: <https://augmentor.readthedocs.io/en/stable/> (дата обращения: 06.09.2023).

17. OpenCV-Python Tutorials. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d00/tutorial_py_root.html (дата обращения: 06.09.2023).

18. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567v3.pdf> (дата обращения: 06.09.2023).

19. Szegedy C., Sergey Ioffe S., Vanhoucke V., Alemi A. Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning // arXiv:1602.07261

20. Keras Applications. URL: <https://keras.io/api/applications/> (дата обращения: 06.09.2023).

21. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты, и техники для создания интеллектуальных систем. СПб. : Диалектика, 2020. 1040 с.

22. Keras: Deep Learning for humans. URL: <https://keras.io/> (дата обращения: 06.06.2023).

23. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб. : Питер, 2023. 576 с.

24. Брюс П., Брюс Э., Гедек П. Практическая статистика для специалистов Data Science. СПб. : БХВ-Петербург, 2021. 352 с.

3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.627

СПОСОБ УСКОРЕНИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Михаил Михайлович Ровнягин¹,
Дмитрий Михайлович Синельников²,
Татьяна Александровна Ровнягина³,
Иван Алексеевич Яковенко⁴,
Анастасия Михайловна Худоярова⁵,
Артем Александрович Ерошев⁶

*^{1,2,3,4,5,6}Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»,
г. Москва, Россия*

¹mmrovnyagin@mephi.ru

Аннотация. Эффективность хранения и передачи информации в децентрализованных высокопроизводительных системах зависит от многих факторов. Лаборатория искусственного интеллекта и больших данных НИЯУ МИФИ (HPClab.ru) несколько лет ведет научно-практические разработки в области интеллектуальной оркестрации для контейнеризированных виртуальных инфраструктур и построения децентрализованных систем хранения данных, в том числе на основе технологий распределенного реестра. Данные технологии подчеркнуты в Федеральной научно-технологической программе развития высокопроизводительных вычислений, ГРИД-технологий и суперкомпьютерной инфраструктуры РФ на 2022–2031 гг. как важные с точки зрения обеспечения бесшовного доступа научных кадров к суперкомпьютерной инфраструктуре РФ.

Рассматривается способ ускорения обмена данными в децентрализованной файловой системе за счет выбора оптимального алгоритма сжатия. Сжатие без потерь – один из способов снижения нагрузки на канал. Предлагается использовать адаптивное сжатие – это специальный алгоритм, который в зависимости от входных данных будет корректировать используемый алгоритм для достижения оптимальной производительности с точки зрения времени и степени сжатия.

Ключевые слова: алгоритмы сжатия, адаптивное сжатие, brotli, bzip2, gzip, lzma, zstd, snappy, оптимизация передачи данных, децентрализованные системы

METHOD FOR ACCELERATING DATA EXCHANGE FOR A DECENTRALIZED COMPUTING NETWORK

Mikhail M. Rovnyagin¹, Dmitriy M. Sinelnikov²,
Tatiana A. Rovnyagina³, Ivan A. Yakovenko⁴,
Anastasia M. Khudoyarova⁵, Artem A. Eroshev⁶

^{1,2,3,4,5,6}*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

¹mmrovnyagin@mephi.ru

Abstract. The efficiency of storing and transmitting information in decentralized high-performance systems depends on many factors. The Laboratory of Artificial Intelligence and Big Data of National Research Nuclear University MEPhI (HPClab.ru) has been conducting scientific and practical developments for several years in the field of intelligent orchestration for containerized virtual infrastructures and the construction of decentralized data storage systems, including those based on distributed registry technologies. These technologies are emphasized in the Federal Scientific and Technological Program for the Development of High-Performance Computing, GRID Technologies and Supercomputing Infrastructure of the Russian Federation for 2022-2031. as important from the point of view of ensuring seamless access of scientific personnel to the supercomputer infrastructure of the Russian Federation.

A way to speed up data exchange in a decentralized file system by choosing the optimal compression algorithm is considered. Lossless compression is one way to reduce the load on the channel. It is proposed to use adaptive compression – this is a special algorithm that, depending on the input data, will adjust the algorithm used to achieve optimal performance in terms of time and compression ratio.

Keywords: compression algorithms, adaptive compression, brotli, bzip2, gzip, lzma, zstd, snappy, data transmission optimization, decentralized systems

Эффективность хранения и передачи информации по сети напрямую зависит от объема передаваемых данных. На сегодняшний день, все еще нельзя утверждать, что все доступные системы обладают достаточной пропускной способностью канала для передачи данных любых объемов. Ускорить соединение между устройствами возможно множеством разных способов. В данной статье разобраны сжатие данных и балансировка нагрузки в сети как методы оптимизации соединения.

Растущая популярность распределенных информационных сервисов привела к ряду проблем, связанных с масштабированием. Основными факторами, препятствующими масштабированию таких распределенных систем, являются чрезмерная нагрузка

на сервера, потеря пропускной способности сети из-за избыточной передачи данных и чрезмерная задержка при доставке данных клиенту из-за передачи по медленным соединениям.

Выбор алгоритма сжатия должен основываться на балансе времени и степени сжатия, так как различные алгоритмы могут по-разному сжимать различные виды данных. В сети доступны множество тестов производительности по размеру сжимаемых данных и общим типам, как например “10 gb compression benchmark” [1], однако для реализации динамического выбора алгоритма сжатия недостаточно синтетического теста алгоритма.

Схожую задачу решали в статье ACE: A Resource-Aware Adaptive Compression Environment [2]. В ней описывается подход к адаптивному сжатию в среде с ограниченными ресурсами. Было замечено, что существуют условия, когда сжатие только замедляет работу системы.

В рамках данной статьи рассматриваются алгоритмы сжатия без потерь. Эти алгоритмы широко распространены: используются для повседневного хранения файлов, в медицинской сфере, для распространения файлов и во многих других местах для оптимального хранения данных с возможностью идентичного восстановления [3].

Существующие алгоритмы сжатия можно разделить на три группы по скорости сжатия:

- медленные (0 – 10 MB/c) – в основном это потомки LZMA (LZMA, LZMA2, XZ, 7-zip), bzip2 и brotli от Google [4];
- средние (10–500 MB/c) – deflate (используется gzip), zstd от Facebook;
- быстрые (1 GB/c) – lzo, lz4 (Facebook) и snappy (Google).

Самые сильные алгоритмы, они же и самые медленные используются в основном для длительного хранения данных.

Средние алгоритмы позволяют обеспечить оптимальное время передачи данных.

И наконец быстрые алгоритмы помогают оптимизировать работу приложения, например lz4 в elasticsearch. В обычной работе пользователи используют и обмениваются различными типами данных. Среди них можем предварительно выделить следующие типы данных:

- исполняемые (много нулей, бинарный вид);

- фото/видео (бинарный вид, сложная структура, часто используется сжатие в самом формате – JPG);
- текстовые (подходят для применения кодирования);
- смешанные.

Для формирования наборов данных будет использоваться tar. При формировании tar-файла не происходит сжатия. Формат tar был изначально предназначен для записи на магнитную ленту – основная его задача упорядочивание файлов и их параметров для более компактной записи на ленту.

После получения tar мы применим к нему различные алгоритмы сжатия и замерим их характеристики.

В этой статье будут рассмотрены алгоритмы brotli, bzip2, gzip, lzma, std и snappy. Все тесты были выполнены на Apple M1 с 8 Гб RAM с использованием Python 3.10.

В качестве начального теста используем сжатие различных типов данных.

На графике (рис. 1) изображено соотношение степени сжатия файла с типами архивов для разных алгоритмов. Как видим из графика на рис. 1, файлы содержащие уже сжатые форматы слабо поддаются дальнейшему сжатию. Колонки содержащие файлы с pdf, mp4 и img сохраняют тот же размер. Лучший показатель мы получили для JSON, содержащего текстовые файлы.

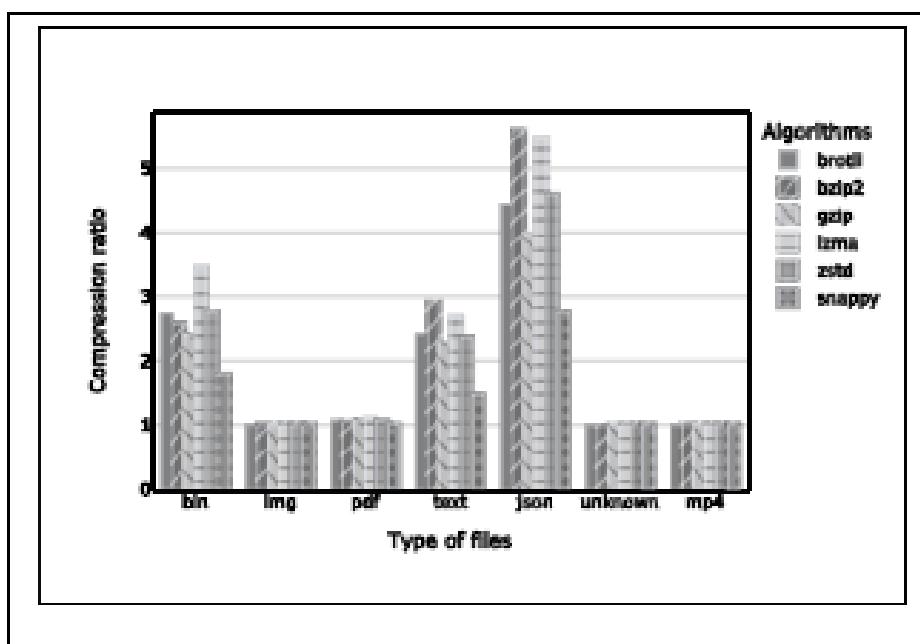


Рис. 1. Степень сжатия в зависимости от типа данных

Для понимания происходящего следует обратиться к теории сжатия. Во всех алгоритмах сжатия используется так называемое кодирование символов. Их предсказуемая последовательность в текстовых файлах позволяет сильнее закодировать символы и тем самым сильнее сжать файл.

Также можно заметить, что для разных типов, например json, просто текстовые файлы, бинарные файлы хоть и показывают лучшие результаты по сжатию, однако имеют свои различия в плане используемых алгоритмов. Так на рис. 2 показано соотношение времени сжатия и типа файла для каждого алгоритма. Заметна значительная разница между текстовым и json файлом. А для видео виден сильный выброс для алгоритма lzma.

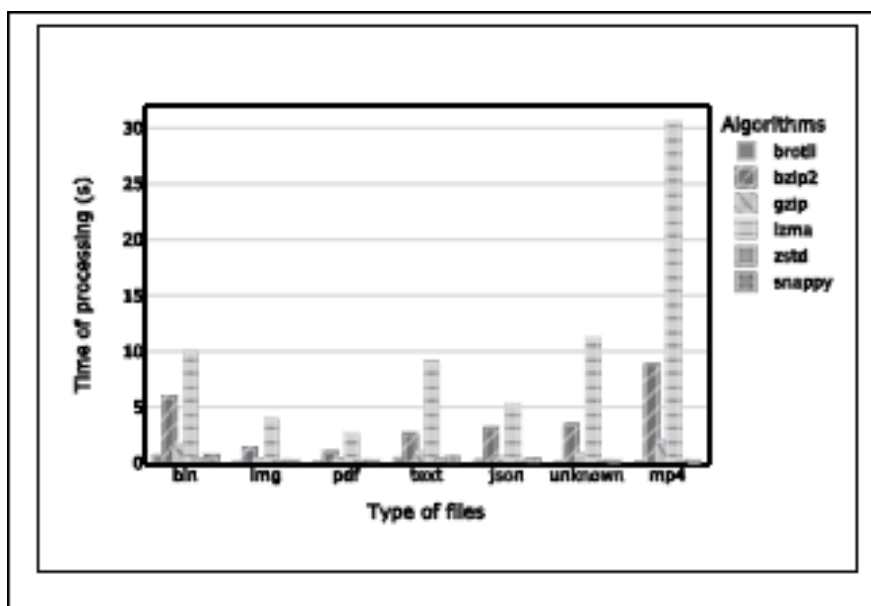


Рис. 2. Время сжатия в зависимости от типа данных

В данном случае мы использовали одинаковый для всех параметр сжатия. Однако каждый из рассматриваемых алгоритмов может быть настроен с помощью своего уровня – специальной настройки, определяющей размер сжимаемого блока.

Рассмотрим сжатие с разными настройками для алгоритмов и определим оптимальный уровень на примере файла text-jeopardy-json.tar содержащий json файлы размером 53 МБ.

Выделим также следующие категории данных:

1. BIN – бинарные;
2. TXT – текстовые;

3. JSON – json файлы (имеют mime-type application/json);
4. UKN – неизвестные.

В последнюю категорию добавим все форматы, которые плохо сжимаются, или не сжимаются вовсе. Для них сжатие запускать невыгодно.

Посчитаем для каждого алгоритма возможные значения времени работы / степени сжатия в зависимости от заданного параметра.

Так, например для brotli получаем результат, представленный на рис. 3.

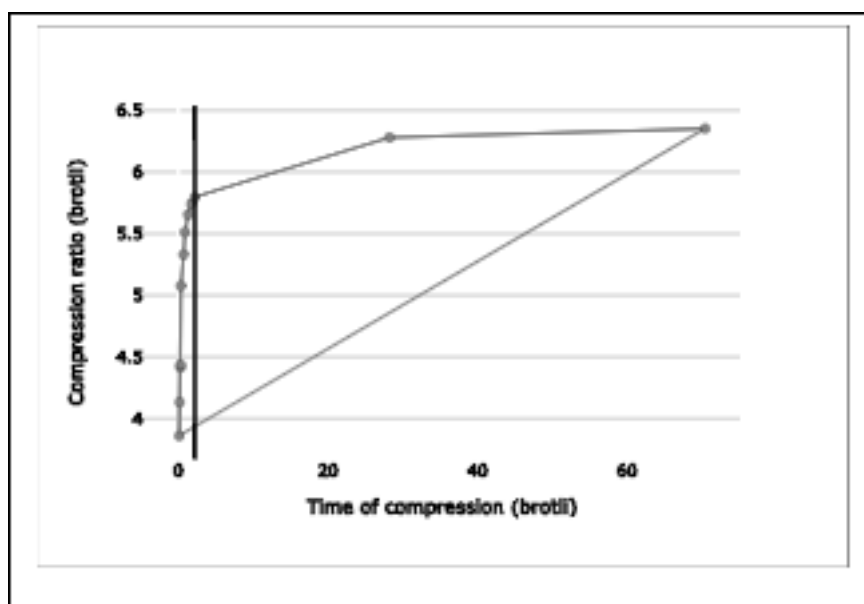


Рис. 3. Время и степень сжатия для Brotli

По оси ординат расположена степень сжатия файла, по оси абсцисс – время, затраченное в секундах.

Отчетливо виден перегиб, именно эта точка будет обладать теми свойствами, которые мы хотим – наибольшее сжатие за минимальное время.

Для поиска места перегиба использовался elbow method [5]. Суть этого метода заключается в построении перпендикуляров до линии, соединяющей концевые точки, и измерении перпендикуляров к оси X. Максимум этого значения будет указывать на перегиб кривой, который и называют локтем. Повторив эту методику для остальных алгоритмов, мы получаем оптимальное значение параметра для алгоритма. Пример для zstd приведен на рис. 4.

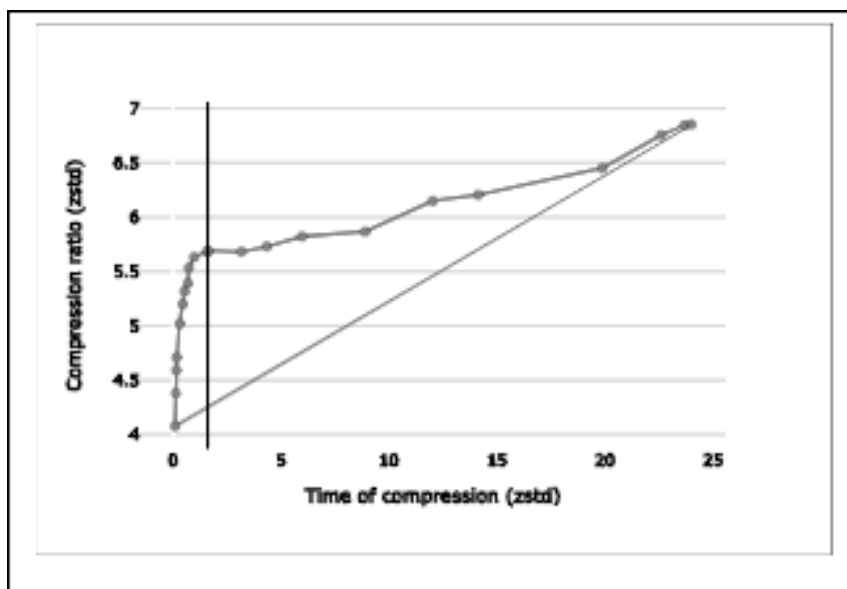


Рис. 4. Время и степень сжатия для zstd

Для того чтобы мы могли определять, что за данные нам поступили на вход, необходимо определять некую метрику, метаинформацию. Для обычных файлов может помочь mime-type:

- application/octet-stream
- image/png
- application/gzip
- application/pdf
- text/x-diff

Для классификации предлагается использовать также расширения файлов из вывода программы tar-tvf.

Исследование показывает интересную зависимость. Тип данных сильно влияет на степень сжатия и время работы алгоритма. Так, к примеру, ядро Linux в исходном виде занимает примерно 900 МБ, а при использовании сжатия алгоритмом zstd размер архива можно уменьшить в 10 раз. Однако за это приходится платить – время работы алгоритма достигает 363 секунды. При использовании в системе хранения данных такое время может быть критичным. Другой конкурент – алгоритм bzip2. Коэффициент сжатия несколько меньше – примерно 8.1, однако и время значительно меньше – всего 64 секунды. В то же время есть некоторые типы данных (например, изображения или зашифрованный контент) которые не поддаются сжатию. В этом случае необходимо обратить внимание на время работы программы сжатия – ни один из

используемых алгоритмов не смог сжать видео, однако gzip потратил 19 секунд, а lzma целых 166 секунд.

Таким образом задача адаптивного сжатия может быть решена применением классификации сжимаемых данных и подбором оптимального алгоритма для данной ситуации. Из этого можно сделать вывод, что некоторые файлы не нужно сжимать вовсе.

После выполнения предыдущих шагов мы получили две матрицы с данными о степени сжатия того или иного алгоритма для конкретных типов данных, и времени работы на этих данных.

Для выбора оптимального алгоритма применяется формула (1).

$$F(t, r, w) = \log \frac{1}{t} + \frac{r \cdot w}{5}, \quad (1)$$

где F – функция оценки алгоритма; t – время, затраченное на сжатие; r – степень сжатия файла (отношение его исходного размера к сжатому); w – весовой коэффициент, используемый для настройки приоритета.

Рассмотрим результаты, приведенные в табл. 1 и 2. Таблица 1 содержит отношения несжатого файла к сжатому с помощью конкретного алгоритма. Таблица 2 содержит комплементарные первой времена работы алгоритма. Как можем заметить для текстовых данных алгоритмы bzip2 и brotli дают очень схожий результат, однако время работы алгоритмов отличается почти в два раза. Самым слабым и самым быстрым алгоритмом, как и ожидалось, оказался snappy.

Таблица 1

Сравнение степени сжатия

	brotli	bzip2	gzip	lzma	zstd	snappy
BIN	3.25	2.58	2.37	3.42	3.04	1.79
TXT	2.72	2.92	2.25	2.61	2.75	1.46
JSN	5.80	5.58	3.86	5.24	5.69	2.77

Таблица 2

Сравнение времени сжатия

	brotli	bzip2	gzip	lzma	zstd	snappy
BIN	10.36	5.82	1.27	6.59	2.57	0.51
TXT	5.07	2.49	0.41	4.84	3.10	0.37
JSN	2.20	3.03	0.36	2.64	1.62	0.26

Однако в реальных условиях файл редко состоит только из одного типа данных. Например, частый случай – распространение пакета приложения или библиотеки. Данный файл будет состоять, например из 50 % бинарных файлов и из 50 % текстовых данных. В таком случае мы можем умножить полученные таблицы на вектор (0.5, 0.5, 0) и, применив формулу (1), просуммировать результат. Для простоты расчетов возьмем взвешивающий коэффициент равным 5. Итоговое значение представлено в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение времени сжатия

brotli	bzip2	gzip	lzma	zstd	snappy
0.94	1.33	2.48	1.27	1.85	2.44

Таким образом мы можем сделать вывод, что для наших условий самым выгодным окажется алгоритм gzip, который обеспечивает самое сильное сжатие за самое короткое время.

Для демонстрации разработанного алгоритма выбора метода сжатия была написана реализация на языке Python. Собрана статистика и получены результаты, представленные в таблицах 1 и 2.

Основная программа представляет собой скрипт, на вход которого поступает информация о сжимаемом файле или директории, имя выходного файла и весовой коэффициент из формулы 1. Данный коэффициент помогает настроить предпочтение времени сжатия или степени сжатия файла. При значении 5 предпочтение будет отдаваться оптимальному по двум параметрам алгоритму.

Программа читает входные данные и определяет их тип по mime-type. Для классификации выбираются бинарные, текстовые и файлы формата json. Для остальных типов система выставляет маркер UKN. Если файл будет состоять в основном из неизвестных файлов, то система предложит не сжимать, а запаковать в несжатый tar.

Пример запуска модуля сжатия представлен на рис. 5.

На вход подается tar контейнер, содержащий 55.3 % бинарных и 44.7 % текстовых данных. Система предложила использовать алгоритм snappy при весовом коэффициенте 1.

Повторив запуски с разным значением весового коэффициента, получаем результаты, представленные в табл. 4.

```

> python3 adaptive.py -i test_data/text-archive.tar -level 1
File contains: 0.0% JSON, 55.3% BIN, 44.7% TXT and 0.0% UNKNOWN
data
Preferred          algorithm:          Algo.snappy
Original          size              =          642.50          mb
Output            file:             test_data/text-archive.tar.snappy
Compressed size = 366.74 mb, algorithm = snappy
Ratio              =              1.75
Elapsed time = 5.69

```

Рис. 5. Листинг запуска модуля сжатия

Таблица 4

Результаты эксперимента

Level	Algorithm	Compression	Time
1	snappy	1.75	5.54
5	gzip	2.41	7.82
11	zstd	3.40	34.17
24	lzma	3.10	52.77

Как видим из полученных результатов, алгоритм способен предлагать оптимальный алгоритм при условии верного распознавания типов файлов. Неточность распознавания типа привела к увеличению времени работы lzma, при этом степень сжатия ухудшилась по сравнению с zstd.

Таким образом, представлены методы ускорения обмена данными в распределенной файловой системе за счет реализации адаптивного сжатия, которое позволяет сократить накладные расходы и обеспечить оптимальное использование трафика.

Список литературы

1. Mahoney M. 10 gb compression benchmark. URL: <https://www.matt-mahoney.net/dc/10gb.html>
2. Sezgin S., Krintz Ch. Ace: A resource-aware adaptive compression environment // Proceedings ITCC 2003. International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas : IEEE, 2003.
3. Blelloch E. Introduction to Data Compression, Computer Science Department. Pittsburg : Carnegie Mellon University. 2002.
4. Jyrki A. [et al.]. Comparison of brotli, deflate, zopfli, lzma, lzham and bzip2 compression algorithms. Google Inc. 2015. P. 1–6.
5. Ville S. [et al.]. Finding a "kneedle" in a haystack: Detecting knee points in system behavior // 31st International conference on distributed computing systems workshops. Minneapolis : IEEE, 2011.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗВИТИЯ
КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
СИСТЕМЫ В ИТ-КОМПАНИИ**

**Виктор Васильевич Калевко¹,
Дмитрий Григорьевич Лагерев²**

*^{1,2}Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Россия*

¹kalevko_victor@inbox.ru

²lagerevdg@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена актуальность применения информационной технологии управления процессом развития компетентностного потенциала проектно-ориентированной организационной системы. Представлены результаты экспериментальной апробации данной информационной технологии в ИТ-компании, специализирующейся на выполнении программных проектов.

Ключевые слова: компетентностный подход, информационная технология, ИТ-проекты

**APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY
FOR MANAGING THE DEVELOPMENT PROCESS
OF COMPETENCE POTENTIAL OF A PROJECT-ORIENTED
ORGANIZATIONAL SYSTEM IN THE IT COMPANY**

Viktor V. Kalevko¹, Dmitriy G. Lagerev²

^{1,2}Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹kalevko_victor@inbox.ru

²lagerevdg@yandex.ru

Abstract. The relevance of using information technology to manage the process of developing the competence potential of a project-oriented organizational system is considered. The results of experimental testing of this information technology in an IT company specializing in the implementation of software projects are presented.

Keywords: competency-based approach, information technology, IT projects

В проектно-ориентированных организационных системах, т.е. в организациях, основная деятельность которых связана с вы-

полнением проектов [1], значительное внимание уделяется управлению компетенциями (знаниями, умениями и навыками) сотрудников. Компетентностный потенциал (КП) [2], как совокупность компетенций сотрудников, является важным фактором эффективного функционирования и конкурентоспособности таких систем (например, ИТ-компаний, конструкторских бюро и др.).

Наличие необходимого набора и объема компетенций сотрудников, которые требуются для выполнения задач проекта, достаточно часто является определяющим критерием при рассмотрении проектов-кандидатов для включения их в портфель проектов [3]. В свою очередь целенаправленное развитие КП организационной системы может позволить выполнять проекты с более высокой эффективностью [4].

Управление КП требует не только учета планируемых потребностей портфеля проектов, но и оценки влияния планов развития компетенций сотрудников на текущую проектную деятельность из-за возможного отвлечения сотрудников на обучение. Все это требует учета данных о текущих и рассматриваемых проектах, компетенциях сотрудников, вариантов развития КП организации в целом, а также согласования вырабатываемого решения между соответствующими ответственными лицами.

Для управления процессом развития КП проектно-ориентированной организационной системы предложена информационная технология, основанная на специализированном методе и моделях, которая позволяет в достаточной мере учесть указанную выше проектную специфику [2].

Руководитель портфеля проектов при анализе проекта-кандидата может оценить требуемый для работы над проектом набор и уровни компетенций участников рассматриваемой команды, включая возможность развития необходимых компетенций участников команды к началу работы над проектом. Служба управления персоналом может сформировать возможные программы развития компетенций сотрудников на основе выбранных целевых уровней компетенций. При этом программы развития должны быть согласованы с руководителями проектов, в которых на текущий момент задействованы рассматриваемые сотрудники с учетом влияния на календарные планы проекта, и скорректированы в случае осложнения оперативной обстановки в процессе выполнения проекта.

Для автоматизации перечисленных задач в рамках информационной технологии спроектирован специализированный программный комплекс, а также выполнена программная реализация части

модулей. Функциональные возможности данного программного комплекса позволяют проводить оценку целевого состояния КП исходя из возможных планируемых проектов, формировать программы развития с учетом занятости сотрудников в текущих проектах и контролировать выполнение утвержденных программ развития (рис. 1). Большую часть необходимых данных для рассматриваемых задач, как правило, можно получить из уже используемых в организации информационных систем управления портфелем проектов и компетенциями сотрудников или других источников данных. В процессе подстройки информационной технологии под особенности используемых в конкретной компании информационных систем потребуется реализовать необходимые интеграционные инструменты для получения данных проектов, компетенций сотрудников и др.



Рис. 1. Схема использования информационной технологии управления процессом развития КП проектно-ориентированной организационной системы

Применение данной информационной технологии актуально для ИТ-компаний, разрабатывающих большое количество программных проектов. В условиях динамичной конкурентной среды ИТ-компании заинтересованы в оперативной подстройке под изменяющиеся условия на рынке, чтобы оставаться конкурентоспособными и устойчивыми.

Компания ООО «АйТи Про» занимается разработкой ИТ-проектов и имеет достаточно большой штат специалистов, поэтому для нее актуальна описанная проблематика управления компетентностным потенциалом. В данной компании была проведена экспериментальная апробация представленной информационной технологии. При проведении оценки нескольких проектов-кандидатов рассматривалось, какие компетенции необходимы для выполнения задач проекта и какие есть способы развития недостающих компетенций у текущих сотрудников и найма новых специалистов.

Для проведения апробации были разработаны адаптеры для импорта данных о проектах в формате MPP (Microsoft Project) – сетевой и календарный график задач, перечень участников проекта, распределение задач, компетенций сотрудников в формате XLSX (Microsoft Excel), данные о плановых отпусках сотрудников для учета емкости из «1С-Управление кадрами», базы кандидатов для найма с указанием компетенций из CRM Experium.

В процессе подготовки к апробации были импортированы данные рассматриваемых проектов-кандидатов и нескольких текущих проектов из портфеля. После импорта первичных данных потребовалось указать дополнительную информацию о проектах:

- 1) оценку длительности выполнения задач проектов в зависимости от уровня компетенций исполнителя задачи;
- 2) планируемые сроки выполнения проектов;
- 3) требуемую дату завершения программ развития компетенций сотрудников.

В результате с помощью программных средств информационной технологии в компании ООО «АйТи Про» были сгенерированы альтернативы вариантов воздействия на процесс развития КП, которые включали возможный найм подходящих кандидатов и программы развития компетенций сотрудников. При этом вместе с программами развития компетенций сотрудников были

сформированы скорректированные календарные графики текущих проектов, учитывающие отвлечение сотрудников на обучающие курсы. Использование информационной технологии позволило уменьшить время подготовки программ развития компетенций сотрудников на 22 %.

Трудоемкость процесса подготовки и внедрения необходимых программных средств для использования информационной технологии, включая сам импорт данных и ввод дополнительной требуемой информации, составила порядка 1 человеко-месяца, однако это были единоразовые издержки.

По итогам проведенной апробации планируется развить программную реализацию информационной технологии для снижения трудоемкости, а также провести апробацию в других предметных областях.

Список литературы

1. Добрякова К. В. [и др.]. Планирование реализации проектов в проектно-ориентированной организации: система и алгоритм внедрения // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10, №. 3. С. 1179–1192.
2. Калевко В. В., Лагерев Д. Г., Калужских К. А. Информационная технология управления компетентностным потенциалом сотрудников проектно-ориентированной организации // Системы управления и информационные технологии. 2023. № 3 (93). С. 80–85.
3. Порядина В. Л., Пшеничникова И. В. Специфика управления человеческими ресурсами в проектно-ориентированных организациях // Управление строительством. 2018. № 4. С. 134–139.
4. Матвеев А. А., Новиков Д. А., Цветков А. В. Модели и методы управления портфелями проектов. М. : ПМСОФТ, 2005. 206 с.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

УДК 004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСТОЕВ И ЗАДЕРЖЕК В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Александр Викторович Авсиевич¹,
Фидан Салаватович Арысланов²

¹ООО «Открытый код», г. Самара, Россия

²ПАО «Туймазинский завод автобетоновозов», г. Туймазы, Россия

¹Avsievich@mail.ru

²AryslanovFS@kamaz.ru

Аннотация. Разработаны требования к структуре программно-аппаратного комплекса автоматизированного контроля за выполнением ручных операций существующих технологических процессов сборки изделий, выявления простоев и задержек на участках выполнения операций существующих технологических процессов, формирования структурированной аналитической и статистической информации о производственных процессах, сформулированы функциональные возможности программно-аппаратного комплекса.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, производственный процесс, проектирование информационной системы

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM FOR DETECTING DOWNTIME AND DELAYS IN PRODUCTION PROCESSES

Alexander V. Avsievich¹, Fidan S. Aryslanov²

¹SEC "Open code", Samara, Russia

²OPJSC "Tuymazinsky plant of concrete trucks", Tuymazy, Russia

¹Avsievich@mail.ru

²AryslanovFS@kamaz.ru

Abstract. The requirements for the structure of the automated control system for the performance of manual TP operations of product assembly, identification of downtime and delays in the areas of TP operations, the formation of

structured analytical and statistical information about production processes are developed, the functionality of the hardware and software complex is formulated.

Keywords: hardware and software complex, production process, information system design

Публичное акционерное общество «Туймазинский завод автобетоновозов» (ПАО «ТЗА») – большое российское предприятие машиностроительного комплекса, входящее в состав группы компаний ПАО «КАМАЗ» и специализирующееся на проектировании и производстве спецтехники для строительной, коммунальной, сельскохозяйственной и нефтегазодобывающей отраслей.

При проведении работ по производству техники возникают простои и задержки на разных этапах ее производства. Поэтому возникают задачи, связанные с выявлением простоев и задержек в производственных процессах и получении структурированной аналитической и статистической информации, позволяющие принимать управленческие решения по оценке исполнительской деятельности сотрудников, изменению существующих технологических процессов (ТП) и производственных планов в рамках увеличения объемов выпускаемой продукции.

Для решения указанной задачи принято решение о разработке программно-аппаратного комплекса (ПАК), предназначенного для автоматизированного контроля за выполнением ручных операций ТП сборки изделий, выявления простоев и задержек на участках выполнения операций ТП, формирования структурированной аналитической и статистической информации о производственных процессах.

Для первоначального внедрения ПАК определены участки сборки-сварки рам полуприцепов и окончательной сборки прицепов и полуприцепов. Участок сборки-сварки рам полуприцепов предназначен для постовой сборки и сварки рам полуприцепов разных модификаций на базе сборных лонжеронов и изготовленных из проката двутавра и оборудован следующими стационарными площадками для технологических операций:

- стенд гибки лонжеронов;
- площадка для резки и сварки лонжеронов на подставках;
- стенд сборки-сварки прихватками средней рамы;
- стенд сборки-сварки прихватками рамы;

- стенд сборки-сварки прихватками левых и правых лонжеронов;
- 2 стенда автоматической сварки лонжеронов;
- стенд сборки-сварки прихватками средней рамы для бортового полуприцепа;
- 2 стенда сборки-сварки прихватками рам.

Общая обварка, а затем зачистка лонжеронов и рам осуществляется на остальных свободных площадях участка на «козлах». Складирование готовой продукции осуществляется на свободных площадях цеха. Перемещение грузов (комплектующие, оснастка и готовая продукция) осуществляется с помощью кран-балки.

Участки окончательной сборки прицепов и полуприцепов, подразделяется на участок сборки нижней части рамы прицепной техники и участок окончательной сборки прицепной техники.

На участке сборки нижней части рамы прицепной техники выполняются следующие технологические операции:

- монтаж и фиксация электрожгутов;
- монтаж пневмосистемы (подвеска и тормозная система);
- монтаж опорных устройств;
- монтаж осей и колес;
- монтаж рессор;
- проверка тормозной системы;
- проверка пневмосистемы;
- проверка моментов затяжки болтовых соединений;
- ручное перемещение готовой продукции к кантователю;
- кантование.

Все операции кроме кантования осуществляются на свободных площадях участка. На участке имеются две рельсовые линии сборки, на каждой из которых могут быть размещены до 3 рам прицепной техники. Помимо этого, на участке выполняется сборка-сварка кронштейнов на осях и шиномонтаж. Перемещение грузов (комплектующие, оснастка и готовая продукция) осуществляется с помощью кран-балок. После выполнения кантования рамы, она на собственном ходу перемещается с помощью «тягача» на участок окончательной сборки.

Последняя стадия сборки прицепной техники осуществляется на участке окончательной сборки прицепной техники, на

котором выполняется окончательная сборка прицепной техники на свободных площадях. Устанавливаются шторные конструкции, сигнальное оборудование, кронштейны, инструментальные ящики, тормозные башмаки, двери, лестницы, демпферы, борта, закладные и ящики под коники, колесные арки, брызговики и прочее оборудование.

В зависимости от модификации прицепной техники, выполняется их подкраска или полное окрашивание отдельных элементов. Выполняется приемка готовой продукции сотрудниками отдела технического контроля. Готовая продукция перемещается с помощью «тягача» на участки хранения и последующей реализации.

В результате проведенного анализа участков сборки-сварки рам полуприцепов и окончательной сборки прицепов и полуприцепов разработаны требования к структуре ПАК в целом, на основании которых в состав ПАК должны входить аппаратная и программная части. При этом аппаратная часть должна состоять из IP-камер, сервера видеоаналитики, коммутатора, вспомогательных устройств и компонентов для их связи и монтажа на объекте внедрения. Программная часть должна включать:

- модуль интеграции с видеокамерами и видеосистемами;
- модуль интеллектуальной обработки;
- модуль хранения информации;
- модуль авторизации и доступа к информации;
- модуль получения, обработки событий и отправки оповещений;
- модуль передачи данных между компонентами ПАК;
- модуль управления ПАК.

Аппаратная часть предназначена для получения видеоизображений производственных процессов, передачи их по линиям связи и коммутаторам на сервер видеоаналитики. По результатам обработки видеоизображений, полученные метрики (распознанные этапы технологического процесса и события) должны структурироваться, анализироваться и преобразовываться в отчетные формы.

Рассмотрим функциональные возможности, которыми должен обладать ПАК для обеспечения принятия управленческих решений по изменению используемых технологических процессов

и производственного плана для увеличения объемов выпускаемой продукции.

Структура ПАК позволяет обеспечить следующие функциональные возможности:

- непрерывный контроль за технологическими процессами на объектах внедрения в соответствии со схемами расположения стендов и постов производственных участков;
- контроль действий персонала при работе с оборудованием и инструментом;
- работу в режиме реального времени;
- формирование доказательной базы нарушения технологического процесса;
- обнаружение простоя персонала;
- классификацию действий персонала при проведении работ;
- формирование сводной информации о ситуации на участках;
- обработку информации и мониторинг ключевых показателей деятельности.

Модуль интеграции с видеокамерами и видеосистемами (сервер видеоаналитики) должен обеспечивать следующие функциональные возможности:

- поддержку получения фото- и видеоданных в любом из поддерживаемых форматов по протоколам RTP/RTSP, HTTP и с использованием стандартов ONVIF;
- поддержку передачи видеоданных в сторонние системы по протоколам RTP/RTSP, HTTP и HLS.

Модуль интеллектуальной обработки на основе видеопотока в режиме реального времени должен обеспечивать следующие функциональные возможности:

- распознавание объектов, окружающего пространства;
- идентификацию сотрудников;
- выявление фактов изменения объектов и окружающего пространства на основе архивных данных;
- отслеживание активности персонала на производственных участках;
- контроль за перемещением персонала (трекинг);
- контроль факта выполнения производственных операций;
- контроль и выявление фактов несанкционированного доступа к различным участкам производства и девиантного поведения;

- контроль и выявление фактов нарушения техники безопасности;
- автоматическое распознавание чрезвычайных ситуаций;
- анализ обработанной информации и мониторинг ключевых показателей деятельности.

Модуль управления ПАК должен обеспечивать следующие функциональные возможности:

- определение полномочий пользователей ПАК;
- управление камерами (в том числе разметка областей контроля и указание типа «детектора»);
- гибкую настройку временных интервалов различного назначения (время простоя сотрудников, технические перерывы и т.д.);
- управление хранилищами;
- управление резервными копиями.

В ходе проектирования информационной системы выявления простоев и задержек в производственных процессах ПАО «ТЗА» разработаны требования к структуре и функционалу ПАК. В настоящее время разработанная система внедряется на ПАО «ТЗА».

УДК 004.5

РОЛЬ ИНТЕРФЕЙСА В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

**Татьяна Анатольевна Коваленко¹,
Мария Александровна Марина²**

*^{1,2}Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, г. Самара, Россия*

¹tanay_kovalenko@mail.ru

Аннотация. Раскрывается роль пользовательского интерфейса в разработке программных приложений. Дается определение интерфейса, описываются технологии и тренды создания интерфейса.

Ключевые слова: интерфейс, компьютер, программные приложения, технология, тренд, разработка

THE ROLE OF THE INTERFACE IN THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS

Tatiana A. Kovalenko¹, Maria A. Marina²

^{1,2}*Volga Region State University of Telecommunications and Informatics,
Samara, Russia*

¹tanay_kovalenko@mail.ru

Abstract. The article reveals the role of the user interface in the development of software applications. The definition of the interface is given, technologies and trends in the creation of the interface are described.

Keywords: interface, computer, software applications, technology, trend, development

В настоящее время эффективность и качество использования компьютерных систем все больше определяются как пользовательским, так и внутрисистемными интерфейсами. Поэтому рассмотрение и анализ проблем, связанных с разработкой и выбором интерфейсов является актуальной.

Пользовательский интерфейс служит средством взаимодействия компьютера и оператора. Выбор вида интерфейса и его конструкция, в частности, зависит от опыта применений существующих знаний, предметной области, в которой будет использоваться интерфейс, наличия готового решения существующей проблемы, а также сложности решения требуемой задачи.

Цифровые продукты создаются маркетологами и разработчиками, а они, как правило, противостоят друг другу. Маркетологи хорошо разбираются в возможностях рынка, поэтому выставляют требования, способствующие успешным продажам. Разработчиков интересует в основном техническая сторона дела и, соответственно, функциональность и эффективность реализации интерфейса продукта.

Технологии создания пользовательских и программно-аппаратных интерфейсов целесообразно рассматриваться комплексно. За последние годы методы организации интерфейса в системе человек-компьютер получили значительное развитие и приобрели определенную логическую завершенность. Интерфейс можно раз-

делить на несколько уровней, функции которых можно представить в виде обобщенных структур. Такая интерпретация помогает объяснить свойства каждой структуры, обосновать принятые принципы их использования. Одним из примеров является проектирование интерактивного WEB-приложения, в котором разработчики сталкиваются с выбором ряда интерфейсов:

- на уровне взаимодействия пользователя с клиентской программой;

- на уровне взаимодействия клиентской машины с машиной сервером;

- на уровне взаимодействия сервера со сторонней программой или с другим сервером.

Как видим, роль интерфейса в разработке программных приложений неоспорима, так как при создании программного приложения мы используем ряд программ и, соответственно, пользовательский интерфейс. Поэтому, если интерфейс понятен и удобен, то разработка будет выполнена качественно и в кратчайший срок. Если же интерфейс непонятен, то для реализации какой-либо операции затрачиваем массу времени на понимание инструментов пользовательского интерфейса.

Рассмотрим современные тренды создания интерфейсов.

Одним из наиболее заметных трендов в проектировании интерфейсов является минимализм, предполагающий создание интерфейсов с минимумом информации и функциональности, включающей только функции необходимые для работы. Следовательно, стараются не перегружать пользователей избыточной информацией. Такой подход делает интерфейс более простым и понятным для пользователей, что повышает производительность приложения и скорость работы пользователей.

С развитием мобильных технологий все большее количество пользователей получают доступ к интернету и приложениям через мобильные устройства. Вследствие этого проектирование интерфейсов стало ориентироваться на мобильные устройства, что предполагает использование более простых и компактных элементов интерфейса, оптимизацию для сенсорных экранов и увеличение внимания к скорости и производительности приложений на мобильных устройствах.

Что же касается технологий создания интерфейсов, то на сегодняшний момент их очень много:

– расширенная реальность (AR), позволяющая добавлять виртуальные объекты и элементы в реальный мир, что может существенно повысить эффективность взаимодействия пользователей с приложением;

– виртуальная реальность (VR), позволяющая создавать совершенно новое пространство, в котором пользователи могут взаимодействовать с приложением;

– голосовые интерфейсы становятся все более популярными, так как позволяют пользователям взаимодействовать с приложением посредством голосовых команд и т.д.

Технологии и тренды в проектировании интерфейсов постоянно совершенствуются, поэтому для обеспечения высокой эффективности разработки программных приложений, дизайнерам необходимо быть в курсе последних инноваций и технологий. Успех проектирования приложений предполагает не только реализацию эффективного и удобного интерфейса, но и создание качественного программного приложения. Поэтому при разработке пользовательского интерфейса дизайнеры должны учитывать целевую аудиторию, требования пользователей и функционал приложения.

В целом разработка качественных интерфейсов является сложным процессом, требующим многолетнего опыта и навыков. Однако при соблюдении лучших практик и использовании новых технологий дизайнеры могут создавать интерфейсы, которые будут не только функциональными, но и удобными в использовании, что положительно скажется на разработке программных приложений, в которых пользовательский интерфейс играет не последнюю роль.

Список литературы

1. Коваленко Т. А. Влияние интерфейса на восприятие программного продукта // Информационно-Вычислительные технологии и их приложения : сб. науч. тр. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2019. С. 104–107.

2. Проектирование графического интерфейса. URL: <https://habr.com/ru/post/208966/>

3. Купер А. Об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб. : Символ-Плюс, 2015. 242 с.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СЕМАФОРА КАК СРЕДСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ

Алина Алексеевна Куршева

*Самарский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

alinakursheva@yandex.ru

Аннотация. У многих систем, например мультипрограммных или мультипроцессорных, бывает необходимость в синхронизации потоков и процессов. Данная синхронизация нужна для предотвращения и исключения эффекта «гонок» или «тупиков». В работе разработана программа, которая позволяет синхронизировать процессы с использованием семафора.

Ключевые слова: семафор, синхронизация процессов, мультипроцессорные системы

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF A SEMAPHORE AS A MEANS OF SYNCHRONIZING PROCESSES

Alina A. Kursheva

Samara State Transport University, Samara, Russia

alinakursheva@yandex.ru

Abstract. Many systems, for example, multi-program or multiprocessor, may need to synchronize threads and processes. This synchronization is necessary to prevent and eliminate the effect of «races» or «dead ends». A program has been developed that allows you to synchronize processes using a semaphore.

Keywords: semaphore, process synchronization, multiprocessor systems

Часто в системах процессы и потоки выполняются синхронно и не зависят напрямую друг от друга. Однако в прикладных задачах иногда возникает необходимость согласования скоростей выполнения процессов и потоков, то есть иногда нужно их приостанавливать до наступления определенного события, после которого они опять активизируются [1]. В мультипрограммных системах нередки ситуации «гонок» – несколько процессов или потоков

создают разделяемые данные и финальный результат системы сложится в зависимости от соотношения их скоростей, и «тупиков» – какой-либо процесс не может использовать ресурс и получить доступ к данным, так как они используются другим активным процессом.

Для синхронизации потоков разработчики применяют специальные программные средства, например, семафоры, которые являются обобщением блокирующих переменных.

Принцип работы семафора: вводятся два примитива, которые называются P и V . Допустим, что переменная S – сам семафор. В таком случае, действия $V(S)$ и $P(S)$ определяются так:

1. $V(S)$ – переменная S инкрементируется единым действием, в это же время другие процессы не могут взаимодействовать с данными из S , пока не закончится операция.

2. $P(S)$ – переменная S декрементируется, если это возможно. Если S равно нулю и далее нельзя уменьшить переменную, оставаясь в пределах целых положительных значений, то поток, который хочет совершить операцию P , находится в ожидании, пока это уменьшение станет возможным.

Классический пример использования семафора – задача про парикмахерский салон. Пусть имеются 5 клиентов, которым нужно сделать стрижку, и только 2 парикмахера, которые могут принимать одновременно по одному человеку. Разработаем программу на языке программирования Java с функцией семафора со счетчиком 2, чтобы соответствовать условию: одновременно стрижься могут только два человека. Таким образом, в один момент времени могут работать только два потока, так как класс Parik унаследован от Thread. Методы acquire() и release() класса Semaphore управляют его счетчиком разрешений. Метод acquire() запрашивает разрешение на доступ к ресурсу у семафора. Если счетчик > 0 , разрешение предоставляется, а счетчик уменьшается на 1. Метод release() «освобождает» выданное ранее разрешение и возвращает его в счетчик: увеличивает счетчик разрешений семафора на 1.

Фрагмент программного кода с функцией семафора:

```
...
static class Parik extends Thread {
private Semaphore sem;
```

```

        //String name;
        int mesta = 0;
//boolean full = false;
// постригся ли клиент
        private boolean full = false;
private String name;
Parik(Semaphore sem, String name, int mesta) {
this.sem = sem;
this.name = name;
this.mesta = mesta; }
public void run()
{try{
        // если клиент еще не стригся
        if (!full) {
//Запрашиваем у семафора разрешение на выполнение
        sem.acquire();
        if(G.mesta == 0)
        {System.out.println ("МЕСТА СВОБОДНЫ!");}
G.mesta = mesta+1;
System.out.println (name + " садится делать прическу");
        // клиент стрижется
        if(G.mesta == 2)
{System.out.println ("ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ!");}
        G.mesta = mesta-1;}
        ...
        ...
        ...}}

```

Результаты выполнения программы на консоли без использования и с использованием семафора представлены на рис. 1.

При выполнении программы с использованием семафора видно, что сохраняется правильность работы системы: в парикмахерской всего два места и они поочередно занимают посетителями. Без семафора программа работает неправильно, то есть, когда уже два посетителя заняли свои места и приходит третий, в этот момент система сообщает об ошибке и что все места заняты. Цикл продолжает выполняться дальше, пока кто-то из посетителей не уйдет. Получается, что потоков приходит больше, чем система может их обработать. Семафор помогает регулировать эту проблему. Такой принцип работы применим и к более масштабным системам.

<p>Размерность семафора: 2 Количество парикмахеров: 1 МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Оля садится делать прическу Вася садится делать прическу Карина садится делать прическу ОШИБКА! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! Оля постригся! Уходит из парикмахерской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Валя садится делать прическу ОШИБКА! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! Вася постригся! Уходит из парикмахерской Карина постригся! Уходит из парик- махерской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Настя садится делать прическу Кирилл садится делать прическу ОШИБКА! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! Валя постригся! Уходит из парикмахерской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Виталий садится делать прическу ОШИБКА! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ОШИБКА! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! Кирилл постригся! Уходит из парик- махерской Настя постригся! Уходит из парик- махерской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ!</p>	<p>Размерность семафора: 2 Количество парикмахеров: 1 МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Вася садится делать прическу Оля садится делать прическу ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! Оля постригся! Уходит из парикмахерской Вася постригся! Уходит из парикмахерской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Валя садится делать прическу Карина садится делать прическу ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! Валя постригся! Уходит из парикмахерской Карина постригся! Уходит из парикмахер- ской МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! МЕСТА СВОБОДНЫ! ПРОХОДИТЕ К ПАРИКМАХЕРУ! Антон садится делать прическу Кирилл садится делать прическу ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! ВСЕ МЕСТА ЗАНЯТЫ! ПОДОЖДИТЕ! Кирилл постригся! Уходит из парикмахер- ской Антон постригся! Уходит из парикмахер- ской</p>
--	--

Рис. 1. Выполнение кода без использования
и с использованием семафора

Список литературы

1. Синхронизация процессов и потоков // Studbooks.net URL: https://studbooks.net/2164446/informatika/sinhronizatsiya_protsesov_i_potokov?ysclid=lngbh4bkqp934863380 (дата обращения: 01.09.2023).

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ НА ОСНОВЕ MEDIAWIKI

Алексей Юрьевич Сапожников¹,
Михаил Викторович Юрлов²,
Анна Сергеевна Маврина³

*^{1,2,3}ПАО «ОДК-Уфимское моторостроительное
производственное объединение», г. Уфа, Россия*

¹sapojnikovayu@umpo.ru

²yurlovmv@umpo.ru

³mavrinaas@umpo.ru

Аннотация. Предложен подход, базирующийся на методологии TOGAF, для проектирования системы управления знаниями. Обоснован выбор MediaWiki по выделенным критериям из множества программных продуктов. Предложена архитектура системы управления знаниями на основе MediaWiki с дополнительным функционалом в виде разработанных программных расширений. Приведен пример программной реализации системы управления знаниями.

Ключевые слова: система управления знаниями, системы управления знаниями, MediaWiki

APPROACH TO DEVELOPING A KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM BASED ON MEDIAWIKI

Alexey Yu. Sapozhnikov¹, Mikhail V. Yurlov²,
Anna S. Mavrina³

^{1,2,3}OPJSC "UEC – Ufa Engine Industrial Association", Ufa, Russia

¹sapojnikovayu@umpo.ru

²yurlovmv@umpo.ru

³mavrinaas@umpo.ru

Abstract. The approach based on TOGAF methodology for designing a knowledge management system (KMS) is proposed. The choice of the MediaWiki software according to the selected criteria from a set of software products is justified. The architecture of the knowledge management system based on MediaWiki with additional functionality in the form of program extensions is proposed. An example of program realization of the KMS is given.

Keywords: knowledge management system, KMS, MediaWiki

Применение системы управления знаниями (СУЗ) является индикатором зрелости современного предприятия, занятого разработкой и производством наукоемкой продукции. К моменту создания СУЗ на предприятии, как правило, уже существует сложившаяся корпоративно-информационная система, состоящая из систем различных классов: CAD/CAE/CAM/PLM/MES/ERP и т.д.

На IT-рынке существует большое количество информационных систем (ИС), предоставляющих функционал по управлению знаниями. В этих условиях необходимо выделить значимые критерии и функции для проектирования СУЗ. В [1] предложен выбор ИС по критериям: стоимость использования, поисковые возможности, настраиваемость системы, аналитические возможности системы, возможности по управлению контентом и удобство работы пользователей. В соответствии с этими критериями и методом анализа иерархий для разработки СУЗ выбран движок MediaWiki [2].

Внедрение новой ИС на предприятии означает переход в новое целевое состояние, поэтому основой для разработки СУЗ может служить методология TOGAF (The Open Group Architectural Framework), которая появилась как стандарт разработки архитектуры предприятия [3]. Метод ADM (Architecture Development Method) в составе TOGAF реализует переход от текущего к целевому состоянию через 10 фаз архитектурного цикла (рис. 1).

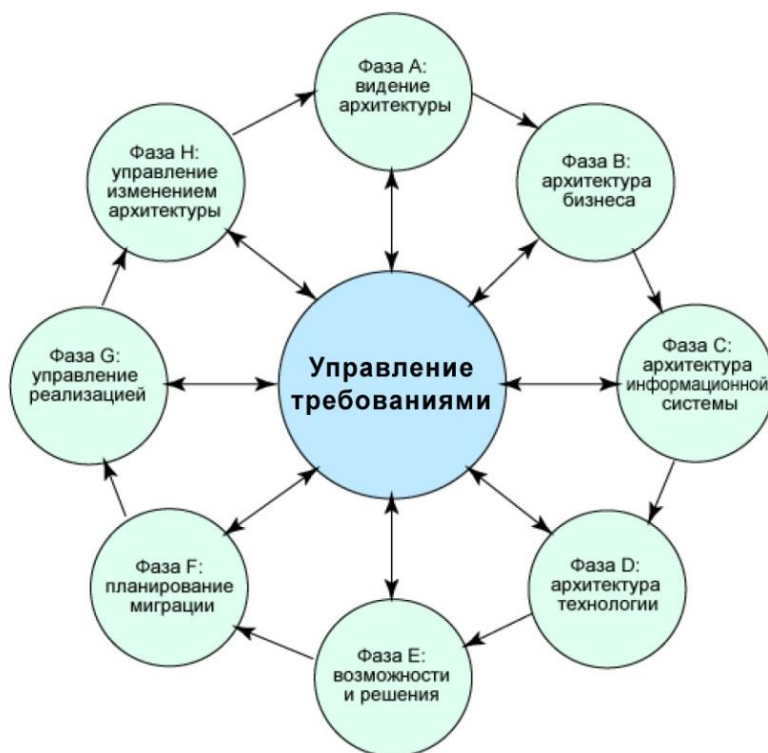


Рис. 1. Метод разработки архитектуры (ADM) TOGAF

Детализация архитектуры ИС, включающей архитектуру данных и архитектуру приложений, соответствует фазе «С».

Функционал СУЗ, использующей медиа-файлы и процедуру проверки статей экспертами, можно определить следующими требованиями:

1. Возможность работы с материалами (статьями).
 - 1.1. Хранение.
 - 1.2. Создание новых статей.
 - 1.3. Изменение существующих статей.
 - 1.4. Использование в статьях медиа-файлов.
 - 1.5. Наличие процедуры согласования статей.
 - 1.6. Полнотекстовый поиск.
2. Возможность распределенной работы с системой.
 - 2.1. Единая система уведомления пользователей о событиях.
 - 2.2. Единая система аутентификации пользователей.
3. Возможность разработки дополнительного функционала.

Преимуществом MediaWiki является открытый исходный код, что позволяет адаптировать ее к существующей ИТ-инфраструктуре. В то же время базовый функционал MediaWiki содержит не все возможности для достижения указанного целевого состояния. Данный недостаток устраняется разработкой дополнительных расширений (extensions). Предлагаемая архитектура СУЗ, соответствующая указанным требованиям, приведена на рис. 2.

Расширения LDAP и PluggableAuth позволяют отправлять MediaWiki запросы в Microsoft Active Directory для авторизации и аутентификации пользователей.

Расширение Echo добавляет в MediaWiki систему уведомлений. Еще три расширения отвечают за поиск, правку статей и обработку медиа-файлов.

Согласование новых статей выполняется по алгоритму, описанному в [1], программная реализация выполнена в виде трех взаимосвязанных компонентов:

- 1) MiniORM реализует объектно-реляционное отображение для взаимодействия с базой данных, необходимого в Review и Workflows;
- 2) Workflows – программный комплекс [4] для исполнения рабочих процессов, реализующий стандарт BPMN 2.0;
- 3) Review реализует процесс согласования в комплексе Workflows.

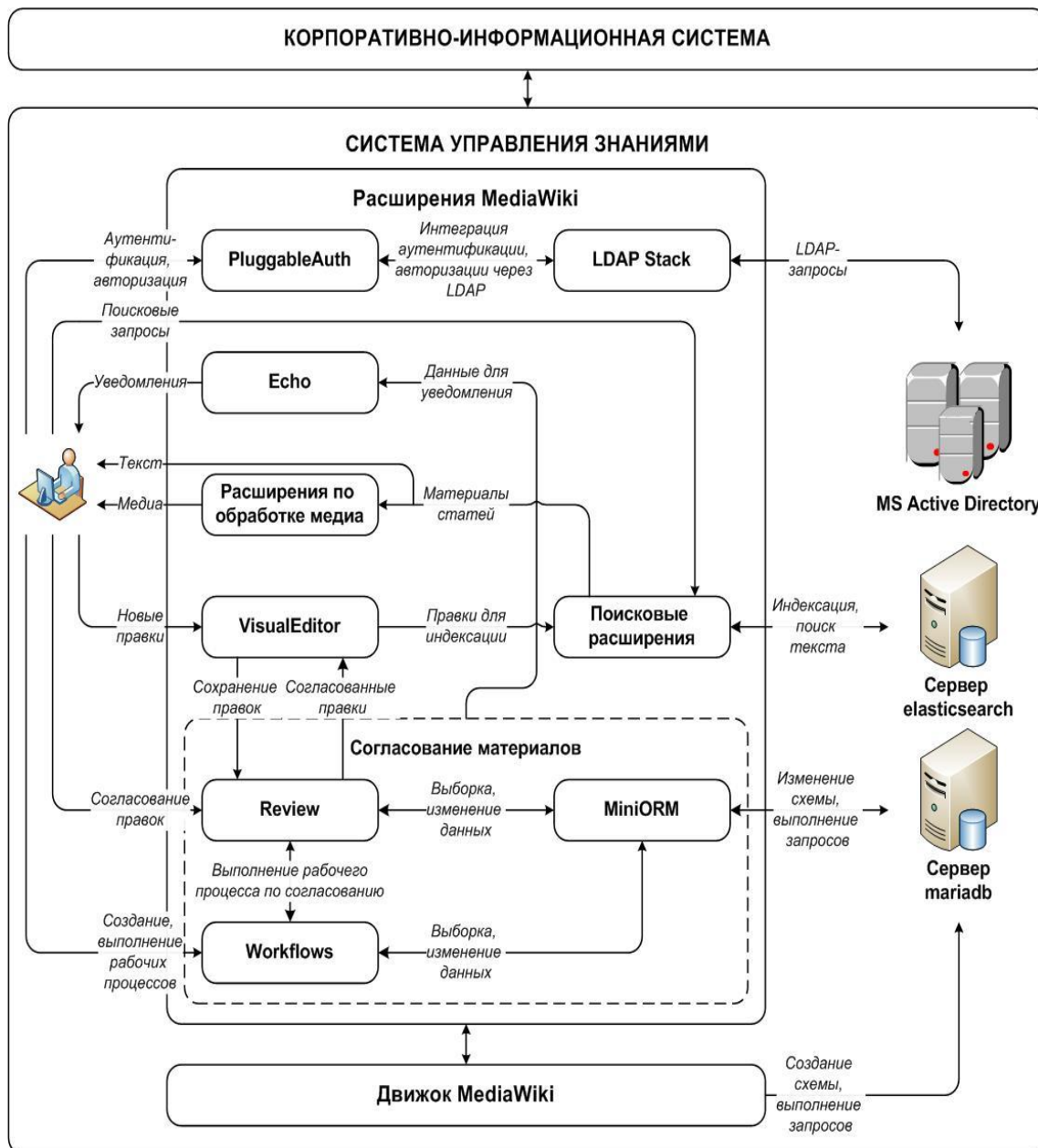


Рис. 2. Архитектура СУЗ на основе MediaWiki и разработанных приложений

На рис. 3 представлен пример назначения ключевых слов статье для дальнейшего выбора экспертов по согласованию; на рис. 4 – результат обработки запроса пользователя с использованием полнотекстового поиска.

Таким образом, продемонстрирован подход, базирующийся на методологии TOGAF для проектирования СУЗ, выбор ИС по заданным критериям, программная реализация на основе движка MediaWiki с дополнительным функционалом в виде программных расширений по предложенной архитектуре.

Отменить	Revision inspection	Завершить
Article	Difference	Назначение ключевых слов
<p>Цели и задачи деятельности по управлению ИТ-знаниями</p> <p>Основные цели деятельности по управлению ИТ-знаниями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • повышение скорости выполнения запросов за счет успешного применения статей базы знаний (базы знаний); • уменьшение количества запросов к специалистам за счет выполнения части запросов пользователями самостоятельно; • распределение знаний по всем заинтересованным работникам; • актуальность и полнота информации по ИТ-услугам. <p>Задачи деятельности по управлению знаниями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выявление необходимости регистрации статей БЗ; • формирование статей БЗ; • экспертная оценка, классификация и актуализация статей БЗ; • обеспечение удобного поиска нужных статей БЗ; • применение статей для выполнения запросов и принятия решений специалистами; 		<p>Ключевые слова</p> <p>база знаний X</p> <p>управление ит знаниями X</p> <p>Введите ключевые слов</p> <p>Подтвердить</p> <hr/> <p>Создание ключевых слов</p> <p>Ключевое слово</p> <p>Введите ключевое слово *</p> <p>Синонимы</p> <p>Введите синонимы (опцио</p> <p>Подтвердить</p>

Рис. 3. Создание и назначение статье ключевых слов в СУЗ

Search results

Q ит знания

Content pages [Multimedia](#) [Everything](#) [Advanced](#)

Showing results for **ит знаниями**. No results found for **ит знания**.

Create the page "[ИТ знания](#)" on this wiki! See also the page found with your search.

[Цели и задачи деятельности по управлению ИТ-знаниями](#)

Основные цели деятельности по управлению **ИТ-знаниями**:
 повышение скорости выполнения запросов за счет успешного применения статей базы знаний (базы знаний);...

Рис. 4. Результат обработки запроса в СУЗ

Список литературы

1. Кузнецов А. А., Сапожников А. Ю., Куликов Г. Г. Архитектура информационной подсистемы организации метамодели знаний в предметно-ориентированной проектной области (на примере образовательно-производственной среды) // Вестник УГАТУ. 2022. Т. 26, № 4 (98), С. 29–39.
2. MediaWiki. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MediaWiki> (дата обращения: 20.09.2023).
3. The Open Group. The TOGAF Standart, 10th Edition. URL: <https://www.opengroup.org/togaf/> (дата обращения: 17.09.2023).
4. Программный комплекс исполнения рабочих процессов для системы управления знаниями : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682138 / Кузнецов А. А., Юрлов М. В., Сапожников А. Ю., Куликов Г. Г., Антонов В. В. № 2022681359 ; заявл. 08.11.2022 ; зарег. 18.11.2022.

ИНСТРУМЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Юлия Юрьевна Терентьева

*Центр информационных технологий и систем
органов исполнительной власти имени А. В. Старовойтова,
г. Москва, Россия*

terjul@mail.ru

Аннотация. Изложены результаты работы, направленной на моделирование процессов проектирования, модернизации и эксплуатации сетей связи высоких размерностей. Результаты включают описание как теоретико-алгоритмических моментов, так и моментов, связанных непосредственно с разработкой программного обеспечения. Совокупность программно реализованных теоретических исследований в области анализа сетей связи является качественным инструментом для выполнения технико-аналитических работ, предваряющих строительство новых объектов сети связи (с выработкой оптимального решения, что чрезвычайно важно и имеет экономический эффект при территориально разнесенных сетях), организации новых каналов связи, а также может рассматриваться в качестве основы инструмента мониторинга состояния сети связи и генерации оптимальных решений задач обработки ее параметров.

Ключевые слова: цифровой двойник сети связи, сеть связи, теория графов

TOOL FOR SIMULATION OF TERRITORIALLY DISTRIBUTED HIGH DIMENSIONAL COMMUNICATION NETWORKS

Julia Y. Terentyeva

*Center for Information Technologies and Systems of Executive Authorities
named after A. V. Starovoitov, Moscow, Russia*

terjul@mail.ru

Abstract. The results of work aimed at modeling the processes of design, modernization and operation of high-dimensional communication networks are presented. The results include a description of both theoretical and algorithmic

issues and issues directly related to software development. The set of software-implemented theoretical studies in the field of analysis of communication networks is a high-quality tool for performing technical and analytical work prior to the construction of new communication network facilities (with the development of an optimal solution, which is extremely important and has an economic effect for geographically dispersed networks), organizing new communication channels, and can also be considered as the basis of a tool for monitoring the state of a communication network and generating optimal solutions to the problems of processing its parameters.

Keywords: digital twin of a communication network, communication network, graph theory

1. Введение

Актуальность разработки модели сети связи особенно высока в условиях высоких размерностей современных сетей связи, когда высоки экономические и технические риски неоптимальных решений. Программный аналог сети связи, способный моделировать внутренние процессы, процессы проектирования, модернизации и эксплуатации сети, производить оценку технических характеристик и параметров функционирования сети, в том числе в условиях воздействий помех и окружающей среды, является обязательным атрибутом инженерно-технического сопровождения жизненного цикла современных сетей связи [1–3].

2. Функциональные возможности разработанного программного обеспечения моделирования сети связи

Функционал программного обеспечения реализуется средствами трех взаимосвязанных компонентов: визуализация, управление данными и анализ.

2.1. Основные функции визуализации

1) Представление масштабируемой карты (до 17 уровня включительно; уровень детализации – до номеров домов). При этом имеется возможность работы с различными поставщиками карт, такими как ГИС Панорама, Яндекс-карты и др., а также с локальным, автономным, собственным сервером, содержащим картографическую информацию.

2) Представление топологии сети связи на карте.

3) Представление информации об узлах и линиях связи в различных режимах.

4) Поиск и отображение узлов связи, а также населенных пунктов РФ на картографической основе.

5) Представление маршрутов; матрицы потоков.

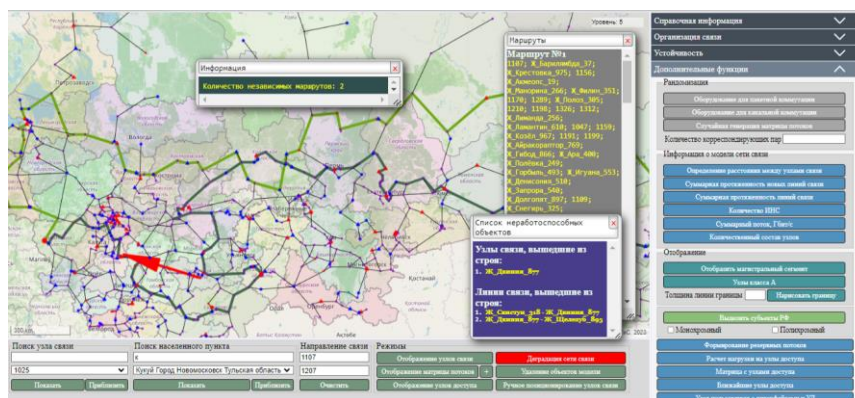


Рис. 2. Построение географически разнесенных маршрутов

2.3. Аналитические функции

1) Построение оптимального остова топологии сети для узлов сети связи; оптимальных привязок узлов связи потребителей к узлам доступа; оптимальное восстановление связности сети связи при фрагментации [4] (рис. 1).

2) Расчет нагрузки на узлы связи.

3) Определение оценки устойчивости направления связи и сети связи [5].

4) Нахождение независимых маршрутов направления связи (в том числе перестраивание маршрутов с учетом вышедших из строя объектов сети связи) [6]; оптимизация количества и поиск максимального количества вершинно-независимых маршрутов направления связи [6,7] (рис. 2).

5) Определение пропускной способности направления связи при канальной и пакетной коммутации (в том числе с учетом вышедших из строя объектов сети связи) [8] с предоставлением информации о маршрутах.

6) Определение перечня узлов связи, требующих дооснащения для пропуска заявленного трафика установленного направления связи, для канальной коммутации.

7) Построение оптимального резервного пути для заданного направления связи путем добавления новых линий связи.

8) Расчет надежности системы управления согласно модели, включающей информацию о топологии сети связи, о схеме резервирования, о надежности центров управления (расчет производится согласно комплектации оборудования и их показателей наработки на отказ), с учетом (расчетом) надежности сети связи.

9) Реализация сценария деградации сети связи посредством вывода из строя узлов и линий связи с последующей оценкой ситуации.

Заметим, что поиск независимых маршрутов имеет огромное значение в вопросах организации каналов связи, их резервирования и обеспечения живучести всей сети связи. Автором разработан эффективный алгоритм, позволяющий решать качественно задачу поиска резервных путей, которая, как правило, решалась не оптимально и для сетей связи высоких размерностей являлась критическим фактором.

3. Заключение

Совокупность решаемых задач программным обеспечением, моделирующим различные аспекты жизненного цикла сети связи, отражает современную мировую тенденцию развития технологий электросвязи и является инструментарием обеспечения качества сети связи. Программное обеспечение может быть использовано для осуществления контроля качества предоставляемых услуг связи сети связи, а также выработки оптимальных решений, направленных на достижение заданных показателей качества функционирования сети связи. В работе представлено описание программного обеспечения, так называемого прототипа цифрового двойника сети связи, с изложением его (прототипа) функциональных возможностей, являющихся в свою очередь важной ступенью к непосредственно самому цифровому двойнику сети связи.

Список литературы

1. R. Saracco. Digital twins: Bridging physical space and cyberspace // Computer. 2019. Vol. 52, № 12. P. 58–64. doi: 10.1109/MC.2019.2942803
2. Madni A. M., Madni C. C., Lucero S. D. Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering // Systems. 2019. Vol. 7, № 1. P. 7.
3. Barricelli B. R., Casiraghi E., Fogli D. A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 167, 653–667, 671.
4. Терентьева Ю. Ю. Некоторые теоретические вопросы практических алгоритмов дефрагментации сети связи // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 3. С. 13–21.

5. Терентьева Ю. Ю. Метод получения оценки надежности крупномасштабной сети связи с учетом зависимых путей // Информатизация и связь. 2017. № 1. С. 122–128.

6. Мельников Б. Ф., Стариков П. П., Терентьева Ю. Ю. Об одной задаче анализа топологии коммуникационных сетей // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 6, С. 1–8.

7. Терентьева Ю. Ю. Определение максимального множества независимых простых путей между вершинами графа // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 2. ISSN 2411–1473.

8. Кормен Т. [и др.]. Алгоритмы: построение и анализ. М. : Вильямс, 2006. С. 1296.

5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

УДК 004.358

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Евгений Юрьевич Абувалов¹, Екатерина Алексеевна Козина²,
Дмитрий Вячеславович Селянкин³, Максим Сергеевич Сурков⁴,
Анастасия Валерьевна Пушкарева⁵

*^{1,2,3,4,5} Пензенский государственный технологический университет,
г. Пенза, Россия*

¹zhenya54544@gmail.com, ³pumba.prodgg@gmail.com
⁴maks-r2016@mail.ru, ⁵a.v.push89@gmail.com

Аннотация. Рассматривается концепция создания медико-технической лаборатории с использованием технологии виртуальной реальности (VR), позволяющей оптимизировать процесс обучения инженеров, врачей и техников-лаборантов. Предложен элементный состав сценария, реализующего обучение инженеров медицинского оборудования, разработана динамическая 3D сцена виртуального приложения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, виртуальный симулятор, магнитно-резонансный томограф, инновационное обучение

CONCEPT OF CREATION OF MEDICAL-TECHNICAL VIRTUAL LABORATORY

Evgeniy Y. Abuvalov¹, Ekaterina A. Kozina²,
Dmitry V. Selyankin³, Maxim S. Surkov⁴,
Anastasia V. Pushkareva⁵

^{1,2,3,4,5} Penza State Technological University, Penza, Russia

¹zhenya54544@gmail.com, ³pumba.prodgg@gmail.com
⁴maks-r2016@mail.ru, ⁵a.v.push89@gmail.com

Abstract. The article discusses the concept of creating a medical and technical laboratory using virtual reality (VR) technology, which allows you to optimize the training process for engineers, doctors and laboratory technicians. An elementary composition of the scenario implementing the training of medical equipment engineers has been proposed, a dynamic 3D scene of a virtual application has been developed.

Keywords: virtual reality, virtual simulator, magnetic resonance tomograph, innovative training

Виртуальная реальность значительно распространилась как в потребительском, так и в профессиональном секторах [1]. По мере развития виртуальной реальности как технологии, ее общая практичность для использования в образовании также возрастала [2, 3]. Внедрения новых технологий для удовлетворения требований учебных программ и достижения результатов обучения часто является сложным процессом, требующим большого количества проб и ошибок. Актуальной является разработка концепции медико-технической виртуальной лаборатории, являющейся агрегатором технически сложного медицинского оборудования [4].

Тренажеры и симуляторы могут быть разработаны для любого устройства, имеющего ручное управление. При создании обучающего приложения необходимо учитывать принципы работы медицинских устройств, техники безопасности и режимов работы, также немаловажную роль при разработке программного обеспечения играют требования, предъявляемые к медицинскому персоналу при работе с таким типом оборудования. В качестве примера рассматривается симулятор магнитно-резонансного томографа.

В разрабатываемом симуляторе будет реализовано три основных сценария: сценарий для обучения инженеров медицинского оборудования, сценарий для обучения врачей-рентгенологов и сценарий для обучения техника-рентгенолаборанта. Элементный состав сценария, реализующего обучение инженеров, представлен на рис. 1.

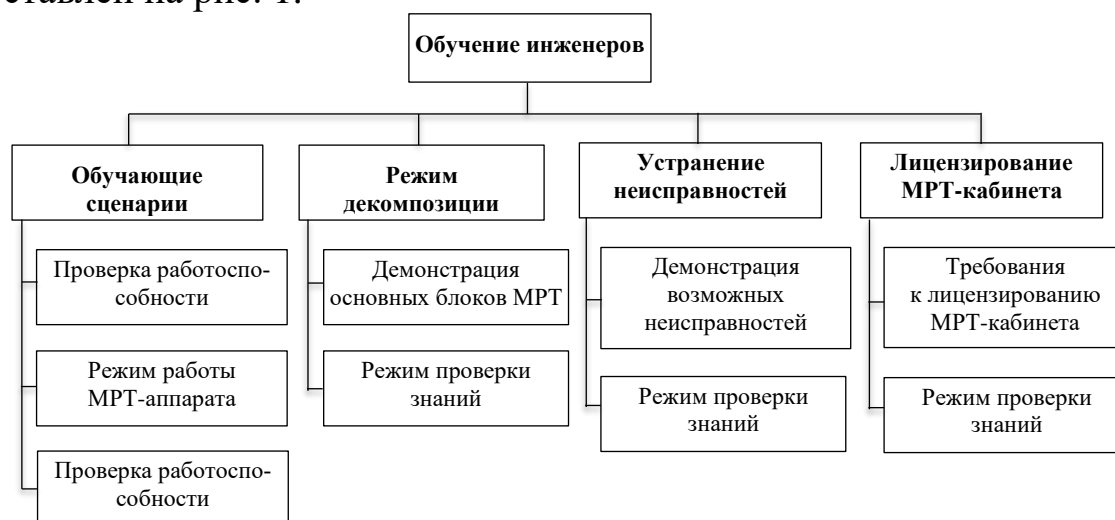


Рис. 1. Элементный состав сценария, реализующего обучение инженеров

Режим обучения медицинских работников будет включать обучение на основе общих сведений работы оборудования и кейсовые задания для проверки знаний врачей во время адаптации.

Само МРТ-исследование проводит техник-рентгенолаборант. С помощью VR-технологии лаборант сможет научиться выполнять непосредственно техническую часть исследования, включающую размещение пациента в аппарате, настройку параметров исследования и контроль его качества.

Функциональные возможности симулятора включают:

- изучение физического принципа работы медицинского оборудования;
- основные сценарии работы медицинского оборудования;
- декомпозицию медицинского оборудования с целью изучения основных блоков и их назначения;
- сценарии выявления неисправностей и методы их устранения;
- сценарии взаимодействия с пациентом при диагностике/лечении с использованием медицинского оборудования;
- сценарии подготовки и размещение пациента, осуществление съемки;
- режим тестирования знаний и практических навыков;
- создание 3D моделей медицинских кабинетов, согласно требованиям лицензирования (рис.2).



Рис. 2. 3D визуализация кабинетов для проведения МРТ-исследования

Изменения в сфере образования чаще всего происходят с задержкой, относительно других сфер деятельности. Но трансформация неизбежна, чтобы приспособиться к окружающему миру. Использование технологии виртуальной реальности при обучении

инженеров, врачей-радиологов и техников-рентгенолаборантов является эффективным инструментом повышения качества обучения и отработки практических навыков.

Список литературы

1. Синегуб А. А. Использование виртуальной реальности в образовании // Научные исследования. 2018. № 4 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-virtualnoy-realnosti-v-obrazovanii> (дата обращения: 03.10.2023).
2. Мухамадиева К. Б. Дополненная и виртуальная реальность в образовании // Образование и проблемы развития общества. 2021. № 1 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dopolnennaya-i-virtualnaya-realnost-v-obrazovanii> (дата обращения: 03.10.2023).
3. Климович Р. Р., Шкваркова Ю. О., Чернова С. В. Внедрение технологии виртуальной реальности в образование // Скиф. 2019. № 8 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tehnologii-virtualnoy-realnosti-v-obrazovanie> (дата обращения: 03.10.2023).
4. Елесин С. С., Фещенко А. В. Виртуальная реальность в образовании: сомнения и надежды // Гуманитарная информатика. 2016. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnaya-realnost-v-obrazovanii-somneniya-i-nadezhdy> (дата обращения: 03.10.2023).

УДК 004.81

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЗАДАЧИ СТРУПА И ДАННЫХ ЭЭГ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В РАЗНЫХ НАСТРОЕНИЯХ

Светлана Бороевич¹, Никола Петрович²

¹*Университет Баня-Лука, г. Баня-Лука, Республика Српска, Босния и Герцеговина*

²*Университет Нови-Сад, г. Нови-Сад, Сербия*

¹svetlana.borojevic@ff.unibl.org

²petrovicnikola@uns.ac.rs

Аннотация. Проводится всесторонний анализ корреляции между результатами испытуемых во время задачи Струпа, охватывающий как точность, так и время реакции, и их соответствующими когнитивными

состояниями, включая вовлеченность, волнение, фокус, интерес, расслабление и стресс. С помощью интегрированного подхода, использующего измерения ЭЭГ, мы раскрываем удивительную взаимосвязь между самооценкой когнитивных состояний и фактическими состояниями, измеренными с помощью ЭЭГ. Результаты исследования показывают значительную связь между осознанием испытуемыми своих когнитивных состояний и их способностью влиять на эти состояния для оптимизации их производительности. Удивительно, что несмотря на самооценку испытуемых о нарушенных когнитивных состояниях, данные ЭЭГ демонстрируют более положительный когнитивный профиль, указывая на потенциал испытуемых регулировать свои когнитивные функции для улучшения результатов задачи. Это исследование подчеркивает не только сложности когнитивной регуляции, но и важность объективных измерений для понимания взаимосвязи между когнитивными состояниями и производительностью при выполнении сложных когнитивных задач, таких как задача Струпа.

Ключевые слова: задача Струпа, когнитивные состояния, измерения ЭЭГ, оценка производительности, когнитивная регуляция

EXPLORING THE POTENTIAL OF STROOP'S TASK AND EEG DATA FOR PROFILING COGNITIVE ABILITIES AND PERFORMANCE EVALUATION IN DIVERSE SETTINGS

Svetlana Borojević¹, Nikola Petrović²

*¹University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,
Bosnia and Hercegovina*

²University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

¹svetlana.borojevic@ff.unibl.org

²petrovicnikola@uns.ac.rs

Abstract. This paper delves into a comprehensive analysis of the correlation between the performance of examinees during the Stroop task, encompassing both accuracy and response time, and their corresponding cognitive states, including Engagement, Excitement, Focus, Interest, Relaxation, and Stress. Through an integrated approach utilizing EEG measurements, we unveil a striking relationship between the self-reported cognitive states and the actual states measured through EEG. The study's findings reveal a significant link between examinees' awareness of their cognitive states and their capacity to influence these states to optimize their performance. Surprisingly, despite subjects' self-reported perceptions of compromised cognitive states, the EEG data demonstrated a more positive cognitive profile, indicating the potential for examinees to regulate their cognitive functions for enhanced task performance. This study not only underscores the intricacies of cognitive regulation but also highlights the importance of objective measurements in understanding the interplay between cognitive states and performance in complex cognitive tasks such as the Stroop task.

Keywords: Stroop task, cognitive states, EEG measurements, performance assessment, cognitive regulation

Introduction

The Stroop task, introduced by John Ridley Stroop in 1935, has become a widely utilized tool in cognitive psychology for understanding the intricate mechanisms of attentional control and cognitive processing. In its classic form, the Stroop task assesses an individual's cognitive flexibility and inhibitory control by presenting conflicting stimuli, typically color words printed in incongruent colors. Participants are required to name the color of the ink while suppressing the automatic reading of the word, often leading to interference effects and delayed response times [1]. Over the years, the Stroop task has evolved as a robust measure for evaluating various cognitive abilities, including attention, executive functions, and information processing speed, providing valuable insights into the underlying cognitive processes involved in complex cognitive tasks [2].

Parallel to the advancements in the Stroop task assessment, the utilization of Electroencephalography (EEG) has enabled researchers to delve deeper into the neural correlates of cognitive processes. EEG, a non-invasive neuroimaging technique, allows for the precise measurement of brain electrical activity, providing temporal resolution crucial for understanding the dynamics of cognitive states during task performance [3]. By capturing neural oscillations and event-related potentials, EEG offers a unique window into the real-time cognitive processes underlying attention, memory, and information processing, complementing the behavioral data obtained from the Stroop task [4].

Understanding the cognitive states associated with task performance, such as Engagement, Excitement, Focus, Interest, Relaxation, and Stress, has emerged as a critical aspect in cognitive assessment research. These cognitive states provide valuable insights into the individual's cognitive functioning, emotional responses, and overall task engagement, underscoring the intricate interplay between cognitive and affective domains during task execution [5]. Incorporating measures of cognitive states alongside the Stroop task performance and EEG data can offer a comprehensive understanding of the cognitive processes, shedding light on how cognitive states influence task performance and the underlying neural mechanisms.

This paper aims to present a comprehensive analysis of the interrelation between Stroop task performance, EEG-measured cognitive states, and their implications for understanding cognitive processing and performance regulation.

Methodology

Participants enrolled in the study were instructed to perform the Stroop's task, preceded by the acquisition of baseline EEG data using the Emotiv Insight, a 5-channel EEG device equipped with semi-dry electrodes, ensuring uninterrupted data collection with consistent signal quality throughout the experiment. Prior to commencing the task, participants were familiarized with the color/word correspondences (O-orange, P-purple, G-green, R-red) to minimize potential confusion during the task performance [6–8].

Upon completing the Stroop's task, participants were prompted to subjectively assess their cognitive states, including Engagement, Excitement, Focus, Interest, Relaxation, and Stress, using a standardized self-reporting scale. Subsequently, participants were presented with their performance results, accompanied by an in-depth analysis of the correlation between their self-reported cognitive states and task performance outcomes.

The experimental protocol was designed to include three repetitions of the Stroop's task per day, spanning three days per week, enabling the longitudinal tracking of participants' cognitive performance progression over the study period. EEG data acquisition was synchronized with the Stroop's task performance, ensuring the capture of real-time neural activity associated with cognitive processing during task execution.

Data analysis and processing were conducted using Emotiv Labs software for the Stroop's experiment. Furthermore, data preprocessing and analysis were executed in Python utilizing libraries such as MNE for EEG data processing, NumPy for numerical computations, and Scikit-learn for predictive modeling to discern patterns in the examinees' performance based on the EEG and cognitive state data [9].

The comprehensive experimental design and the meticulous integration of EEG data and cognitive state assessment facilitate a nuanced understanding of the interplay between cognitive processes, neural activity, and subjective cognitive states during the performance of the Stroop's task.

Results and discussion

The preliminary findings from the initial stages of the study present a promising glimpse into the potential implications of cognitive states on Stroop's task performance. Despite the study being in its early phase, current examinees have exhibited encouraging results, particularly highlighted in Figures 1 and 2. These figures illustrate instances where participants, reporting lower levels of Focus and Relaxation, surpassed the average performance levels, hinting at the intricate nature of cognitive regulation and its impact on task outcomes. Notably, the average response time was 684ms, surpassing 70% of the measurements from the entire database, while the accuracy stood at 98%, outperforming 81 % of the database. These initial observations suggest the possibility of cognitive modulation strategies employed by examinees to compensate for perceived cognitive deficits, thereby positively influencing their task performance.

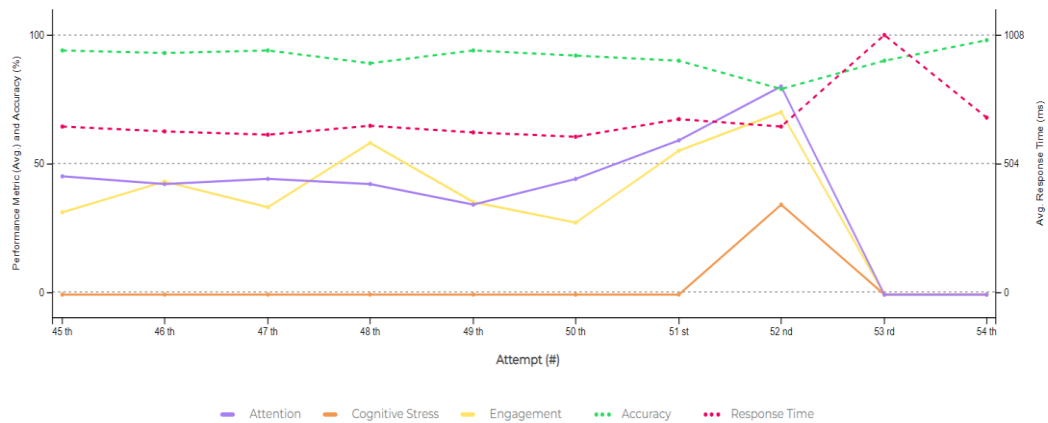


Fig. 1. Performance metrics over time

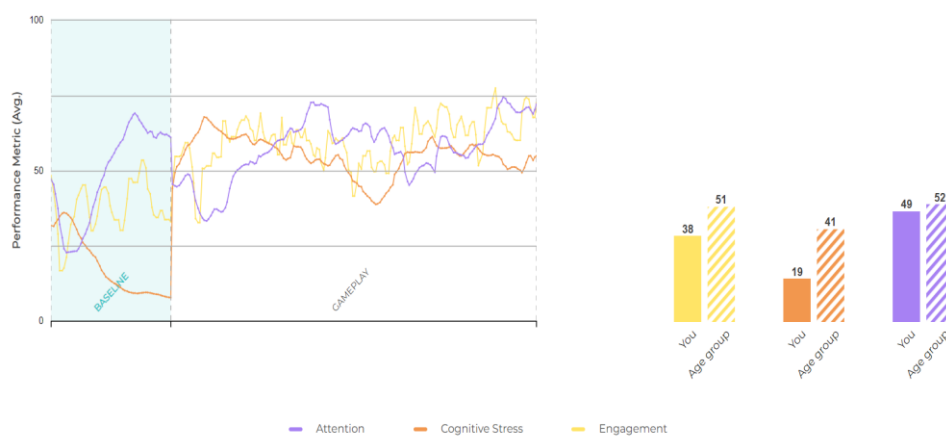


Fig. 2. Cognitive states of the examinee

The integration of the Stroop's task as an assessment tool demonstrates its versatility and adaptability in various experimental contexts.

Its ability to provide valuable insights into cognitive functioning and regulation renders it a potentially indispensable component in the assessment battery for a diverse range of cognitive experiments. The task's capacity to assess attentional control, inhibition, and cognitive flexibility makes it a robust and integrable measure for evaluating cognitive performance across different experimental paradigms, enhancing the comprehensiveness and depth of cognitive assessment protocols.

As the study progresses, a more extensive analysis of the interplay between cognitive states, neural activity, and task performance will provide a deeper understanding of the underlying mechanisms governing cognitive regulation and its impact on complex cognitive tasks. Further investigations into the modulation of cognitive states and their implications for cognitive performance will facilitate the development of personalized interventions and strategies aimed at optimizing cognitive functioning and performance outcomes across various populations.

The promising initial results underscore the importance of considering cognitive states in the evaluation of cognitive performance and highlight the potential for the Stroop's task to serve as a valuable tool in cognitive assessment, offering valuable insights into the dynamics of cognitive regulation and performance optimization.

References

1. Stroop J. R., Studies of interference in serial verbal reactions // Journal of Experimental Psychology: General. 1992. Vol. 121, № 1. P. 15.
2. MacLeod C. M. Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review // Psychological bulletin. 1991. Vol. 109, № 2. P. 63.
3. Luck S. J. An introduction to the event-related potential technique. MIT press, 2014.
4. A. Abarbanel, J. R. Evans, T. H. Budzynski, and H. K. Budzynski, Introduction to quantitative EEG and neurofeedback: Advanced theory and applications. Academic Press, 2009.
5. Berka C. [et al.]. EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks // Aviation, space, and environmental medicine. 2007. Vol. 78, № 5. P. B231-B244.
6. Emotiv. Emotiv Launcher User Manual. URL: <https://emotiv.gitbook.io/emotiv-launcher/>
7. Emotiv. Emotiv Insight Technical Specifications. URL: <https://emotiv.gitbook.io/insight-manual/introduction/technical-specifications>
8. Emotiv. Emotiv Insight User manual. URL: <https://emotiv.gitbook.io/insight-manual/>
9. Gramfort A. [et al.]. MEG and EEG data analysis with MNE-Python. Frontiers in neuroscience. 2013. P. 267.

АНАЛИЗ ЭЭГ КОГНИТИВНЫХ РЕАКЦИЙ В СИМУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Давид Ковачич¹, Никола Петрович², Светлана Бороевич³

¹Университет Сингидунум, г. Нови-Сад, Сербия

²Университет Нови Сад, г. Нови-Сад, Сербия

*³Университет Баня-Лука, г. Баня-Лука, Республика Српска,
Босния и Герцеговина*

¹david.kovacic.20@singimail.rs

²petrovicnikola@uns.ac.rs

³svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Аннотация. Данное исследование знакомит нас с тонкостями когнитивных реакций во время погружения в иммерсивную симуляцию космических путешествий, измеренных с помощью данных ЭЭГ. Разделенная на три значимые фазы – подготовку к полету, запуск и выход из гравитации Земли, а также ощущение пространства открытого космоса – симуляция направлена на захват неврологических реакций испытуемого на каждом этапе. Через тщательные измерения и аннотации ЭЭГ исследование представляет убедительные пилотные результаты, иллюстрирующие образы картографирования мозга в различных фазах симуляции. Эти результаты проливают свет на тонкости когнитивной обработки в условиях симулированных сред и предлагают понимание реакций человеческого мозга на уникальные и сложные ситуации.

Ключевые слова: виртуальная реальность, измерение ЭЭГ, картографирование мозга

AN EEG ANALYSIS OF COGNITIVE RESPONSES IN SIMULATED ENVIRONMENTS

David Kovačić¹, Nikola Petrović², Svetlana Borojević³

¹Singidunum University, Novi Sad, Serbia

²University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

*³University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,
Bosnia and Hercegovina*

¹david.kovacic.20@singimail.rs

²petrovicnikola@uns.ac.rs

³svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Abstract. This research delves into the intricacies of cognitive responses during an immersive simulation of outer space travel, as measured by EEG data. Divided into three significant phases—preparation for the flight, launch and departure from Earth's gravity, and the experience of the vastness of outer space—the simulation aimed to capture the examinee's neurological reactions at each stage. Through meticulous EEG measurements and annotations, the study presents compelling pilot results, illustrating brain mapping images across the various phases of the simulation. These findings shed light on the intricacies of cognitive processing during simulated environments and offer insights into the human brain's responses to unique, challenging situations.

Keywords: virtual reality, EEG measurement, brain mapping

Introduction

The emergence of virtual reality (VR) technologies has opened up new avenues for studying human cognitive responses in simulated environments. Particularly, the utilization of EEG (electroencephalography) data in these immersive settings has facilitated the exploration of intricate neural activities during various simulated experiences. This study focuses on analyzing the cognitive responses of participants engaged in an immersive simulation of outer space travel. With the goal of understanding the intricacies of human cognitive processing in challenging environments, we conducted an EEG analysis across three distinct phases of the simulated experience: preparation for the flight, launch and departure from Earth's gravity, and the profound encounter with the vast expanse of outer space.

Notably, the intricate nature of the human brain's responses to simulated environments has garnered significant attention in cognitive neuroscience [1]. Previous studies have demonstrated the utility of EEG in unraveling the complexities of cognitive functioning in virtual environments [2]. Building upon this foundation, our research aims to provide a comprehensive analysis of EEG data to elucidate the neurological underpinnings of cognitive responses during simulated outer space travel. By delving into the cognitive processes underlying each phase of the simulation, we seek to contribute to the broader understanding of human cognition and its adaptability in challenging, artificial environments.

This paper presents a detailed account of the EEG analysis conducted during the immersive simulation, offering insights into the brain's dynamic responses to distinct stages of the simulated experience. By examining the brain mapping images generated through meticulous

EEG measurements and annotations, we aim to unveil the underlying cognitive mechanisms at play during these simulated environments. The findings of this study are expected to contribute to the existing body of knowledge concerning the interaction between the human brain and virtual environments, with potential implications for fields such as cognitive psychology and human-computer interaction.

Methodology

This research employed precise equipment and simulation materials to capture and analyze the EEG data during the immersive virtual reality (VR) simulation of outer space travel. EEG measurement was conducted using the Emotiv Insight, a 5-channel EEG system known for its ability to record brain activity without being affected by the examinee's movements [3]. The Emotiv Insight system ensures a high signal-to-noise ratio, enabling accurate EEG data collection even during dynamic movements within the simulated environment.

Furthermore, the VR simulation was facilitated using the Oculus Quest 2, a standalone VR headset that allowed the examinee to engage in natural movements while experiencing the simulated outer space environment [4]. The Oculus Quest 2 provided a seamless and immersive experience, complemented by the incorporation of surrounding sounds, enhancing the realism of the simulated space travel.

The 360-degree video utilized in the simulation, titled "«Время Первых». Первый выход человека в открытый космос" (Time of the Firsts: The First Human Spacewalk) was provided by the CGF compan. This video content was meticulously selected to create a lifelike experience of outer space exploration, incorporating realistic visuals and environmental cues essential for inducing a comprehensive cognitive response from the examinee.

Following the completion of the simulated experience, the acquired EEG data underwent meticulous processing and segmentation based on the different phases of the experiment. The Python programming language, in conjunction with the MNE (Minnesota Neuroimaging Tools) library, was utilized for data processing and the generation of brain mapping images [5]. Additionally, the developed tool facilitated the creation of a comprehensive video representation showcasing the examinee's brain activity throughout the entirety of the simulated experience.

Results and discussion

The findings presented in this paper are a result of a collaborative effort between researchers and professors from the University of Penza, the University of Novi Sad, and the University of Banja Luka. This collaborative initiative was driven by the shared objective of advancing research endeavors and fostering meaningful partnerships between the respective institutions. The pilot experiment conducted in the context of this collaboration served as an initial step in the planned series of joint research activities, paving the way for potential future studies aimed at comparing various cognitive responses across diverse research settings.

The results of the pilot experiment demonstrate a promising potential for leveraging the insights gained from the EEG analysis conducted during the simulated outer space travel. Notably, the captured EEG data provided valuable indicators of the examinee's cognitive responses during the distinct phases of the simulated experience, shedding light on the intricate neural mechanisms underlying human cognitive processing in challenging environments. This preliminary exploration serves as a foundation for future investigations, emphasizing the significance of employing EEG analysis to discern and compare cognitive responses in various experimental contexts.



Fig. 1. A frame from the simulated outer space travel experience showcasing the examinee's brain mapping in the upper left corner

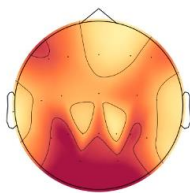


Fig. 2a. Preparation for Outer Space Flight

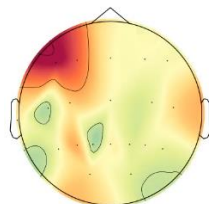


Fig. 2b. Launch and Departure into Orbit

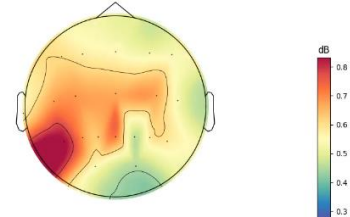


Fig. 2c. Outer Space Exploration

Moreover, the collaborative nature of this study highlights the importance of fostering interdisciplinary research collaborations across different academic institutions. By leveraging the diverse expertise and resources from multiple institutions, this study signifies the potential for cross-institutional partnerships to yield comprehensive insights into complex cognitive processes and their manifestations in simulated environments. The collaborative framework established through this study lays the groundwork for potential future endeavors aimed at fostering a deeper understanding of human cognition and its adaptability in unique and challenging situations.

References

1. Baumgartner T., Valko L., Esslen M., Jäncke L. Neural correlate of spatial presence in an arousing and noninteractive virtual reality: an EEG and psychophysiology study // *CyberPsychology & Behavior*. 2006. Vol. 9, № 1. P. 30–45.
2. Souza R. H. C., Naves E. L. M. Attention detection in virtual environments using EEG signals: a scoping review // *Frontiers in physiology*. 2021. Vol. 12. P. 727840.
3. Emotiv. Emotiv Insight Technical Specifications. URL: <https://emotiv.gitbook.io/insight-manual/introduction/technical-specifications>
4. Platforms M. Meta Quest 2. URL: <https://www.meta.com/quest/>
5. Gramfort A. [et al.]. MEG and EEG data analysis with MNE-Python // *Frontiers in neuroscience*. 2013. Vol. 7. P. 267.

УДК 004.81

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ В ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ ТЕСТИРОВАНИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ «ЦИФРОВАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ»

Никола Петровић¹, Светлана Бороевић²

¹*Универзитет Нови-Сад, г. Нови-Сад, Србија*

²*Универзитет Банија-Лука, г. Банија-Лука, Република Српска,
Боснија и Херцеговина*

¹petrovicnikola@uns.ac.rs

²svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Аннотация. Представлены предварительные результаты нового инструмента, разработанного для автоматизированной оценки и тестирования испытуемых. Тесты основаны на сертифицированных оценках, которые используются в течение продолжительного времени. Таким образом, этот инструмент предоставляет специалистам в области психологии, психиатрии, биомедицины и когнитивной нейронауки возможность проводить тесты и получать объективные измерения, касающиеся психологического состояния и состояния испытуемых. Проведенное исследование служит основным шагом для предстоящих начинаний, включая симуляции виртуальной реальности, нейротренировку и другие экспериментальные мероприятия.

Ключевые слова: психологическое тестирование и оценка, биомедицинские измерения и приборы, биомедицинская информатика

EFFICIENCY AND PRECISION IN PSYCHOLOGICAL TESTING: AN EXPLORATION OF DIGITAL INTERACTIVE PSYCHOLOGY'S AUTOMATED ASSESSMENT TOOL

Nikola Petrović¹, Svetlana Borojević²

¹University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

²University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Hercegovina

¹petrovicnikola@uns.ac.rs

²svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Abstract. This paper presents the preliminary outcomes of a newly developed tool designed for the automated assessment and testing of examinees. The tests are based on certified assessments that have been in use for an extended period. Consequently, this tool provides professionals in the fields of psychology, psychiatry, biomedicine, and cognitive neuroscience with an opportunity to conduct tests and obtain objective measurements concerning the psychological states and conditions of the examinees. The research conducted serves as a foundational step for forthcoming endeavors, including virtual reality simulations, neurofeedback, and other experimental activities.

Keywords: psychological testing and evaluation, biomedical measurement and instrumentation, biomedical informatics

INTRODUCTION

The field of psychological testing and evaluation has seen a transformative shift with the advent of digital technologies, fostering the creation of sophisticated software tools to automate and streamline the assessment process. This paper aims to contribute to this evolving

landscape by presenting a novel software tool tailored for the automated administration and analysis of psychological tests. Building upon established psychological studies concerning cognitive assessment and emotional profiling, our approach involves digitizing traditional testing methods to facilitate their delivery to examinees through both conventional screens and immersive virtual reality environments [1, 2].

Our primary objective is to establish a robust framework for the precise measurement of various psychological phenomena, drawing inspiration from seminal works on cognitive psychology and behavioral analysis [3, 4]. This foundation serves as the cornerstone for facilitating more intricate and comprehensive studies, empowering researchers to delve deeper into the complexities of human cognition and emotion. Moreover, we aim to integrate EEG measurement data, inspired by the pioneering studies of brainwave analysis and cognitive neuroscience [5, 6]. By incorporating EEG data into the analysis, we seek to unravel the intricate interplay between psychological states and neurophysiological responses, fostering a more holistic understanding of examinees' cognitive processes and emotional states.

Our software tool represents an evolutionary leap in the realm of psychological testing and assessment, drawing from the rich tapestry of psychological research and EEG measurement techniques. By harnessing advanced digital capabilities, it endeavors to provide professionals with an enhanced platform for comprehensive and nuanced psychological examination, ensuring the delivery of precise and insightful results.

Currently, the tool is undergoing active development and rigorous beta testing, in collaboration with esteemed partners in the field. This collaborative effort underscores our commitment to ensuring the refinement and reliability of the software tool, cementing its position as a robust and indispensable asset in contemporary psychological practice.

METHODOLOGY

The tool for digital interactive psychology represents an innovative solution that enables the integration of psychological tests into hybrid systems in the fields of psychology, psychiatry, neurology, biomedical engineering, and cognitive neuroscience. Developed in the C# programming language, this tool provides the capability for automated testing of subjects, data processing, data storage, presentation of responses, and achieved results.

One of the advantages of this tool is its independence, allowing it to integrate with other systems and tools designed for research with participants, facilitating continuous connection with biophysical measurements. Data protection is based on a binary key, ensuring the security of subject data and test results.

Considering that the tool is intended for international collaboration, it is designed to work in multiple languages, including English, Hindi, Russian, and Serbian.

Adapting the Test

Psychological tests are converted to CSV format, ensuring inclusion of question text, answer choices, domains, and sectors. Ethical compliance and permissions for test usage are paramount, aligning with legal and ethical standards in psychology.

Test Loading

Tests are loaded from saved CSV files within the application, generating questions and answer choices based on the designated columns.

Testing Process

Questions are sequentially displayed to participants, who respond using a dropdown menu, with data stored in a structured JSON file under authorized user-chosen names.

Data Storage and Analysis

The structured file allows standardized testing, data processing, and comparison across multiple experiments. Automatic processing of subject responses streamlines data storage and analysis.

Result Display

Results are loaded from the Results panel, providing a comprehensive view of participants' performance, organized by sectors and overall performance.

Tool Advantages

The system ensures independent, secure testing and seamless integration with various platforms. Its fast, automated data processing adheres to storage conventions, enabling complex experiments and collaborative research. Stringent security measures and ethical considerations are in place, aligned with information security standards.

RESULTS AND DISCUSSION

The integration potential of the developed tool was demonstrated during the initial stages of development and testing. Observations indicated its adaptability for seamless integration with various digital psychological experimentation systems, promising a broader scope of application and enhanced potential for elevated results within a multitude of research environments.

Consistent with our initial expectations, the tool showcased superior performance in comparison to traditional paper-based testing methods. The incorporation of simulations within the testing environment resulted in a more seamless testing experience for examinees, consequently yielding more relatable and accurate results, solidifying the tool's efficacy in modern psychological assessment practices.

Notably, no unexpected outcomes or patterns were observed during the course of our preliminary testing, affirming the robustness and reliability of the tool's design and implementation.

The results obtained through the utilization of the developed tool align closely with existing research within the domains of psychology and biomedical engineering, reaffirming its validity and credibility within the broader scientific community. These findings underscore the consistency and reliability of the tool, positioning it as a valuable asset for researchers and practitioners alike.

Building upon the solid foundation laid by these promising results, our future research endeavors are set to leverage the established system as a cornerstone, paving the way for more comprehensive and sophisticated investigations within the realm of psychological assessment and experimentation.

References

1. Lambez B., Harwood-Gross A., Golumbic E. Z., Rassovsky Y. Non-pharmacological interventions for cognitive difficulties in ADHD: A systematic review and meta-analysis // Journal of psychiatric research. 2020. Vol. 120. P. 40–55.
2. Bower I., Tucker R., Enticott P. G. Impact of built environment design on emotion measured via neurophysiological correlates and subjective indicators: A systematic review // Journal of environmental psychology. 2019. Vol. 66. P. 101344.

3. Newbutt N., Bradley R., Conley I. Using virtual reality head-mounted displays in schools with autistic children: Views, experiences, and future directions // *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2020. Vol. 23. P. 23–33.

4. Geraets C. N. Wallinius M., Sygel K. Use of virtual reality in psychiatric diagnostic assessments: A systematic review // *Frontiers in Psychiatry*. 2022. Vol. 13. P. 828410.

5. Haynes S. N., O'Brien W. H. Principles and practice of behavioral assessment. New York : Springer Science & Business Media, 2000.

6. McFall R. M., Townsend J. T. Foundations of psychological assessment: Implications for cognitive assessment in clinical science // *Psychological Assessment*. 1998. Vol. 10, № 4. P. 316.

УДК 004.5

РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО КОНФИГУРАЦИОННОГО ОКНА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКГ В СРЕДЕ PROM

**Ксения Михайловна Демушкина¹,
Алексей Анатольевич Масленников²**

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹riabova.ksenija@yandex.ru

²almas@rambler.ru

Аннотация. Рассматривается технология создания конфигурационного окна для анализа ЭКГ в программе ProM 6.11. Представлен перечень основных инструментов для разработки конфигурационного окна в среде ProM.

Ключевые слова: ProM, интеллектуальный анализ процессов, конфигурационное окно

DEVELOPMENT OF A CUSTOM CONFIGURATION WINDOW FOR ECG ANALYSIS IN THE PROM 6.11 ENVIRONMENT

Kseniya M. Demushkina¹, Aleksey A. Maslennikov²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹riabova.ksenija@yandex.ru

²almas@rambler.ru

Abstract. The technology for creating a configuration window for ECG analysis in the ProM 6.11 program is considered. A list of the main tools for developing a configuration window in the ProM environment is presented.

Keywords: ProM, intelligent process analysis, configuration window

В настоящее время актуальность технологии анализа процессов постоянно увеличиваются. Анализ процессов – это технология, позволяющая с помощью журналов событий моделировать, прогнозировать и анализировать процессы, протекающие в организации. Раньше данную технологию использовали только в интересах бизнес процессов. Сейчас ее можно увидеть в медицине, компьютерных технологиях, робототехнике, логистика и т.д. [1–4].

Инструменты, реализованные во фреймворке ProM, позволяют выполнять различные операции с журналом событий, однако из-за расширения области применения, этих инструментов может быть недостаточно. Рассмотрим основные этапы разработки конфигурационного окна для анализа ЭКГ в среде ProM.

Конфигурационное окно – это модальное окно, позволяющее пользователю с помощью ввода данных влиять на работу плагина. Для разработки конфигурационного окна требуется конфигурационная панель и элементы, которые будут добавляться в рабочую область. Для добавления элемента в плагин конфигурационного окна используется ProMPropertiesPanel – это панель свойств в инструменте ProM, который является мощным инструментом для анализа и визуализации процессов. Он предоставляет пользователю возможность просматривать и редактировать свойства различных элементов процесса, таких как события, задачи, потоки и т.д.

Перед разработкой окна необходимо скачать рабочий проект из официального репозитория ProM [5]. Для обеспечения удобного взаимодействия пользователя с окном, необходимо добавить библиотечные элементы: ProMComboBox, ProMTextField и ProMList.

ProMComboBox – элемент управления ProM, позволяющий пользователю выбирать один элемент из представленного списка вариантов.

ProMTextField – элемент управления ProM, позволяющий пользователю вводить текстовую информацию в поле редактирования данных.

ProMList – класс ProM, позволяющий хранить и обрабатывать список событий или объектов в процессе анализа процессов.

Для того, чтобы добавить элемент на панель используются методы: `panel.addComboBox()`, `panel.addTextField()`, `panel.addProperty()`. Пример кода формирования окна представлен на рис. 1.

```
public Map get_UI (){
    ProMPropertiesPanel panel = new ProMPropertiesPanel("Configure Procreation"); //Создаем конфигурационное окно
    String[] options = {"мужской", "женский"}; //Список значений для ProMComboBox
    ProMComboBox sex = panel.addComboBox("Пол:", options); //Добавляем на конфигурационное окно ProMComboBox
    ProMTextField age = panel.addTextField("Возраст"); //Добавляем на конфигурационное окно ProMTextField
    ProMTextField weight = panel.addTextField("Вес");
    ProMTextField hight = panel.addTextField("Рост");
    String[] str_providers_list = {"Ощущение сердцебиения", "Одышка",
        ["Расстройство сна", "Слабость", "Физическая нагрузка", "Эмоциональная нагрузка"];
    CombinationGenerator cg = new CombinationGenerator();
    List<List<String>> combinations = cg.generateCombinations(str_providers_list);
    List<String> providersList = Arrays.asList(str_providers_list);
    DefaultListModel<String> providers_model =new DefaultListModel<>();
    for (String provider : providersList) {
        providers_model.addElement(provider);
    }
    ProMList provider_list = new ProMList("Укажите жалобы пациента:", providers_model);
    panel.addProperty("Жалобы пациента", provider_list );
}
```

Рис. 1. Пример кода создания конфигурационного окна

Для отображения окна в программе ProM вызывается класс `InteractionResult`, представляющий результат взаимодействия окна с пользователем. Он содержит информацию о действиях пользователя, включая ввод и вывод данных. В этом классе необходимо воспользоваться методом `context.showConfiguration()`, где `context` – интерфейс в ProM, обеспечивающий доступ к контексту плагина пользовательского интерфейса. Он предоставляет различные методы и функции для взаимодействия с пользовательским интерфейсом и выполнения операций в рамках плагина. Результатом работы является конфигурационное окно для анализа ЭКГ в программе ProM, представленное на рис. 2.

Для получения данных, введенных пользователем, используйте следующие методы:

- `getText()` – вернет текст, введенный в поле `TextField`;
- `getSelectedItem()` – вернет выбранное значение в `ComboBox`;
- `getSelectedValuesList()` – вернет выбранное значение в `ProMList`.

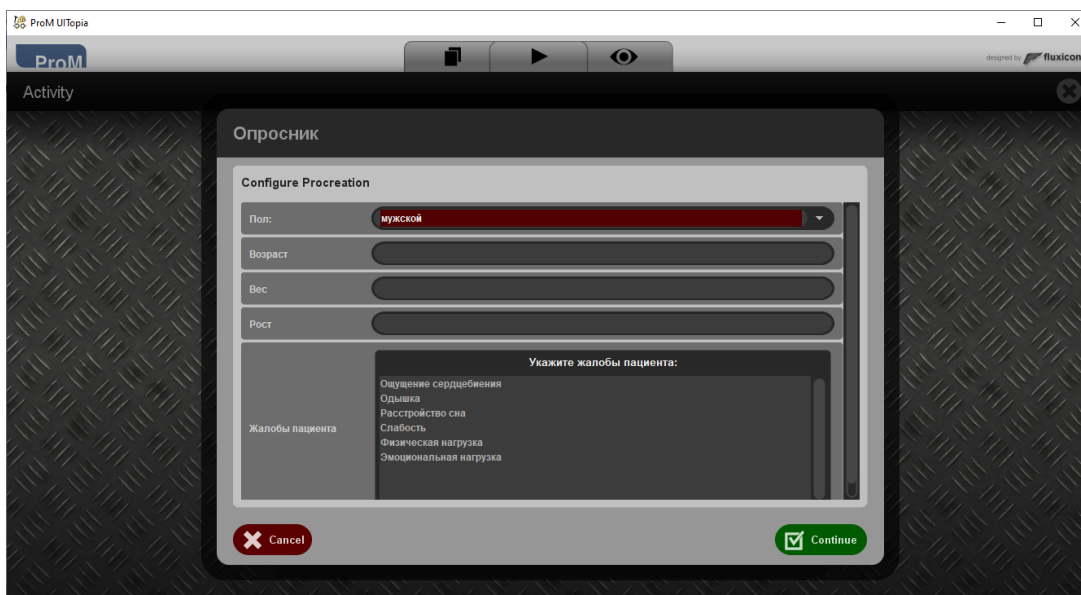


Рис. 2. Конфигурационное окно в программе ProM

Таким образом, для реализации конфигурационного окна потребуется специальная панель `ProMPropertiesPanel`, дополнительные элементы: `TextField`, `ComboBox`, `ProMList`. Причем `ProMPropertiesPanel` является классом-наследником от `JPanel`, что позволяет добавлять все элементы доступные в `JPanel`.

Список литературы

1. Хасанова А. М., Дунаев М. Е. Применение технологии Process mining для выявления аномальных ситуаций в работе наукоемкого оборудования. 2021. Т. 9, № 8. С. 9–15.
2. Демушкина К. М., Кузьмин А. В. Разработка плагина для работы с цифровыми данными ЭКГ в системе ProM 6.11 // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. тр. X Ежегод. Всерос. науч.-практ. конф. (Пенза, 15 марта 2023 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. С. 167–170.
3. Corradini F., Pettinari S., Re B. [et al.]. A Methodology for the Analysis of Robotic Systems via Process Mining. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-46587-1_7
4. Chiao-Yun Li, Aparna Joshi, Nicholas Tam [et al.]. Rectify Sensor Data in IoT: A Case Study on Enabling Process Mining for Logistic Process in an Air Cargo Terminal. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-46846-9_16
5. Рабочий проект репозитория SVN Workshop. URL: <https://svn.win.tue.nl/repos/prom/Packages/Workshop/> (дата обращения: 24.10.2023).

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Дмитрий Андреевич Ермаков¹, Елена Валерьевна Петрунина², Александр Евгеньевич Пшеничный³, Антон Юрьевич Рыбаков⁴

*^{1,2,3,4}Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия*

¹dmitriyermakov98@yandex.ru

²petruninaelenav@gmail.com

³lera.pesok@mail.ru

Аннотация. Для реабилитации пациентов с ограниченной двигательной активностью предложено использовать биотехническую систему с виртуальной реальностью. Для замыкания контура биологической обратной связи используется контроль электромиосигнала с мышц паретичных конечностей.

Ключевые слова: биотехническая система реабилитационного типа, экзоскелет, биологическая обратная связь, электромиосигнал, нейронная сеть, виртуальная реальность

VIRTUAL REALITY IN BIOTECHNICAL SYSTEMS FOR REHABILITATION OF MOTOR ACTIVITY OF THE LOWER LIMB

**Dmitriy A. Ermakov¹, Elena V. Petrunina²,
Alexander E. Pshenichny³, Anton Yu. Rybakov⁴**

^{1,2,3,4}Southwest State University, Kursk, Russia

¹dmitriyermakov98@yandex.ru

²petruninaelenav@gmail.com

³lera.pesok@mail.ru

Abstract. For the rehabilitation of patients with limited motor activity, it is proposed to use a biotechnical system with virtual reality. To close the biofeedback loop, control of the electromyosignal from the muscles of the paretic limbs is used.

Keywords: biotechnological system of a rehabilitation type, exoskeleton, biological feedback, electromyosignal, neural network, virtual reality

Восстановление двигательной активности нижних конечностей является важной научно-технической задачей. Как правило, для этого используются биотехнические системы (БТС) медицинского назначения, что обусловлено как недостатком медицинского персонала необходимой квалификации, так и необходимостью интенсификации самого процесса реабилитации. При этом важен мониторинг эффективности процесса реабилитации, который позволяет адаптировать программу (протокол) реабилитации к функциональному состоянию и адаптационному потенциалу пациента [1, 2].

В БТС процесс адаптации реализуется посредством биотехнической обратной связи (БТОС) и/или биологической обратной связи (БОС). Наиболее перспективным в настоящее время считают метод БОС, который предполагает предъявление пациенту определенного стимула, который назовем акцией, и оценку реакции пациента на эту акцию в виде интегрального показателя, который воспринимается сенсорами пациента и передается в головной мозг для анализа. Этот интегральный показатель называют регулируемым физиологическим параметром (РФП) [2].

Для формирования этого РФП используются различные аппаратные средства и специальное программное обеспечение [3, 4]. Кроме того, необходимы алгоритмические и программные средства, позволяющие дешифровать реакцию пациента на стимул (акцию), для того, чтобы «сообщить» ему, правильно ли он реагирует на нее. Если эти стимулы представлены в виде полутонных или цветных изображений или клипов, то такую стимуляцию называют виртуальной реальностью (VR) [2].

Эффективность БОС определяется на основе анализа изменения РФП в процессе сеанса реабилитации. Тренинг по методу БОС проводится с целью достижения пациентами заданных показателей мышечного тонуса. Для его оценки используется мониторинг электромиосигнала (ЭМС), снимаемого с электродов, установленных на мышцы, управляющие движением реабилитируемых конечностей [2, 4, 5]. На рис. 1 представлена фотография эксперимента с контролем мышечного тонуса посредством миографических электродов, установленных на соответствующие мышцы паретичной нижней конечности пациента, находящейся в экзоскелете.



Рис. 1. Фотография, иллюстрирующая эксперимент с контролем мышечного тонуса посредством миографических электродов, установленных на паретичной конечности, в биотехнической системе

Для осуществления метода БОС создается стимулирующая VR. VR возбуждает моторные нейроны головного мозга. Они стимулируют потенциал двигательных единиц (ДЕ). ЭМС, соответствующие VR, дешифрируются и через контроллер, управляющий серводвигателями экзоскелета, осуществляют управление движением нижних конечностей. Для этого была создана база данных тестовых движений (клиповых движений), соответствующих им движений нижних конечностей, и соответствующих им сигналов потенциалов ДЕ.

Для того чтобы различать и классифицировать мышечные движения, были извлечены наиболее значимые части ЭМС (признаки), которые представляют текущий сигнал в виде кода, несущего информацию о конкретном перемещении конечностей [3]. ЭМС расшифровывается в контроллере экзоскелета. Для его расшифровки он должен быть представлен в виде кода, который

расшифровывается в декодере. Декодер выполнен на основе методов машинного, описанному в о обучения. Расшифрованный сигнал поступает в блок управления серводвигателями экзоскелета. Известно множество способов кодирования ЭМС, однако предпочтение отдано кодированию во временной области, описанному в [3], так как оно удовлетворяет временным ограничениям на дешифрацию сигнала. Предполагаемое структурное решение БТС реабилитации нижних конечностей с VR представлено на рис. 2.

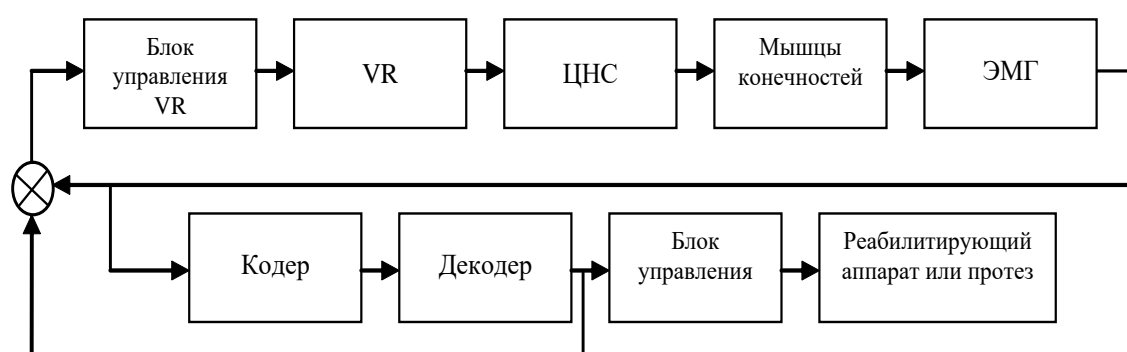


Рис. 2. Структурная схема биотехнической системы с биологической обратной связью

БТС работает следующим образом. На мышцы, тренинг которых осуществляется, накладываются электроды ЭМС (рис. 1). В соответствии со стимулом возбуждающие потенциалы поступают на ДЕ соответствующих мышц. ДЕ генерирует квазипериодические импульсы, частота следования которых определяется величиной стимула мышцы. Для реализации обратной связи эти сигналы должны быть расшифрованы, то есть должен быть понятно, движение каких мышц и суставов стимулируют эти сигналы. Для этой цели были использованы обучаемые нейронные сети прямого распространения сигнала [6–8].

После определенного этапа реабилитации постинсультного больного можно разработать новую индивидуальную стратегию реабилитации (включая целенаправленную тренировку ходьбы) и выбрать новый показатель РФП. Использование VR в БОС требует обучение пациента. От самого пациента требуется немалых энергетических затрат и внутренней дисциплины. Поэтому к па-

циентам предъявляют ряд требований, в частности, высокий уровень зрелости, низкий невротизм.

Таким образом, развитие БТС этого типа требует крупных многоцелевых рандомизированных контролируемых испытаний, позволяющих сравнить стандартную и роботизированную наземные тренировки (процедура «встать-сесть», ходьба и т.п.), необходимых для проверки результатов эффективности БОС.

Список литературы

1. Аль-Бареда А. Я. С., Брежнева А. Н., Томакова Р. А. Алгоритмы синтеза оптимального управления в биотехнических системах реабилитационного типа на основе технологий нейронных сетей // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 17, № 3. С. 750–754.

2. Трифонов А. А., Петрунина Е. В., Филист С. А. [и др.]. Биотехническая система с виртуальной реальностью в реабилитационных комплексах с искусственными обратными связями // Известия ЮЗГУ. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 4. С. 46–66.

3. Филист С. А., Петрунина Е. В., Трифонов А. А., Серебровский А. В. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал, 2019. Т. 7, № 1. С. 67–79. doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.025

4. Трифонов А. А., Филист С. А., Кузьмин А. А. [и др.]. Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 4 (52). С. 99–111.

5. Патент 2766764 Российская Федерация, МПК А61В 5/313. Способ оценки мышечной усталости на основе контроля паттернов синергии и устройство для его осуществления / Филист С. А., Трифонов А. А., Кузьмин А. А., Сафронов Р. И. Петрунина Е. В. ; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет ; заявл. 04.03.2021 ; опубл. 15.03.2022.

6. Курочкин А. Г., Жилин В. В., Суржикова С. Е., Филист С. А. Использование гибридных нейросетевых моделей для многоагентных систем классификации в гетерогенном пространстве информативных

признаков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 3 (31). С. 85–95. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24330553>

7. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. 2014. № 6. С. 35–39.

8. Филист С. А., Томакова Р. А., Яа З. Д. Универсальные сетевые модели для задач классификации биомедицинских данных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. Т. 43, № 4 (Ч. 2). С. 44–50.

УДК 519.254

ДЕТЕКТОР СОСТОЯНИЯ ПИКСЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОКОННОГО ДВУМЕРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УОЛША

**Александр Алексеевич Кузьмин¹,
Хасан Аль-Дарраджи Часиб²,
Артем Юрьевич Сухомлинов³**

^{1,2,3}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹Ku3bmin@gmail.com

²chasibaboody@gmail.com

³ar.sykhomlinov@gmail.com

Аннотация. Для автоматизированных систем обработки ультразвуковых изображений предложено использовать сканирующее окно с вычислением в нем локального двумерного преобразования Уолша. На спектральной двумерной плоскости выделены частоты, анализ которых позволяет определять степень эхогенности в области сканирования, а также детектировать края объектов ультразвукового изображения. Предложена архитектура детектора состояния пикселя ультразвукового изображения на основе сканирующего оконного двумерного преобразования Уолша, селектора значимых частот и нейронной сети, которая настроена на классификацию состояния пикселя. Проведены испытания детектора на реальных медицинских ультразвуковых исследованиях брюшной полости человека.

Ключевые слова: ультразвуковые изображения, преобразование Уолша, детектор края

PIXEL'S CONDITION DETECTOR OF ULTRASONIC IMAGE BASED ON WINDOWED 2D WALSH TRANSFORM

Alexander A. Kuzmin¹, Hassan Al-Darraji Chasib²,
Artem Yu. Sukhomlinov³

^{1,2,3}*Southwest State University, Kursk, Russia*

¹Ku3bmin@gmail.com

²chasibaboody@gmail.com

³ar.sykhomlinov@gmail.com

Abstract. For automated ultrasonic image processing systems, it is proposed to use a scanning window with the calculation of a local two-dimensional Walsh transform in it. On the spectral two-dimensional plane, frequencies are highlighted, the analysis of which allows one to determine the degree of echogenicity in the scanning area, as well as detect the edges of objects in the ultrasound image. An architecture for an ultrasonic image pixel state detector is proposed based on a scanning windowed two-dimensional Walsh transform, a selector of significant frequencies and a neural network that is configured to classify the pixel state. The detector was tested on real medical ultrasound examinations of the human abdominal cavity.

Keywords: ultrasound images, Walsh transform, edge detector

Основными задачами автоматизированных систем обработки ультразвуковых (УЗ) изображений являются повышение соотношения сигнал/шум картины, поиск объектов на изображениях и измерение характеристик объектов (количество объектов, размеры, яркость и т.п.) Для фильтрации частот и различных частотных преобразований в сигналах, в том числе и двумерных сигналах, используют частотные преобразования, такие как преобразование Фурье, Хартли, Уолша и др. [1, 2]. Преобразование Уолша выгодно отличается от остальных преобразований тем, что функции Уолша представляют собой последовательности единичных импульсов с единичной полярностью. Для вычисления преобразования Уолша нет необходимости в вычислениях тригонометрических функций, что приводит к существенному повышению быстродействия систем на их основе.

Для построения систем обработки изображений на базе спектрального двумерного преобразования Уолша мы изучили свойства двумерных частот Уолша. Например, нулевая частота

(частота с координатами 0,0) представляет собой среднее арифметическое яркости пикселей в окне преобразования. Для обработки УЗ изображений это очень важное знание, так как известно, что целый ряд объектов на УЗ-изображениях обладают определенной эхогенностью. Визуально эхогенность воспринимается как яркость точки УЗ-картины.

Частота с координатой 1,0 отвечает за вертикальные границы. При горизонтальном характере границы перехода яркостей изображения доминирует частота с координатой 0,1.

Таким образом, анализ трех частот преобразования Уолша в окне может приводить к распознаванию нескольких состояний каждого конкретного пикселя: пиксель может принадлежать области с определенной (пониженной, средней, повышенной) эхогенностью, пиксель может быть границей вертикального или горизонтального перехода эхогенности. Мы используем нейронную сеть для принятия решений о состояниях каждого пикселя. На входы нейронной сети подаются значения частот преобразования Уолша, а с выхода снимаются числовые данные, соответствующие решениям о состоянии каждого пикселя (рис. 1). Архитектура нейронной сети может быть упрощена до одного-двух нейронов и тогда процесс обучения такой сети сводится к правильному установлению уровней порогов.

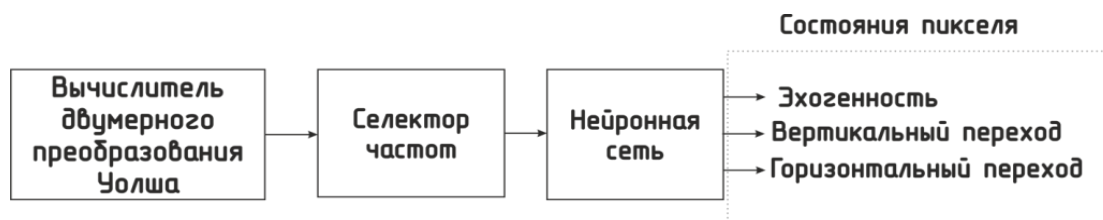


Рис. 1. Архитектура детектора состояния пикселя на основе оконного двумерного преобразования Уолша

Реальные УЗ-изображения, например, брюшной полости характеризуются достаточно большой зашумленностью. Для визуального поиска объектов на изображении, а также для задач автоматизированных измерений исходное изображение необходимо избавить от шума, т.е. повысить соотношение сигнал/шум. В качестве полезного сигнала очень часто используют границы объектов, поэтому поиск границ объектов можно рассматривать как

процедуру фильтрации нежелательных помех. На рис. 2,а приведено УЗ-изображение поджелудочной железы, а на рис. 2,б показано выделение краев с помощью разработанного детектора. Как видим, края объектов органов брюшной полости выделяются достаточно четко, что приводит к улучшению визуального восприятия изображения, а также облегчает автоматизированные измерения на УЗ-изображении.

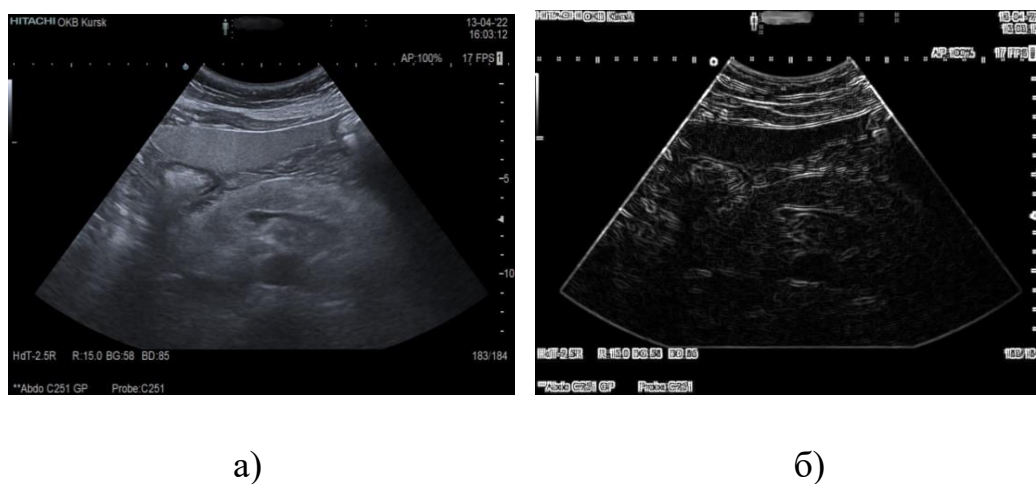


Рис. 2. УЗ-изображение брюшной полости:
а) исходное изображение; б) результат работы детектора краев

Полученные результаты применения разработанного детектора края на УЗ-изображении были сравнены с известными методиками поиска краев на изображении: с оператором Собеля, Шарра, Превитта [3]. С математической и практической точки зрения эти методики схожи с предложенным методом, но в них вместо пространственных функций Уолша первого порядка применяются базисные ядра Собеля, Шарра, Превитта с разными весовыми коэффициентами, причем как правило размерностью 3×3 . Так как в предложенном методе присутствует нейронная сеть с пороговой обработкой, то можно сделать вывод, что разработанный детектор края включает в себя постобработку изображения, что приводит к получению более контрастных результатов. Результаты работы разработанного детектора близки к методу Кэнни (Canny) [4], в котором используются фильтр Гаусса, оператор Собеля и гистерезисная пороговая постобработка. Результаты качества сильно зависят от правильно установленных уровней порогов, как в нашем случае, так и в случае применения методики Кэнни.

Проведены предварительные исследования вычислительной емкости локального двумерного преобразования Уолша для автоматизированных систем обработки медицинских УЗ-изображений. На спектральной двумерной плоскости выделены частоты, анализ которых позволяет определять степень экзогенности в области сканирования, а также детектировать края объектов ультразвукового изображения. Предложена архитектура детектора состояния пикселя УЗ изображения на основе сканирующего оконного двумерного преобразования Уолша, селектора значимых частот и нейронной сети, которая настроена на классификацию состояния пикселя. Проведены испытания детектора как на модельных изображениях, так и на реальных медицинских ультразвуковых исследованиях брюшной полости человека. Сравнение предложенного детектора состояния пикселя УЗ-изображения на основе сканирующего оконного двумерного преобразования Уолша с существующими методиками показали хорошие результаты при умеренной вычислительной нагрузке на компьютер.

Список литературы

1. Филист С. А., Али Кассим К. Д., Кузьмин А. А. [и др.]. Формирование признакового пространства для задач классификации сложноструктурируемых изображений на основе спектральных окон и нейросетевых структур // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2016. № 4. С. 56–68.
2. Малютина И. А., Кузьмин А. А., Филист С. А. Синтез оконных классификаторов рентгенограмм грудной клетки на основе операторов Уолша // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии : сб. тр. XIII Междунар. науч. конф. с науч. молодеж. школой имени И. Н. Спиридонова : в 2 кн. М., 2018. С. 186–190.
3. Krig S. Computer Vision Metrics. Survey, Taxonomy and Analysis of Computer Vision, Visual Neuroscience and Deep Learning. Springer Cham, 2016. 637 p. doi: 10.1007/978-3-319-33762-3
4. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. Pami-8, № 6.

МЕТОД БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ ЗВЕНЬЕВ ВОЙТА

Андрей Вадимович Серебровский¹, Алексей Юрьевич Новоселов²,
Антон Викторович Лях³, Дмитрий Андреевич Фатнев⁴

*^{1,2,3,4}Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия*

¹SFilst@gmail.com

Аннотация. Разработана модель биоимпеданса на основе модернизированных звеньев Войта. Предложен метод решения обратной задачи, позволяющий по экспериментально полученному графику Коула вычислять дескрипторы для обучаемых нейронных сетей, предназначенных для классификации функционального состояния организма человека.

Ключевые слова: биоимпедансная спектроскопия, модель Войта, нейронная сеть

METHOD OF BIOIMPEDANCE SPECTROSCOPY BASED ON VOIT LINK

Andrey V. Serebrovsky¹, Alexey Yu. Novoselov²,
Anton V. Lyakh³, Dmitriy A. Fatnev⁴

^{1,2,3,4}Southwestern State University, Kursk, Russia

¹SFilst@gmail.com

Abstract. A bioimpedance model based on modernized Voight links has been developed. A method for solving the inverse problem is proposed, which allows using the experimentally obtained Cole graph to calculate descriptors for trained neural networks designed to classify the functional state of the human body.

Keywords: bioimpedance spectroscopy, Voight model, neural network rithm

Выявление заболеваний системы дыхания на доклинической стадии позволяет снизить показатели смертности и инвалидизации населения, а также экономические затраты на лечение больного. Однако высокотехнологические средства диагностики респираторных

заболеваний недостаточно интенсивно используются как, по социально-экономическим причинам, так и по причине неприемлемой длительности диагностических процедур. Поэтому возникает проблема поиска новых инновационных методов диагностики респираторных заболеваний, отличающихся универсальностью, оперативностью, безопасностью, относительно низкой стоимостью и высокой диагностической эффективностью. По этим показателям перспективным является метод импедансной спектроскопии, который предполагает зондирование биоматериала с помощью полигармонических токов в квазиортогональных отведениях. В каждом квазиортогональном отведении мы получаем амплитудно-фазочастотную характеристику (АФЧХ) импеданса биоматериала, часто называемую в литературе диаграммой Коула или диаграммой импеданса [1, 2].

Для получения нашего набора сырых данных мы использовали четыре квазиортогональных отведения: электроды расположены во фронтальной плоскости и сагиттальной плоскости. Первая пара электродов располагается в грудной клетке, а вторая пара – в брюшной полости. Такая конфигурация позволяет создавать четыре диаграммы импеданса, в результате чего получается восемь векторов информативных признаков (по два на каждый график Коула).

Предлагаемая модель биоимпеданса является модификацией моделей, предложенных в [Ошибка! Источник ссылки не найден.–5] и представлена на рис. 1.

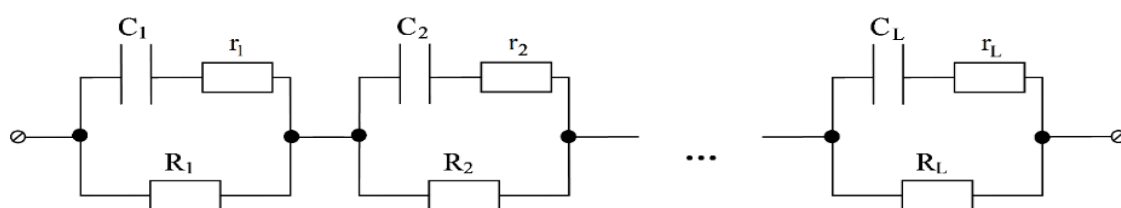


Рис. 1. Импедансная модель биоматериала с модифицированными звеньями Войта

Импеданс модели рис. 1, соответствующий одной точке на графике Коула определяется по формуле:

$$Z_{VOIT}(\omega) = \sum_{\ell=1}^L \left(\frac{R_{\ell} + \omega^2 C_{\ell}^2 R_{\ell} r_{\ell} (R_{\ell} + r_{\ell}) - j\omega C_{\ell} R_{\ell}^2}{1 + \omega^2 C_{\ell}^2 (R_{\ell} + r_{\ell})^2} \right). \quad (1)$$

При построении параметрической модели классификатора график Коула аппроксимируем триадами смежных точек (частот). Для каждой триады строим модель Войта и получаем параметры двухполосников рисунок 1 в модели Войта. Три значения частоты соответствуют шести нелинейным алгебраическим уравнениям или диаде звеньев в модели Войта. Двухзвенной модели Войта соответствуют шесть параметров (гексада): $R_1, R_2, r_1, r_2, C_1, C_2$. Они определяются путем решения системы шести нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 a(\omega_1) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{R_\ell + \omega_1^2 C_\ell^2 R_\ell r_\ell (R_\ell + r_\ell)}{1 + \omega_1^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right) \\
 b(\omega_1) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{-j\omega_1 C_\ell R_\ell^2}{1 + \omega_1^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right) \\
 a(\omega_2) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{R_\ell + \omega_2^2 C_\ell^2 R_\ell r_\ell (R_\ell + r_\ell)}{1 + \omega_2^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right) \\
 b(\omega_2) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{-j\omega_2 C_\ell R_\ell^2}{1 + \omega_2^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right) \\
 a(\omega_3) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{R_\ell + \omega_3^2 C_\ell^2 R_\ell r_\ell (R_\ell + r_\ell)}{1 + \omega_3^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right) \\
 b(\omega_3) &= \sum_{\ell=1}^2 \left(\frac{-j\omega_3 C_\ell R_\ell^2}{1 + \omega_3^2 C_\ell^2 (R_\ell + r_\ell)^2} \right)
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При построении глобальной модели графика Коула решалась обратная задача, суть которой заключалась в получении соответствия экспериментальному графику Коула теоретического, полученного посредством модели Войта [3]. Если точность аппроксимации экспериментального графика Коула текущей моделью Войта не удовлетворительная, то начинался итерационный процесс уточнения модели. Он заключался в увеличении числа частотных отсчетов в уравнении (1) и соответствующим увеличением числа звеньев в импедансной модели. При этом изменение структуры

модели требует пересчета всех ее параметров. Этот циклический процесс выполняется, пока функционал ошибки аппроксимации моделью экспериментального графика Коула для соответствующей модели Войта не достигнет допустимого значения [3, 6].

Процесс идентификации отклика биологического объекта на ток зондирования начинается с формирования графиков Коула. Диапазон частот зондирующего тока простирается от 0 Гц до 20 кГц, при этом выбор зондирующего тока индивидуален для каждого пациента и составлял от 10 до 20 мкА. Алгоритм построения графика Коула (решение прямой задачи) представлен в [2, 3, 4].

В процессе оптимизации модели Войта была разработана методика определения интегральных ошибок глобальной аппроксимации. Методика включает многоступенчатый анализ ошибок аппроксимации экспериментальных данных графиками Коула, построенных на основе модифицированной модели звена Войта. При построении глобальной модели экспериментального графика Коула предложены алгоритмы выбора частот, которые использовались при формировании системы нелинейных алгебраических уравнений (2). Классификатор с дескрипторами, определяемыми как параметры локальных и глобальных моделей Войта биоматериала, может быть выполнен на любой парадигме, в частности, на основе иерархической структуры полносвязных нейронных сетей прямого распространения с линейными функциями активации [5, 6].

Исследование привело к разработке метода создания дескрипторов на основе результатов биоимпедансной спектроскопии, что является значительным достижением, которое проложило путь к гибриднему классификатору, собранному на основе локальной и глобальной моделей графика Коула и способному дифференцировать различные заболевания [7]. Обширное тестирование программной реализации гибридного классификатора было проведено как на обучающей, так и на контрольной выборках с участием людей разного возраста, пола и с различными диагностированными заболеваниями респираторной системы. Экспериментальные исследования гибридного классификатора, построенного на основе вышеизложенного метода формирования дескрипторов, дали многообещающие результаты. Эти результаты показывают, что диагностическая чувствительность и специфичность,

достигаемые с помощью этой интеллектуальной технологии, тесно связаны с показателями, полученными с помощью рентгенологических исследований. Это подчеркивает практическую полезность гибридного классификатора как ценного инструмента дифференциальной диагностики системы дыхания.

Список литературы

1. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Стадниченко Н. С., Шульга Л. В. Классификации биологических объектов на основе многомерного биоимпедансного анализа // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 3/4 (31). С. 29–49. URL: https://swsu.ru/izvestiya/seriesivt/archiv/34_2020.pdf

2. Мирошников А. В., Стадниченко Н. С., Шаталова О. В., Филист С. А. Модели импеданса биоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных заболеваний // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8, № 4 (31). С. 1–14. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=864> doi: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.018

3. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Ефремов М. А. [и др.]. Алгоритм оптимизации модели Войта в классификаторах функционального состояния живых систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 2. С. 59–75.

4. Киселев А. В., Шаталова О. В., Протасова З. У. Модели латентных предикторов в интеллектуальных системах прогнозирования состояния живых систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 1. С. 114–133.

5. Шаталова О. В., Новоселов А. Ю., Серебровский А. В. Биомедицинская спектроскопия в классификаторах функционального состояния органов и систем человека, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2023. Т. 22, № 2. С. 100–113.

6. Шаталова О. В., Стадниченко Н. С., Ефремов М. А. Развитие технологии биоимпедансной спектроскопии в системах поддержки принятия врачебных решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная тех-

ника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 1. С. 143–169.

7. Патент 2752594 Российская Федерация, МПК А 61 В 5/053. Способ классификации биологических объектов на основе многомерного биоимпедансного анализа и устройство для его реализации / Филист С. А., Шаталова О. В., Протасова З. У. Стадниченко Н. С. ; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ). № 2020115879 ; заявл. 15.05.2020 ; опубл. 29.07.2021, Бюл. № 22. 27 с.

УДК 621.391

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА YOLO ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОЛИПОВ В КОЛОНОСКОПИИ

**Екатерина Дмитриевна Степанова¹,
Владимир Вячеславович Хрящев²,
Дмитрий Вячеславович Завьялов³,
Никита Валерьевич Котов⁴**

*^{1,2,4}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

*³Ярославская областная клиническая онкологическая больница,
г. Ярославль, Россия*

¹e.d.stepanova@yandex.ru

²vhr@yandex.ru

³zavialoff@mail.ru

⁴nik-kotov-98@inbox.ru

Аннотация. Исследованы алгоритмы искусственного интеллекта из семейства YOLO на точность детектирования объектов в области желудочно-кишечного тракта для систем поддержки принятия решения. Приведена численная оценка результатов работы алгоритмов. Среди всех алгоритмов наиболее высокие значения средней точности для разных значений порогов получились у алгоритма YOLOv8. Алгоритм показывает точность детектирования полипов на эндоскопических изображениях в среднем 98 %.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, компьютерное зрение, эндоскопия, колоноскопия, колоректальный рак

USING YOLO NEURAL NETWORK ALGORITHM FOR POLYPS DETECTION IN COLONOSCOPY

Ekaterina D. Stepanova¹, Vladimir V. Khryashev²,
Dmitriy V. Zavjalov³, Nikita V. Kotov⁴

^{1,2,4}*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

³*Yaroslavl Regional Clinical Oncology Hospital, Yaroslavl, Russia*

¹e.d.stepanova@yandex.ru

²vhr@yandex.ru

³zavialoff@mail.ru

⁴nik-kotov-98@inbox.ru

Abstract. Some artificial intelligence algorithms from the YOLO family are investigated for the accuracy of detecting objects in the gastrointestinal tract for decision support systems. A numerical evaluation of the performance of the algorithms is given. Among all the algorithms, the YOLOv8 algorithm obtained the highest average accuracy values for different threshold values. The algorithm shows an average accuracy of 98 % in detecting polyps on endoscopic images.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, computer vision, endoscopy, colonoscopy, colorectal cancer

В настоящее время область искусственного интеллекта стремительно развивается и проникает в различные сферы человеческой жизни. Его применение можно увидеть в сельском хозяйстве, промышленности, строительстве, контроле транспортного потока, системах распознавания лиц. Свое активное применение искусственный интеллект находит и в медицинской сфере.

Эндоскопия является способом диагностики рака желудочно-кишечного тракта на ранней стадии. Одним из методов эндоскопического исследования является колоноскопия. Он заключается в исследовании полости толстого кишечника при помощи специального прибора – колоноскопа.

Согласно статистике, врач-эндоскопист может пропускать до 20 % полипов в ходе исследования. При этом применение алгоритмов глубокого машинного обучения и компьютерного зрения позволяет детектировать на эндоскопических снимках полипы с точностью выше 90 % [1].

За последние десятилетия количество эндоскопических исследований существенно выросло. Следовательно, требуется боль-

шее число специалистов, оборудования и времени. Необходимо также повышать качество проведения исследования для снижения вероятности врачебной ошибки [2].

Эндоскопическое исследование толстого кишечника является технически сложной процедурой, которую производят два человека: врач, осуществляющий управление системами эндоскопа, и медсестра, помогающая в проведении аппарата по кишечнику, обнаружении и последующем удалении полипов. Предварительно, перед введением прибора его рабочую часть покрывают мыльным раствором или вазелиновым маслом. После введения колоноскопа врачом-эндоскопистом происходит осмотр непосредственно внутренней полости толстого кишечника на наличие различных патологий, например, полипов. После достижения врачом устья червеобразного отростка слепой кишки исследование завершается, после чего колоноскоп медленно выводится из кишечника пациента [3].

Колоноскоп представляет собой разновидность эндоскопических приборов, предназначенных для осмотра толстой кишки. Он имеет сложное устройство и включает в себя большое количество компонентов, которые могут понадобиться во время исследования. Общее устройство прибора состоит из двух частей: блока управления (тубус) и рабочей части с дистальным концом. Главным отличием колоноскопа от эндоскопа является более длинная рабочая часть. Дистальный конец рабочей части колоноскопов представляет собой совокупность устройств, необходимых при проведении обследования: для детектирования различных патологий, удаления злокачественных образований, забора материала на биопсию, отсасывания жидкости и расправления кишечника при помощи воздуха.

По ходу проведения колоноскопического исследования при помощи камеры, расположенной на дистальном конце рабочей части колоноскопа происходит запись видео- или фотофиксация стенок толстой кишки пациента. Световод освещает полость кишечника холодным светом, что обеспечивает лучшую видимость исследуемой части. При помощи хирургического канала происходит удаление полипа. Канал подачи воды и воздуха предназначен для очищения стенок кишечника и расправления его при их изгибании. После достижения врачом устья червеобразного отростка

слепой кишки исследование завершается, после чего колоноскоп медленно выводится из кишечника пациента.

При съемке врачами-эндоскопистами внутренней области толстого кишечника пациента полипы четко видны на эндоскопических снимках, сделанных врачом. Это позволяет собирать из них базу снимков для последующей экспертной разметки и обучения на ней нейронных сетей для внедрения их в системы поддержки принятия медицинского решения. Развитие таких систем позволит применять их и в других областях медицины для упрощения работы врачей и повышения качества медицинских услуг.

Одной из общедоступных баз эндоскопических снимков является база Kvasir-SEG [4]. Она содержит 1000 эндоскопических снимков с соответствующими им бинарными масками, на которых представлено 1072 полипа, и имеет только один класс – «ролур». Среди них 700 изображений полипов большого размера (более 160×160 пикселей), 323 полипа среднего размера (от 64×64 до 160×160 пикселей) и 48 полипов малого размера (менее 64×64 пикселей). Размер снимков в базе Kvasir-SEG варьируется от 332×487 до 1920×1072 пикселей.

За последние несколько лет вышло большое количество новых алгоритмов семейства YOLO [5]: YOLOv6, YOLOv7, YOLOv8 и YOLOR. В каждую из этих версий разработчики внедрили функции, повышающие производительность и скорость работы алгоритмов. Это делает их более пригодными для детектирования объектов на видеоданных. Поэтому в качестве алгоритмических модулей для исследования выбраны эти архитектуры нейронных сетей.

Алгоритмы семейства YOLO относятся к классу «одноуровневых» сверточных нейронных сетей и являются одними из наиболее эффективных нейронных сетей в части скорости детектирования объектов среди прочих. Структура работы YOLO довольно проста: на вход алгоритма поступает изображение, которое разбивается на сетку размером $S \times S$. После этого модель анализирует полученные вероятности присутствия объектов в ограничивающих рамках и выбирает ту, которая является наиболее вероятной.

Обучение выбранных алгоритмов производилось на базе эндоскопических изображений Kvasir-SEG. В рамках работы база была разделена на три выборки: обучающая, валидационная и тестовая. Обучающая выборка содержала 720 изображений,

валидационная 80 изображений, а тестовая 200 изображений. Для сравнения были взяты значения порогов пересечения над объединением (IoU) 0.25, 0.5, 0.75 и интервал [0.25...0.75] с шагом 0.5. Расчеты параметров средней точности детектирования при разных значениях IoU позволяет более качественно оценить точность детектирования алгоритмическим модулем объектов на изображениях. В табл. 1 приведены результаты работы выбранных алгоритмов на базе эндоскопических снимков Kvasir-SEG.

Таблица 1

Результаты работы нейросетевых алгоритмов

Метрика Алгоритм	AP@[0,25..0,75]	AP@0,25	AP@0,5	AP@0,75
YOLOv6	89,2	93,0	90,0	84,1
YOLOR	87,8	93,2	82,2	79,3
YOLOv7	80,6	89,5	80,7	66,4
YOLOv8	98,4	98,7	98,6	97,6

Как видно из представленных данных, наиболее высокие значения средней точности для разных значений порогов получились у алгоритма YOLOv8, а наиболее низкие – у алгоритма YOLOv7. Низкие показатели алгоритма YOLOv7 могут быть обусловлены малым объемом базы эндоскопических снимков, на которой обучался алгоритм, или особенностями архитектуры нейронной сети.

На рис. 1 изображены примеры детектирования полипов прямоугольной областью нейросетевыми алгоритмами.

На приведенных изображениях можно видеть, что полипы достаточно точно детектируются алгоритмом. При проведении колоноскопического исследования врач сможет в режиме реального времени видеть предсказанные алгоритмом области, где расположен полип, что упростит его работу.

Таким образом, применение алгоритмов детектирования объектов в системах поддержки принятия медицинского решения может повысить качество исследования. Средние значения точности распознавания полипов в проведенных исследованиях с использованием алгоритмов YOLO составили 88 %, а наилучшие результаты достигли 98 % (алгоритм YOLOv8). Ограничивающие рамки достаточно точно выделяют область, где располагается полип.

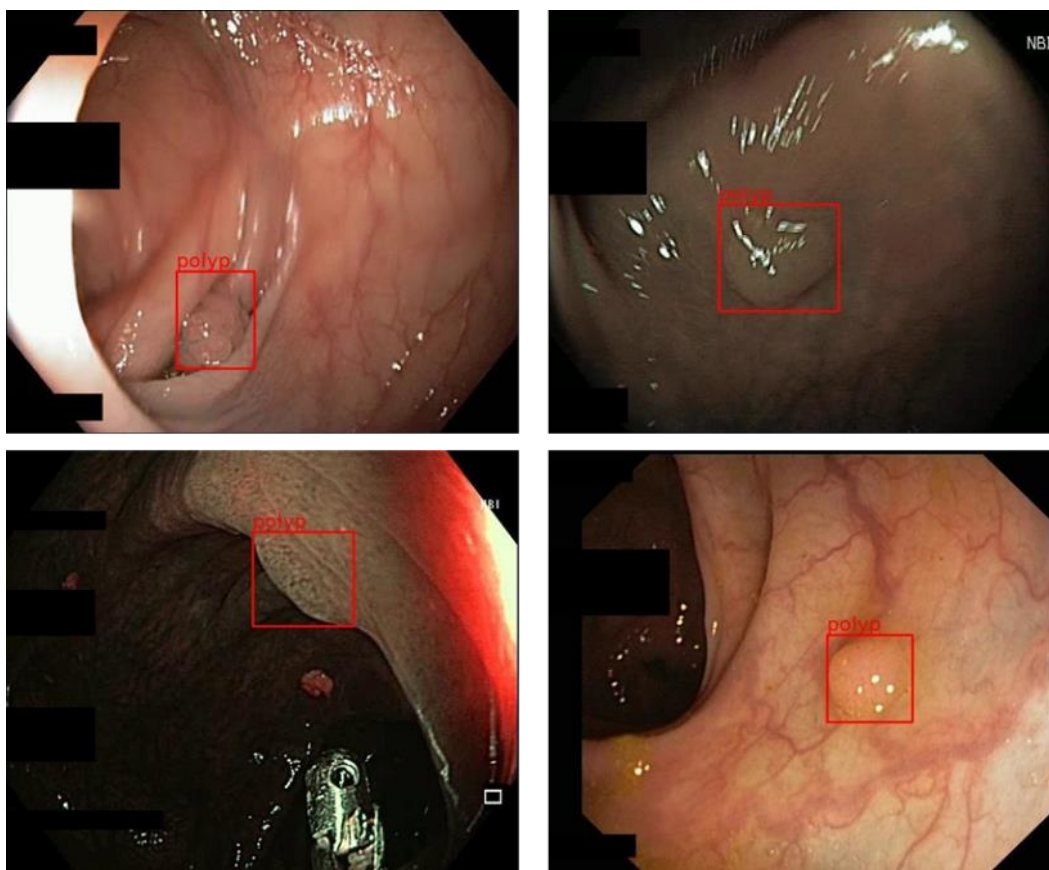


Рис. 1. Примеры детектирования полипов алгоритмами

Список литературы

1. Urban G., Tripathi P., Alkayali T. [et al.]. Deep Learning Localizes and Identifies Polyps in Real Time with 96 % Accuracy in Screening Colonoscopy // *Gastroenterology*. 2018. P. 3–5.
2. Мтвралашвили Д. А., Шахматов Д. Г., Ликутев А. А. [и др.]. Алгоритм на основе искусственного интеллекта для системы поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии // *Колопроктология*. 2023. Т. 22, № 2. С. 92–102.
3. Куваев Р. О., Никонов Е. Л., Кашин С. В. [и др.]. Контроль качества эндоскопических исследований, перспективы автоматизированного анализа эндоскопических изображений // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2013. № 2. С. 51–56.
4. Jha D. Kvasir-seg: A Segmented Polyp Dataset // *Proceedings of International Conference on Multimedia Modeling (MMM)*. Cham : Springer, 2020. P. 451–462.
5. Redmon J., Girshik R., Divvala S., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Las Vegas, 2016.

АНАЛИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА В КОЛОНОСКОПИИ

Владимир Вячеславович Хрящев

*Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

vhr@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты тестирования алгоритма машинного обучения для распознавания купола слепой кишки на колоноскопических видеоданных. База цифровых видеоизображений купола была получена в ходе исследований эндоскопического отделения Ярославской областной клинической онкологической больницы. В качестве алгоритмического ядра была выбрана популярная нейросетевая архитектура YOLO, позволяющая детектировать объекты интереса на видеопотоке в режиме реального времени. Представленные результаты исследования послужат основой для построения системы контроля соблюдения стандартов качества проведения колоноскопических исследований.

Ключевые слова: классификация эндоскопических видеоизображений, колоноскопия, скрининг колоректального рака, сверточная нейронная сеть

Финансирование: работа выполнена в рамках реализации Программы развития ЯрГУ на период 2021–2030 г.

VIDEOIMAGES ANALYSIS TO MONITOR COMPLIANCE WITH QUALITY STANDARDS IN COLONOSCOPY

Vladimir V. Khryashev

P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

vhr@yandex.ru

Abstract. The results of testing a machine learning algorithm for recognizing the dome of the cecum on colonoscopic video data are presented. The database of digital video images of the dome was obtained during research at the endoscopic department of the Yaroslavl Regional Clinical Oncology Hospital. The popular neural network architecture YOLO was chosen as the algorithmic

core, which makes it possible to detect objects of interest on a video stream in real time. The presented research results will serve as the basis for building a system for monitoring compliance with quality standards for colonoscopy studies.

Keywords: endoscopic image classification, colonoscopy, colorectal cancer screening, convolutional neural network

Financing: the work was carried out within the framework of the YarSU Development Program for the period 2021–2030.

Современные нейросетевые алгоритмы и системы машинного зрения все чаще используются для анализа медицинских видеоизображений. Развитие подобных технологий приводит к созданию систем поддержки принятия врачебного решения. Их внедрение в медицинскую практику позволит повысить точность диагностики, сокращение трудозатраты на исследования, осуществлять контроль стандартов предоставления медицинской процедуры. Они также могут использоваться в процессе обучения различных медицинских специалистов.

Одной из областей применения подобных технологий обработки и анализа видеоизображений является эндоскопия желудочно-кишечного тракта. Современные эндоскопические системы позволяют анализировать и сохранять огромные объемы визуальных видеоданных, что дает огромное поле для проведения междисциплинарных исследований (медицина+ИТ) в части анализа получаемых изображений. Одним из актуальных направлений является область исследования толстой кишки (колоноскопии) [1–4]. Использование современных нейросетевых подходов и методов позволяет, в частности решать вопрос проверки соблюдения качества проведения процедуры диагностики.

В настоящей работе рассматривается задача обнаружения и сопровождения области купола слепой кишки на видеоизображениях колоноскопических исследований. Нахождение подобной области свидетельствует о полноте проведения колоноскопического исследования, т.е. подтверждает соблюдение соответствующих стандартов качества. Для ее решения предлагается анализировать видеопоток с помощью предварительно обученных глубоких моделей нейронных сетей. Среди них выбраны соответствующие архитектуры, заточенные под эффективное детектирование и сопровождение областей интереса, продемонстрированных в обучающей базе изображений.

Рассмотрим архитектуру современной нейронной сети YOLO, часть используемой в задаче детектирования объектов на изображениях (рис. 1). Она состоит из трех основных частей – магистральная, объединение пространственных пирамид, предсказание.

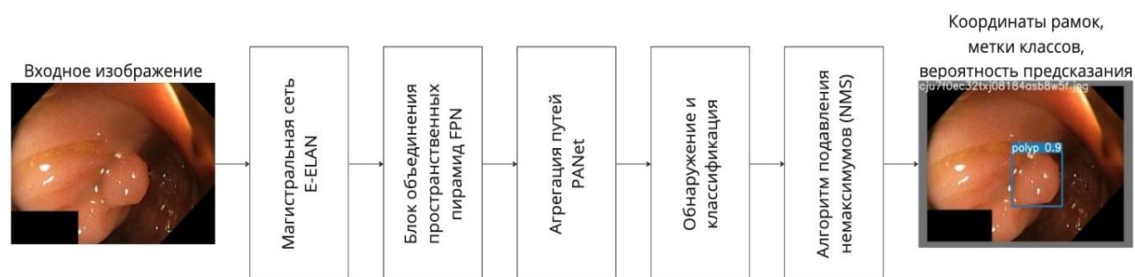


Рис. 1. Этапы обработки данных в нейронной сети YOLO

Результаты тестирования алгоритмов на основе архитектур YOLO, SSD300+VGG16, SSD512+VGG16 по стандартным для алгоритмам машинного обучения метрикам качества Precision, Recall, F1, mAP50 и mAP50-95 приведены в табл. 1. Для обучения нейронных сетей использовались базу изображений купола слепой кишки с экспертной разметкой соответствующих кадров и объектов интереса.

Таблица 1

Метрики качества работы алгоритмов машинного обучения

	P	R	F1	mAP50	mAP50-95
YOLOv7	0,98	0,99	0,98	0,99	0,65
YOLOv8n	1,00	0,99	0,99	0,99	0,75
YOLOv8s	0,99	0,98	0,98	0,99	0,75
YOLOv5s	0,98	0,97	0,98	0,98	0,59
ssd300+vgg16	0,99	0,98	0,98	0,90	0,54
ssd512+vgg16	0,99	0,99	0,99	0,90	0,60

Результаты показывают, что по самой «жесткой» метрике mAP50-95 наилучшие показатели показывают сети YOLO8n и YOLO8s. Их преимущество по данной метрике составляет порядка 0,1 над аналогичной архитектурой седьмого поколения, порядка 0,16 над сетью пятого поколения и 0,15-0,20 над алгоритмами, построенными на архитектуре SSD.

Отмеченные нейросетевые архитектуры будут выбраны в дальнейшем при разработке автоматизированной системы контроля соблюдения качества колоноскопических исследований. Ее внедрение в эндоскопическую практику позволит автоматизировать анализ видеоданных соответствующих исследований. Это позволит снизить количество ошибок при проведении скрининговой колоноскопии и будет способствовать борьбе с раковыми заболеваниями.

Список литературы

1. Мтвралашвили Д. А., Шахматов Д. Г., Ликотов А. А. [и др.]. Алгоритм на основе искусственного интеллекта для системы поддержки принятия врачебного решения при колоноскопии // Колопроктология. 2023. Т. 22, № 2. С. 92–102.

2. Куваев Р. О., Никонов Е. Л., Кашин С. В. [и др.]. Контроль качества эндоскопических исследований, перспективы автоматизированного анализа эндоскопических изображений // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 2. С. 51–56.

3. Кашин С. В., Никонов Е. Л., Нехайкова Н. В., Лилеев Д. В. Стандарты качественной колоноскопии (пособие для врачей) // Доказательная гастроэнтерология. 2019. № 8 (1–2). С. 3–32.

4. Хрящев В. В., Завьялов Д. В., Андержанова А. С. Классификация эндоскопических изображений устья червеобразного отростка на основе методов глубокого машинного обучения // Цифровая обработка сигналов. 2023. № 1. С. 35–38.

6. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

УДК 004.4

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА PRIME ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ДАННЫХ SCADA-СИСТЕМ

Игорь Иванович Бузенков¹, Юрий Викторович Редькин²,
Екатерина Романовна Пакшина³

*^{1,2,3}Государственный морской университет
имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

¹igor.buzenkov@mail.ru

²redkin_yura@mail.ru

³kattchernysheva@yandex.ru

Аннотация. Описана технология обработки содержания таблиц MS Excel с помощью пакета PRIME путем передачи данных между этими программами. На примере обработки записей таблиц SCADA-системы показано, что совместное использование этих программ значительно расширяет возможности обработки таблиц и отображения результатов.

Ключевые слова: система сбора и обработки данных, алгоритм обработки, оценка статистических характеристик

USING THE PRIME PACKAGE FOR PROCESSING SCADA SYSTEMS DATA FILES

Igor I. Buzenkov¹, Yuriy V. Redkin², Ekaterina R. Pakshina³

^{1,2,3}Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

¹igor.buzenkov@mail.ru

²redkin_yura@mail.ru

³kattchernysheva@yandex.ru

Abstract. The technology for processing the contents of MS Excel tables using the PRIME package by transferring data between these programs is described. Using the example of processing table records of a SCADA system, it is shown that joint use of these programs significantly expands the capabilities of processing tables and displaying results.

Keywords: data collection and processing system, processing algorithm, evaluation of statistical characteristics

Информация, получаемая при опросе датчиков систем сбора и обработки данных (SCADA-систем), хранится в виде записей баз данных, например, в виде строк таблиц MS Excel. Преимуществом использования этих таблиц в SCADA-системах заключается в том, что процессор MS Excel позволяет не только хранить, но и обрабатывать данные с помощью своих встроенных средств. Являясь универсальным средством, MS Excel поддерживает решение типовых задач обработки массивов данных: сортировку, фильтрацию, статистическую обработку, определение тренда процесса и ряд других характеристик [1].

В случае, если штатных средств MS Excel оказывается недостаточно, то их можно дополнить программой (макросом) написанной на языке VBA, встроенном в табличный процессор [2]. Так, с помощью VBA можно создавать интерактивные меню и диалоговые формы, позволяющие обрабатывать реакцию пользователя на события и изменять ход обработки таблиц SCADA-систем [3, 4]. Однако для разработки программ на VBA требуется знание особенностей его взаимодействия с MS Excel, а сами программы получаются достаточно громоздкими.

Альтернативой указанному способу является применение пакетов программ обработки данных, которые тем или иным способом могут взаимодействовать с MS Excel. Одним из таких пакетов является математический пакет PRIME, обладающий широкими возможностями расчета разнообразных характеристик наборов данных и их преобразований [5]. Рассмотрим процедуру взаимодействия процессора MS Excel и пакета PRIME на примере таблицы, полученной в ходе опроса датчиков SCADA-системой (рис. 1). На ней показаны результаты опроса двух датчиков давления P1 и P2, показания которых заносятся системой в таблицу MS Excel с интервалом в 1 минуту [3].

	A	B	C	D
1	Время [чч:мм]	P1, атм	P2, атм	
2	1:01	3,195	1,312	
3	1:02	3,665	1,335	
4	1:03	3,941	0,989	
5	1:04	3,631	1,351	
6	1:05	3,039	1,228	
7	1:06	3,005	1,674	
8	1:07	3,235	1,538	
9	1:08	3,82	1,506	
10	1:09	4,274	1,569	
11	1:10	3,851	1,704	
12	1:11	3,373	2,056	
13	1:12	3,108	1,939	

Рис. 1. Показания датчиков давления P1 и P2

Как видно из рис. 1, результаты опроса датчиков имеют значительный разброс в силу природы контролируемого процесса, малой инерционности датчиков и шумов в каналах измерения. Сгладим их, выполнив усреднение полученных данных средствами пакета PRIME.

Для этого загрузим требуемые записи таблицы из файла MS Excel в пакет PRIME, воспользовавшись функцией *READEXCEL*, синтаксис которой имеет вид:

READEXCEL ("file", "range"),

где *file* – спецификация файла с данными в формате MS Excel, а *range* – строка, содержащая указание на лист таблицы и диапазон считываемых ячеек. Диапазон *range* можно задать одним из следующих способов: "*Sheet1*" – весь лист; "*Sheet1!A1*" – ячейку *A1* листа *Sheet1*; "*Sheet1!A1:B3*" – диапазон ячеек от верхней левой ячейки *A1* до нижней правой ячейки *B3* листа *Sheet1*.

В листинге 1 представлена программа, которая загружает заданную часть первого листа таблицы файла "*Data.xlsx*" в массив *Data*, разделяет массив на столбцы, соответствующие датчикам P1 и P2, и усредняет данных с помощью функции *supsmooth* пакета PRIME. На рис. 2 представлены исходные ("зашумленные") данные (*P1Data*, *P2Data*) и результаты сглаживания отсчетов (*P1Sm*, *P2Sm*).

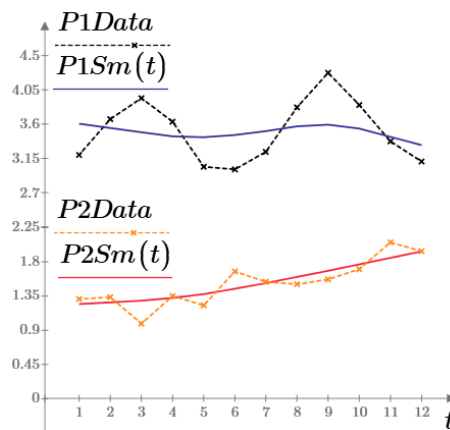


Рис. 2. Графики показаний датчиков P1 и P2 (исходные и усредненные)

Листинг 1. Чтение и усреднение показаний датчиков P1 и P2 из файла

Считываем массив из двух столбцов
Data:= READEXCEL ("Data.xlsx", "Sheet1!B2:C13"),
 Отделяем столбцы
P1Data:=Data⁽¹⁾ P2Data:=Data⁽²⁾
 Сглаживаем отсчеты
tj:=i P1Sm(i):=supsmooth(t,P1Data)
P2Sm(i):=supsmooth(t,P2Data)

При анализе суточных показаний датчиков, накопленных в базах данных SCADA-системы, интерес представляют оценки их статистических характеристик. Для их получения можно использовать развитые инструменты статистической обработки, имеющиеся в пакете PRIME: расчет среднего значения, дисперсии, среднеквадратического отклонения, медианы, асимметрии, эксцесса и ряда других статистических характеристик.

На рис. 3 представлены результаты расчета распределений (гистограммы) суточных показаний (1440 записей) датчиков P1 и P2, выполненные в пакете PRIME (листинг 2). Как видно из этого рисунка, распределение показаний датчика P1 близко к равномерному, а датчика P2 – к нормальному.

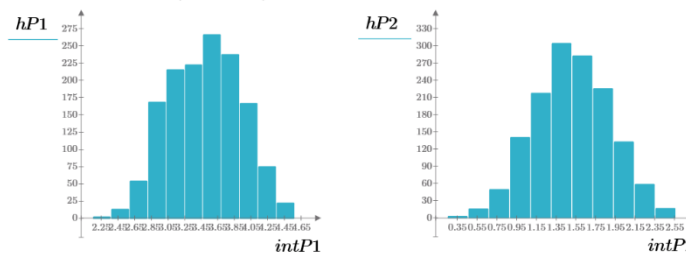


Рис. 3. Гистограммы суточных показаний датчиков P1 и P2

Листинг 2. Расчет гистограмм суточных показаний датчиков P1 и P2

hhP1:=histogram(n,P1Data) intP1:=hhP1⁽¹⁾ hp1:= hhP1⁽²⁾
hhP2:=histogram(n,P2Data) intP2:=hhP2⁽¹⁾ hp2:= hhP2⁽²⁾

Для увеличения наглядности представления распределений суточных показаний датчиков их можно передать в MS Excel и отобразить в виде круговых диаграмм. Запись данных в таблицу MS Excel выполняется функцией *WRITEEXCEL*, формат которой имеет вид:

WRITEEXCEL ("file", M, "range"),

где *file* – спецификация файла с данными в формате MS Excel, а *range* – строка, содержащая имя листа и диапазон размещения массива данных *M*.

В листинге 3 представлена программа, позволяющая из PRIME записать полученные распределения на Лист 2 таблицы MS Excel, а на рис. 4 – вид этой таблицы в MS Excel и круговые диаграммы, построенные на ее основе.

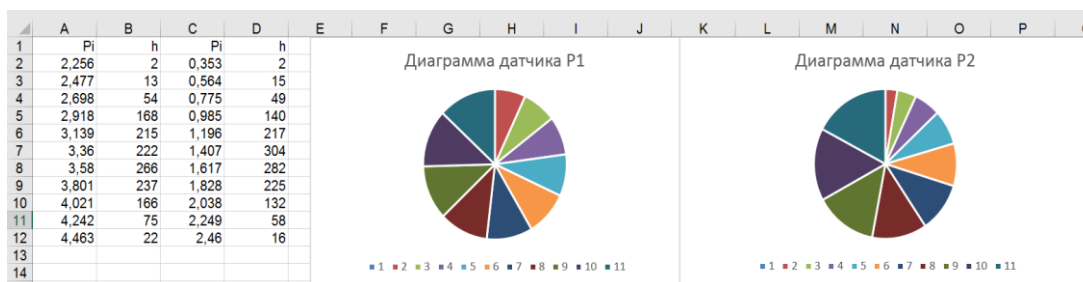


Рис. 4. Диаграммы распределений показаний датчиков P1 и P2 в MS Excel

Листинг 3. Запись гистограмм датчиков P1 и P2 на Лист 2 файла MS Excel

Объединяем столбцы

$H := \text{augment}(\text{intDataP1}, hP1, \text{intDataP2}, hP2)$

Записываем массив в файл MS Excel (на Лист2 с ячейки A2)

$\text{WRITEEXCEL} ("DataDay.xlsx", H, "Sheet2!A2")$

Таким образом, применение описанной процедуры значительно расширяет возможности обработки данных из таблиц MS Excel средствами пакета PRIME, используя нестандартные алгоритмы анализа и преобразования данных – интерполяцию, аппроксимацию, сглаживание по сложным критериям, расчет эмпирических зависимостей и ряд других. Кроме этого, PRIME имеет развитые возможности графического отображения получаемых результатов – можно строить разнообразные диаграммы (погрешностей, распределений и др.), а также трехмерные, контурные и многие другие графики.

Однако совместное использование пакета PRIME и процессора MS Excel накладывает определенные ограничения на содержание таблиц: в качестве разделителя можно использовать только десятичную точку; пакет PRIME не поддерживает форматы даты и времени, применяемые MS Excel, а также если массив данных

в PRIME содержит единицы измерения, функции или встроенные матрицы, то его невозможно записать в файл MS Excel.

Несмотря на указанные ограничения, описанная процедура взаимодействия MS Excel и PRIME в целом ряде случаев позволяет организовать эффективную обработку содержания таблиц, в частности, при анализе файлов SCADA-систем. При этом совместное использование этих пакетов существенно дополняет возможности как обработки, так и отображения получаемых результатов.

Список литературы

1. Рудикова Л. В. Microsoft Office Excel 2019. СПб. : БХВ-Петербург, 2019. 624 с.
2. Александер М., Куслейка Р. Excel 2016: профессиональное программирование на VBA / пер. с англ. М. : Альфа-книга, 2018. 784 с.
3. Редькин Ю. В., Бузенков И. И. Технология создания программ для систем сбора данных на основе персонального компьютера и универсального программного обеспечения // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XVII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : ПДЗ, 2017. С. 145–149.
4. Редькин Ю. В., Бузенков И. И., Чернышева Е. М. О технологии разработки интерактивных программ систем сбора и обработки данных // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XX Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Пенза : ПДЗ, 2020. С. 203–209.
5. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

УДК 004.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ДВУХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ GPSS WORLD

**Валентин Алексеевич Волков¹, Илья Александрович Филиппов²,
Зоя Ивановна Баусова³**

*^{1,2,3}Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Россия*

¹valek.volkov.2001@mail.ru

²ilya_filippov_2002@inbox.ru

³bausavazoya@mail.ru

Аннотация. Многоканальные системы массового обслуживания широко применяются в различных областях: транспорт, телекоммуникации, обработка данных и др. В качестве сравнения были взяты две модели системы агентства по продаже авиабилетов в Пензе. Результаты исследования показали, что обе модели демонстрируют высокую эффективность и способность обслуживать большое количество запросов. Однако отмечено, что одна из моделей демонстрирует более низкий коэффициент использования при тех же условиях. Это свидетельствует о более высокой эффективности использования ресурсов и обеспечивает меньшее время пребывания клиентов.

Ключевые слова: многоканальные системы, модели, модель агентства по продаже авиабилетов, GPSS World, автоматные модели дискретной системы, двухканальные разомкнутые системы, сравнение двух моделей в среде GPSS World

EXPERIMENTAL COMPARISON OF TWO MULTICHANNEL SYSTEMS IN GPSS WORLD ENVIRONMENT

Valentin A. Volkov¹, Ilya A. Filippov², Zoya I. Bausova³

^{1,2,3}*Penza State University, Penza, Russia*

¹valek.volkov.2001@mail.ru

²ilya_filippov_2002@inbox.ru

³bausavazoya@mail.ru

Abstract. A comparison of two multichannel queuing systems in the GPSS World environment is carried out. Multichannel queuing systems are widely used in various fields: transport, telecommunications, data processing and others. As a comparison, two models of the agency's system for the sale of air tickets in Penza were taken. The results of the study showed that both models demonstrate high efficiency and the ability to serve many requests. However, it is noted that one of the models demonstrates a lower utilization rate under the same conditions. This indicates a higher efficiency in the use of resources and provides less time for customers to stay.

Keywords: multichannel systems, models, airline ticket agency model, GPSS World, automatic models of a discrete system, two-channel open systems, comparison of two models in the GPSS World environment

Введение

Аэропорты играют важную роль в современной транспортной инфраструктуре, обеспечивая комфортные путешествия для

пассажиров и поддерживая связь между различными городами и странами. Изучение и анализ работы аэропортов являются ключевыми инструментами для оптимизации их эффективности. В данной статье рассматриваются две различные модели продажи авиабилетов: модель, применяемую агентством по продаже билетов в г. Пенза, и альтернативную модель, представленную в данной статье. Различия в подходах к проектированию и функционированию таких агентств могут значительно повлиять на эффективность и удовлетворение пассажиров. Сравнивая и анализируя данные модели, мы сможем более точно понять, как можно улучшить работу таких агентств и повысить качество предоставляемых ими услуг.

Исходные параметры

За основу были взяты средние данные о количестве вылетов и посадок самолетов в аэропорту, а также усредненный поток клиентов, приходящих за год [1]. По этим данным определено количество клиентов, приходящих за сутки – 100 человек, и выявлено среднее количество сотрудников компании – 15 человек, которые смогут обслуживать клиентов без переполнения очереди. Клиенты заходят на сайт авиакомпании независимо друг от друга (проходят регистрацию) со средним интервалом времени 10 минут. Среднее время обслуживания одного клиента – 50 минут.

Схема функционирования двухканальной разомкнутой системы массового обслуживания (СМО) [2] представлена на рис. 1. Основные события, возникающие в процессе работы многоканальной разомкнутой СМО:

1. GENERATE – система получает требования.
2. TRANSFER – Канал обслуживания определяется.
3. SEIZE – Ожидается освобождение одного из каналов обслуживания.
4. LEAVE – Требования покидают накопитель.
5. ADVANCE – Требования обслуживаются в канале обслуживания.
6. RELEASE – Канал обслуживания освобождается.
7. TERMINATE – Требование покидает систему.

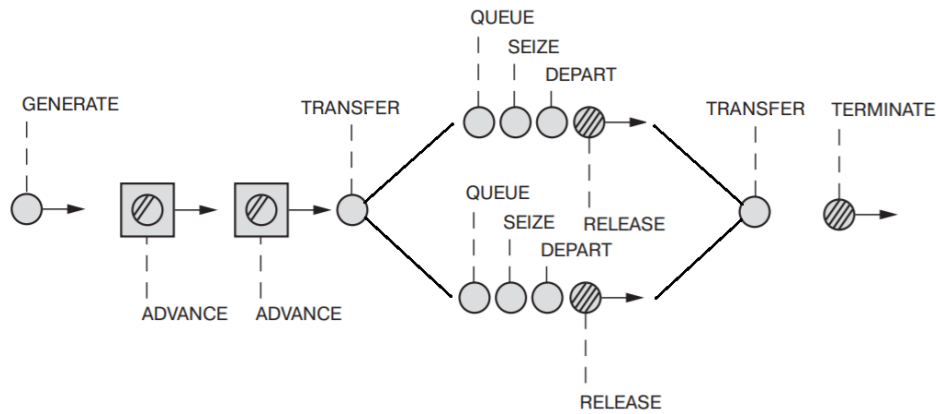


Рис. 1. Процесс функционирования многоканальной разомкнутой СМО с простейшими потоками

Смоделирован поток требований [3], поступающих в систему, и обслуживание при помощи оператора `GENERATE` „15, в котором запятые – операнды (A, B, C) оставленные без изменений, операнд D – общее число генерируемых транзактов [4]. После моделирования требование поступило в канал обслуживания `ADVANCE 10, 5; 20,10`. В поле операнда A установлено среднее время задержки, в операнд B – разброс относительно среднего значения (должен быть меньше или равен операнду A).

Поскольку СМО многоканальная, был использован оператор `TRANSFER` для обеспечения возможности направления требований к незанятому каналу: `TRANSFER BOTH, KAN1, KAN2`.

Сначала требование было направлено к оператору, имеющему символическую метку `KAN1`. Этим оператором является `QUEUE ACC1`, который собирает статистику об очереди в местах задержки транзактов (`ADVANCE`), где операнд A – имя очереди. Далее использован оператор `SEIZE BRON1` для моделирования работы одноканального устройства [5], где A – имя устройства, занимаемого транзактом. С помощью оператора `DEPART ACC1` был удален транзакт из очереди (`QUEUE ACC1`), после чего произошло освобождение транзактов оператором `RELEASE BRON1`.

Так как первый канал занят, то требование было направлено к оператору, имеющему символическую метку `KAN2`. Именно это действие символизирует работу двухканальной разомкнутой СМО. Далее при помощи команд `GENERATE 500` и `TERMINATE 1` установлено сколько заявок поступит на вход системы, а после обслуживания выйдет из нее (рис. 2).

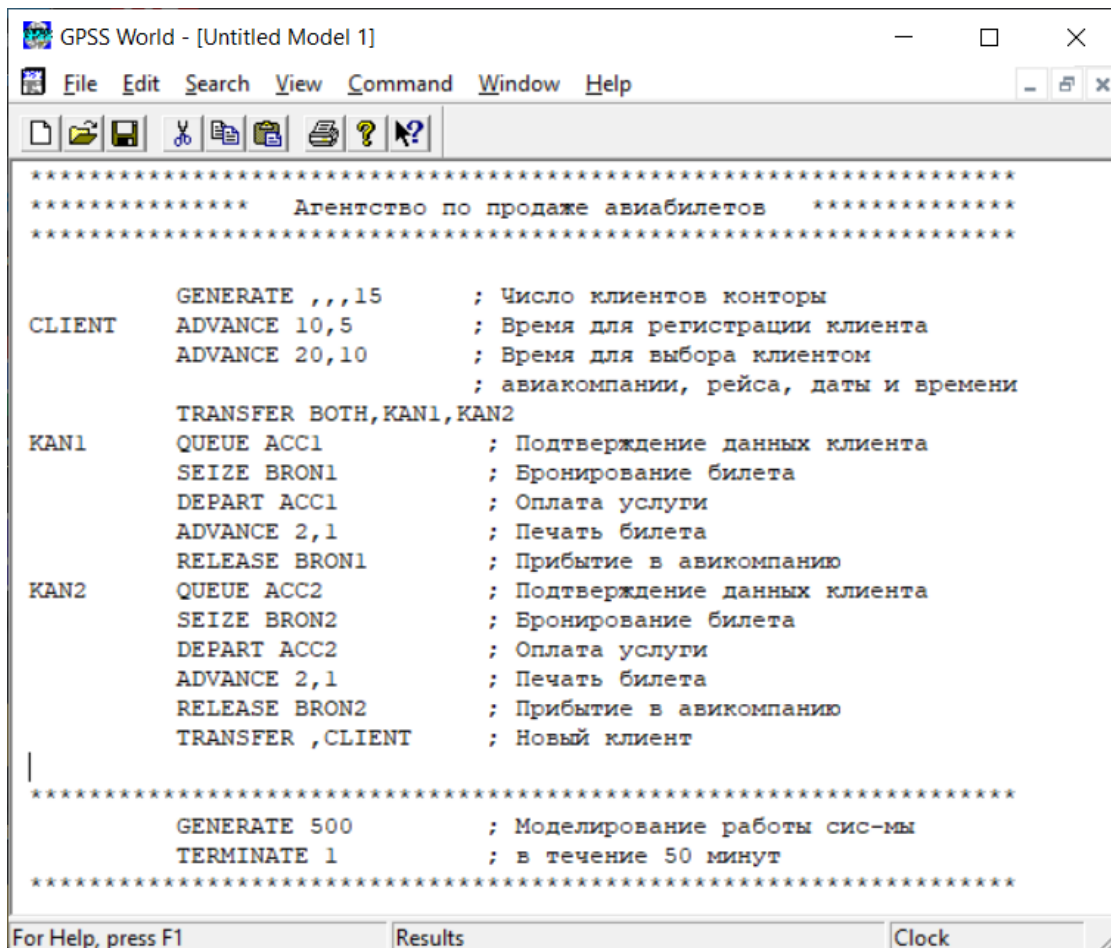


Рис. 2. Окно имитационной модели двухканальной разомкнутой СМО

Проведем сравнительный анализ моделей, используемых в агентстве аэропорта г. Пензы. Основным преимуществом текущей модели является уменьшение времени обслуживания каждого клиента. Однако, недостатком является увеличение времени, потраченного на обслуживание в случае изменения рейса, даты, времени или выбора другой авиакомпании клиентом. Альтернативная модель, представленная в статье, преодолевает этот недостаток путем направления бронирования непосредственно в компанию, предоставляющую услуги перелетов. Еще одним недостатком текущей модели является печать подтверждающего чека о бронировании. В альтернативной модели этот недостаток исключается (рис. 3).

Перед началом моделирования определили параметры, которые необходимо получить в процессе моделирования, и задали их в диалоговом окне Settings (Настройки) (рис. 4).

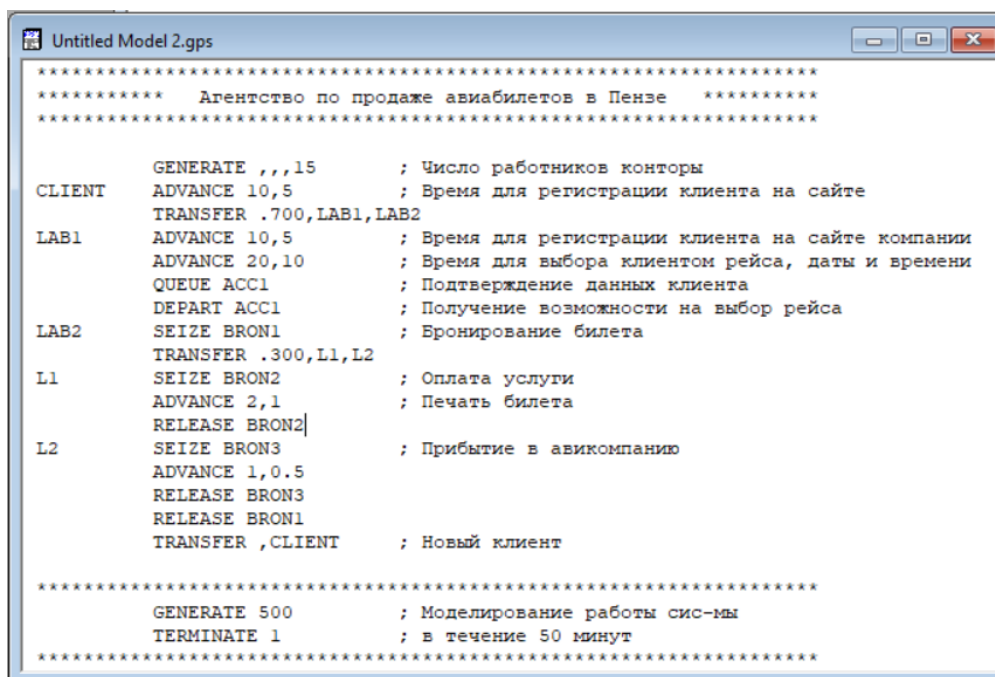


Рис. 3. Окно имитационной модели агентства Пензы

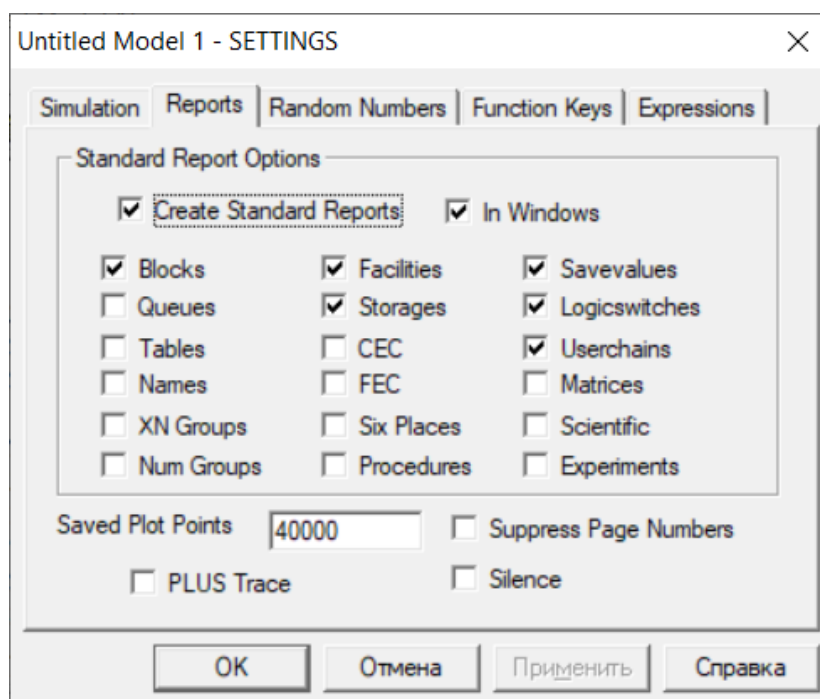


Рис. 4. Окно SETTINGS с установками для имитационной модели многоканальной разомкнутой СМО

После создания транслировали имитационную модель и запустили на выполнение. Результаты работы программы в окне REPORT (Отчет) представлены на рис. 5, 6.

Untitled Model 1.17.4 - REPORT

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.17.4

Saturday, October 21, 2023 13:29:11

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	500.000	17	2	0

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	15	0	0
CLIENT	2	ADVANCE	205	3	0
	3	ADVANCE	202	6	0
	4	TRANSFER	196	0	0
KAN1	5	QUEUE	196	3	0
	6	SEIZE	193	0	0
	7	DEPART	193	0	0
	8	ADVANCE	193	1	0
	9	RELEASE	192	0	0
KAN2	10	QUEUE	192	1	0
	11	SEIZE	191	0	0
	12	DEPART	191	0	0
	13	ADVANCE	191	1	0
	14	RELEASE	190	0	0
	15	TRANSFER	190	0	0
	16	GENERATE	1	0	0
	17	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
BRON1	193	0.742	1.923	1	13	0	0	0	3
BRON2	191	0.779	2.040	1	4	0	0	0	1

Рис. 5. Окно REPORT с результатами моделирования многоканальной разомкнутой СМО

Untitled Model 2.17.1 - REPORT

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 2.17.1

Saturday, October 21, 2023 14:07:15

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	500.000	19	3	0

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	15	0	0
CLIENT	2	ADVANCE	212	4	0
	3	TRANSFER	208	4	0
LAB1	4	ADVANCE	72	0	0
	5	ADVANCE	72	5	0
	6	QUEUE	67	0	0
	7	DEPART	67	1	0
LAB2	8	SEIZE	198	0	0
	9	TRANSFER	198	0	0
L1	10	SEIZE	150	0	0
	11	ADVANCE	150	0	0
	12	RELEASE	150	0	0
L2	13	SEIZE	198	0	0
	14	ADVANCE	198	1	0
	15	RELEASE	197	0	0
	16	RELEASE	197	0	0
	17	TRANSFER	197	0	0
	18	GENERATE	1	0	0
	19	TERMINATE	1	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
BRON1	198	0.973	2.458	1	10	0	0	0	5
BRON2	150	0.593	1.976	1	0	0	0	0	0
BRON3	198	0.380	0.961	1	10	0	0	0	0

Рис. 6. Окно REPORT с результатами моделирования агенства в г. Пенза

Анализ данных о взаимодействии клиентов с агентствами на рисунках 5, 6 показывает, что в имитационной модели [6] исключено большое количество состояний (блоков), например, удалены шаги, которые могут затруднять коммуникацию между пользователем и агентством, такие как регистрация на сайте авиакомпании и печать чека. Это видно по уменьшению количества входов (ENTRY COUNT) меток KAN1-KAN2 и LAB1-LAB2-L1-L2 в выбранной модели по сравнению с моделью агентства в г. Пенза. При этом удалось сократить время обработки одного запроса, что в свою очередь привело к сокращению среднего времени обслуживания одного пользователя. Доказательством этому служат данные в столбце "среднее время" (AVE. TIME), где у модели на рисунке 5 оно составляет 3.963, в то время как у альтернативной модели – 5.359.

Коэффициент использования модели, представленный на рис. 6, выше, однако высокий коэффициент использования не всегда является лучшим показателем. В рамках моделирования агентства по продаже авиабилетов большой уровень использования может указывать на то, что система эффективно функционирует и способна обслужить большое количество клиентов в заданный срок. Тем не менее, слишком высокий уровень использования также может свидетельствовать о возможных проблемах, например о перегрузке сотрудников, заторах в системе или невозможности обработать все запросы клиентов вовремя. Важно найти баланс между большим уровнем использования, возможной пропускной способностью и ресурсами для обеспечения эффективной работы системы.

Заключение

В данной статье проведено сравнение модели агентств аэропорта Пензы. Из полученных результатов видно, что произведено значительное упрощение процесса коммуникации между пользователем и агентством. Благодаря исключению лишних шагов, таких как регистрация на сайте авиакомпании и печать чеков, количество состояний (блоков) в модели было сокращено. Это привело к уменьшению количества входных меток и значительному сокращению времени обработки запросов. Среднее время обслужи-

вания одного пользователя в модели, представленной в работе, оказалось ниже, чем у модели агентств Пензы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рассмотренная модель может быть эффективной альтернативой для улучшения процесса взаимодействия пользователей с агентствами. Дальнейшее исследование и поиск оптимальных путей усовершенствования модели могут привести к еще более положительному влиянию на качество обслуживания пользователей в этой сфере.

Список литературы

1. Аэропорт г. Пензы. Официальный сайт. URL: <https://airport58.ru/> (дата обращения: 24.10.2023).
2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем : учеб. для вузов. М. : Высш. шк., 2001. 343 с.
3. Бражник А. Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS World. СПб. : Реноме, 2006. 438 с.
4. StudFiles. Официальный сайт. URL: <https://studfile.net/preview/2473662/page:38/> (дата обращения: 22.10.2023).
5. Боев В. Д. Имитационное моделирование систем : учеб. пособие для вузов. М. : Юрайт, 2023. 253 с.
6. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М. : ДМК Пресс, 2004. 320 с.

УДК 004.4

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СБОРА ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АНАЛИТИКЕ ВЕБ-САЙТОВ

Роман Владиславович Воячек

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

voyachekrv@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные способы сбора данных, используемых в веб-аналитике, определена их сущность и представлена сфера применения. Описаны основные достоинства и недостатки каждого способа сбора данных приведены рекомендации по их применению.

Ключевые слова: веб-аналитика, сбор данных, интернет-маркетинг

ANALYSIS OF DATA COLLECTION METHODS USED IN WEB ANALYTICS

Roman V. Voyachek

Penza State University, Penza, Russia

voyachekrv@gmail.com

Abstract. The main data collection methods used in web analytics have been discussed, their essence has been defined, and their scope of application has been presented. The key advantages and disadvantages of each data collection method have been described, along with recommendations for their implementation.

Keywords: web analytics, data collection, Internet marketing

Веб-аналитика стала неотъемлемой частью любого успешного бизнеса в наше время. Ее цель – измерять и анализировать данные веб-сайта и использовать эту информацию для определения эффективности маркетинговых кампаний и улучшения пользовательского опыта. Для эффективной веб-аналитики необходимо использовать специальное программное обеспечение, которое позволяет собирать, обрабатывать и визуализировать данные, чтобы принимать обоснованные решения на основе них. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение возможности совершенствования программного обеспечения веб-аналитики в организациях реального сектора экономики с целью обеспечения повышения уровня их доходности [1].

Одним из важных факторов, который необходим для проектирования системы анализа данных в веб-аналитике является средство сбора данных. Оно отвечает за сбор информации о действиях пользователей на сайте, таких как просмотр страниц, клики, заполнение форм и т.д. Эта информация затем передается на сервер аналитики для дальнейшей обработки.

На основании того, какие данные необходимо собирать бизнесу для осуществления выбранной стратегии аналитики, а также более эффективного способа сбора этих данных, наиболее широко применяются несколько способов сбора данных:

- тегирование страниц;
- серверный лог-файл;
- файлы cookie.

Тегирование страниц является наиболее распространенным способом сбора данных. С помощью тегирования страниц веб-мастер может добавить на свой сайт код отслеживания, который будет собирать информацию о действиях пользователей на сайте. Это может включать в себя информацию о просмотре страниц, кликах, заполнении форм и т.д. Тегирование страниц может быть выполнено с помощью специальных тегов JavaScript, включаемых в HTML-код каждой страницы.

Тегирование страниц позволяет собирать информацию о каждом действии пользователя на сайте и понимать, как они взаимодействуют с сайтом, однако оно не позволяет собирать информацию о действиях, которые происходят вне страницы, например, клики на ссылки в электронной почте или в социальных сетях.

Одним из популярных примеров решения для аналитики на основе тегирования страниц является Яндекс.Метрика. Как и любой подобный продукт, технически счетчик Яндекс.Метрика устроен по принципу обычного счетчика посещений: JavaScript-код устанавливается веб-мастером на страницах сайта и собирает данные о каждом посещении [2].

Серверный лог-файл является еще одним способом сбора данных. Каждый раз, когда пользователь обращается к сайту, сервер записывает информацию о запросе в лог-файл. Эти данные могут быть использованы для анализа поведения пользователей на сайте. Данные файлы генерируются автоматически на сервере и могут использоваться в веб-аналитике для анализа поведения пользователей и оптимизации работы сайта.

Серверные лог-файлы фиксируют не только сам факт обращения к веб-сайту, но и некоторую дополнительную информацию, включая имя файла, время, реферрер (веб сайт или страница, с которой сделан запрос), IP адрес, идентификатор браузера, операционной системы и т.д. [3].

Серверные лог-файлы позволяют собирать информацию о каждом запросе, отправленном на сервер, включая информацию о пользователе, используемом браузере, IP-адресе, времени запроса и многом другом, кроме того, они независимы от настроек пользователя, так как генерируются на стороне сервера, однако их существенный недостаток заключается в том, что они не могут получать информацию о клиенте, выполнившем запрос.

Cookie-файлы представляют собой фрагмент данных, который веб-сервер с помощью браузера сохраняет на жестком диске клиентского компьютера. Этот фрагмент может содержать практически любую буквенно-цифровую информацию (объемом не более 4 Кбайт) и может быть извлечен из клиентского компьютера и возвращен на сервер [4].

Эти файлы могут содержать информацию о том, как пользователь взаимодействует с сайтом, и могут быть использованы для отслеживания поведения пользователей на сайте. Они используются в веб-аналитике для отслеживания поведения пользователей и определения их предпочтений.

Файлы cookie позволяют сайтам «запоминать» информацию о пользователе и использовать эту информацию для предоставления более персонализированного опыта.

Кроме этого, файлы cookie могут быть использованы для маркетинговых целей. На основе информации, содержащейся в файлах cookie делается ретаргетинг – показ медийных объявлений пользователям, посетившим некоторый сайт, а затем ушедшим, не совершив покупку, для просмотра в другом месте [5].

Однако, файлы cookie имеют ряд недостатков. Во-первых, некоторые пользователи не доверяют им. Они опасаются, что сайты могут использовать файлы cookie для отслеживания их действий без их согласия, поэтому отключают cookie в настройках браузера.

Во-вторых, cookie-файлы могут быть заблокированы блокировщиками рекламы, так как многие пользователи используют блокировщики рекламы, которые также блокируют файлы cookie, что может исказить данные аналитики.

В-третьих, файлы cookie не подходят для отслеживания многих устройств. Файлы cookie связаны с конкретным устройством, на котором они были созданы. Если пользователь использует разные устройства, например, компьютер и мобильный телефон, файлы cookie не могут отслеживать его действия на разных устройствах.

Исходя из представленных характеристик можно сделать следующий вывод: тегирование страниц позволяет собирать детальную информацию о поведении пользователей на сайте и анализировать ее для оптимизации пользовательского опыта,

маркетинговых кампаний и других аспектов работы сайта. Однако, для правильной установки и настройки тегов необходимы определенные знания и навыки, а также могут быть некоторые ограничения, такие как повышенная нагрузка на сайт или невозможность сбора данных о некоторых типах взаимодействия. Поэтому, перед тегированием страниц необходимо тщательно продумать стратегию и убедиться в правильной настройке тегов.

Использование серверных лог-файлов также может быть полезным для анализа поведения пользователей и оптимизации работы сайта. Однако, чтобы использовать эти файлы в веб-аналитике, необходимо иметь профессиональные знания и умение правильно обрабатывать эти файлы, чтобы получить нужную информацию.

Использование же файлов cookie в веб-аналитике может быть полезным для отслеживания поведения и персонализированного опыта пользователей, но существуют определенные ограничения, связанные с недоверием пользователей и возможностью блокировки этих файлов блокировщиками рекламы.

Таким образом, при выборе способа сбора данных для выполнения веб-аналитики, необходимо руководствоваться типом и содержанием собираемых данных, учитывать достоинства и недостатки каждого способа, а также решением о том, какие действия дополнительно планируется проводить с собранными данными.

Список литературы

1. Былина В. Инструменты веб-аналитики для сайта промышленного предприятия // Наука и инновации. 2016. № 6 (100). С. 56–57.
2. 1PS.RU Бизнес-аналитика: ни шагу без Яндекс.Метрики! Екатеринбург : Издательские решения, 2015. 100 с.
3. Кошик А. Веб аналитика: анализ информации о посетителях веб сайтов. М. : Вильямс, 2009. 464 с.
4. Никсон Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, CSS и HTML5. СПб. : Питер, 2019. 816 с.
5. Акулич М. Таргетинг и ретаргетинг в маркетинге. Екатеринбург : Издательские решения, 2019. 70 с.

МЕТОД И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ПОЛЕТА

Игорь Николаевич Горбачев¹, София Кадырова²

^{1,2}*Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия*

¹Gorbachev.agps@yandex.ru

Аннотация. Разработан метод и алгоритм управления беспилотным летательным аппаратом в автономном режиме полета, когда в качестве источников информации для навигации используются газовые датчики и видеоданные. Предложена методика определения градиента концентрации продуктов горения и методика поиска соответствующих реперных точек на перекрывающихся снимках.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, градиент концентрации, перекрывающиеся снимки с реперной точкой, алгоритм управления

METHOD AND ALGORITHM FOR CONTROL OF AN UNMANNED AIRCRAFT IN AUTONOMOUS FLIGHT MODE

Igor N. Gorbachev¹, Sofia Kadyrova²

^{1,2}*Southwest State University, Kursk, Russia*

¹Gorbachev.agps@yandex.ru

Abstract. A method and algorithm for controlling an unmanned aerial vehicle in autonomous flight mode has been developed, when gas sensors and video data are used as sources of information for navigation. A technique is proposed for determining the concentration gradient of combustion products and a technique for searching for corresponding reference points in overlapping images.

Keywords: unmanned aerial vehicle, concentration gradient, overlapping snapshots with fiducial point, control algorithm

С целью обнаружения на местности источника возгорания на ранней стадии используются беспилотные летательные аппараты

(БПЛА). Индикатором пожароопасной ситуации является превышение концентрации вредных веществ, выделяемых в процессе горения [1, 2]. Для поиска источника возгорания БПЛА необходимо перейти в автономный режим полета, в котором необходимо отказаться от спутниковой навигации. Для прокладывания маршрута БПЛА использует данные о концентрации вредных веществ, выделяемых при горении, а также данные, получаемые от видеокамеры, установленной в надир. Для прокладывания маршрута полета необходимо знать концентрацию продуктов горения в «пикселе», а также координаты одной и той же реперной точки на двух перекрывающихся снимках в надир. «Пикселем» назовем минимальный элемент площади поверхности, на которой осуществляется мониторинг, все точки которой принимаются за одну координату.

Для прокладывания маршрута в автономном режиме необходимо определить градиент концентрации. Градиент концентрации находим в окне из девяти пикселей. Для выделения перепадов определенной ориентации используются адаптированные девятиэлементные маски [3]. Относительно девятого элемента окна могут быть выбраны восемь альтернативных решений по выбору следующего пикселя – координаты БПЛА. Для выбора соответствующей альтернативы можем сформировать три правила. Первое правило основано на том, что движение БПЛА должно осуществляться в направлении градиента концентрации продуктов горения. Второе правило – БПЛА на каждом галсе должен пройти не менее трех пикселей. Третье правило: при каждом прохождении нового пикселя проверяется возможность определения градиента в новом окне, и, если такое окно образовано, то определяется новая цель и, в соответствии с ее координатами, корректируется план полета [3].

При этом используется методология позиционирования БЛА по характерным (опорным, реперным) точкам, которые отождествляются на текущих и имеющих геодезическую привязку эталонных изображениях. Методика выбора траектории полета основана на идентификации некоординированных отклонений траектории прямолинейного горизонтального маршрута полета по градиенту. Для ее реализации необходим метод, позволяющий определить реперные точки на двух перекрывающихся снимках в надир. Пример таких снимков с выделенным реперным объектом представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пара снимков в надир с перекрытием с выделенным реперным объектом

Для определения соответственных точек на паре снимков используем корреляционный метод. На рис. 2 показан принцип отождествления соответственных точек на паре перекрывающихся снимков, который заключается в следующем. На одном из снимков стереопары измеряется любая точка, затем вокруг этой точки формируется фрагмент изображения в виде матрицы, которую будем называть эталонной (снимок 1 на рис. 2), и накладывается на второй снимок.

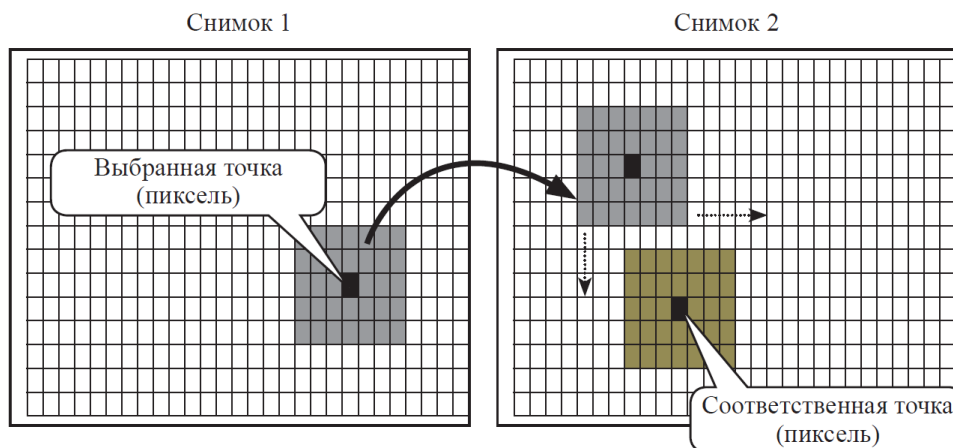


Рис. 2. Принцип отождествления соответственных точек на паре снимков посредством скользящего окна с эталонной матрицей

Вокруг реперной точки посредством прямоугольного окна формируется некоторая окрестность. Яркости пикселей, попавших в это окно, копируются в элементы эталонной матрицы. Формирование эталонной матрицы иллюстрирует левая часть рис. 2. Затем осуществляется сканирование снимка 2 эталонной матрицей. Шаг сканирования выбирается равным одному пикселю. Предложено несколько алгоритмов поиска на снимке 2 пикселя, соответствующего реперному пикселю снимка 1. Самый простой алгоритм – поэлементное вычитание соответствующих элементов эталонной матрицы и элементов снимка 2, попавших в скользящее окно, и последующий поиск пикселя, которому соответствует наименьшая по модулю разность. Однако амплитудные характеристики изображения значительно искажаются шумами, поэтому в практических решениях используются другие критерии, в частности, корреляционные.

Коэффициент корреляции максимален при максимальной схожести эталонной матрицы на фрагмент снимка 2, попавшей в ее окно. Следовательно, пиксель, определяющий координаты скользящего окна, и есть реперная точка на снимке 2. Существуют различные методики определения коэффициента корреляции. Обычно коэффициент корреляции лежит от -1 до $+1$ или от нуля до единицы. В случае обработки изображений имеет место второй вариант, согласно которому коэффициент корреляции вычисляется по формуле

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N I(x_{1i}, y_{1i}) \cdot I(x_{2i}, y_{2i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (I(x_{1i}, y_{1i}))^2 \cdot \sum_{i=1}^N (I(x_2, y_2))^2}}, \quad (1)$$

где I – яркости пикселей; i – номер пикселя в матрице; N – количество пикселей в матрице, индексы 1 и 2 относятся к первому и второму снимкам, соответственно.

Для отстройки от средней яркости (яркости фона) пикселей снимков, из яркости пикселя вычитают среднее значение яркости в снимке. Таким образом, получают нормализованные значения яркостей. Формула (1) преобразуется к виду:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [I(x_{1i}, y_{1i}) - S_1] \cdot [I(x_{2i}, y_{2i}) - S_2]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [I(x_{1i}, y_{1i}) - S_1]^2 \cdot \sum_{i=1}^N [I(x_{2i}, y_{2i}) - S_2]^2}}, \quad (2)$$

где $S_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x_{1i}, y_{1i})$; $S_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x_{2i}, y_{2i})$.

Формулы (1) и (2) являются скалярным произведением двух N -мерных векторов. Если векторы совпадают, то значение косинуса угла между ними равно единице. По этой методике можно получать координаты соответственных точек с точностью до одного пикселя.

Моделирование предложенного алгоритма управления БПЛА было реализовано в пакет Matlab R2019b. Оно показало устойчивость управления и высокую скорость достижения координат цели. В зависимости от площади и первичной траектории полета время достижения координат пикселя-цели сокращается в $1,5 \div 2$ раза.

Список литературы

1. Филист С. А., Томакова Р. А., Нефедов Н. Г. [и др.]. Интеллектуальная система обработки изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 4. С. 64–86.
2. Филист С. А., Шевцов М. В., Белозеров В. А. [и др.]. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 85–105.
3. Томакова Р. А., Филист С. А., Брежнева А. Н. [и др.]. Метод и алгоритм автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 1. С. 93–110.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА НАСТРЕЛА И ПРЕДОХРАНЕНИЯ МИНОМЕТОВ

Александр Андреевич Горохов¹,
Михаил Юрьевич Комаров²,
Максим Михайлович Мягков³

^{1,2,3}*Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия*

²komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос совершенствования системы учета настрела и предохранения от двойного заряжания с использованием микроконтроллеров. При рассмотрении вопроса найдены варианты решений, которые повысят удобство эксплуатации и эффективность использования минометов.

Ключевые слова: миномет, скорострельность, электронный предохранитель

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR TRACKING THE FIRING AND PROTECTION OF MORTARS

Alexander A. Gorokhov, Mikhail Y. Komarov²,
Maxim M. Myagkov³

^{1,2,3}*Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

²komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Abstract. The article deals with the issue of improving the system of accounting for the firing and protection against double charging using microcontrollers. When considering the issue, solutions have been found that will increase the usability and efficiency of using mortars.

Keywords: mortar, rate of fire, electronic fuse

В современных боевых действиях активно используются минометы (рис.1), являющиеся эффективным средством поражения в городских условиях и быстро меняющие свое местоположение.



Рис. 1. 82 мм миномет 2Б14-1

Опыт специальной военной операции показал, что для повышения скорострельности расчеты минометов снимают штатный предохранитель от повторного заряжания. Это обусловлено неудобством использования штатного устройства, что выражается в поломке механизмов предохранения, из-за чего невозможно зарядить следующую мину, или в разрыве мины в канале ствола миномета вследствие нераскрытия данных механизмов [1].

Снятие штатного предохранителя от повторного заряжания (рис. 2) приводит к снижению безопасности использования, так как во время активной работы существует возможность несвоевременного опускания очередной мины перед выходом предыдущей и к ее разрыву внутри канала ствола [2].

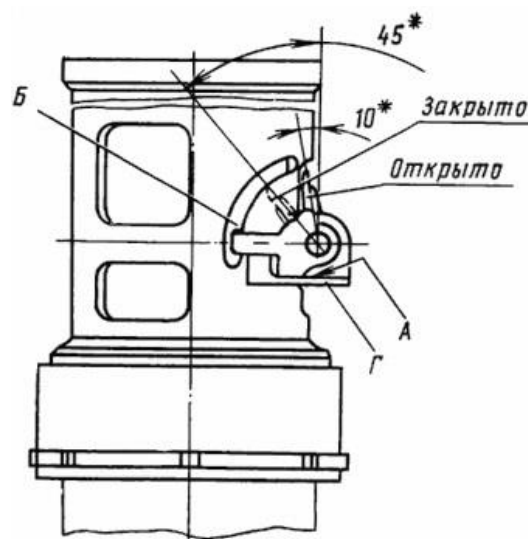


Рис. 2. Предохранитель 82 мм миномета 2Б14-1

Предлагаемый вариант решения данной проблемы заключается в разработке другой конфигурации предохранителя, такой как электронный предохранитель от повторного заряжания на основе микроконтроллеров.

При изучении возможностей микроконтроллера и датчиков фиксации мины, предложенных для создания устройства от повторного заряжания, были обозначены их функциональные возможности:

- предупреждение световым сигналом индикации о заряженном состоянии миномета;
- ведение настрела миномета по типу заряда;
- определение начальной скорости мины и измерение отклонений начальной скорости от табличной без использования дополнительного оборудования (например, артиллерийских баллистических станций АБС-1, АБС-2).

Принцип действия электронного предохранителя заключается в считывании движения мины при прохождении ее через группу бесконтактных датчиков, находящихся на дульном срезе, с последующим включением световой индикации и выключении ее после прохождения датчиков миной при выстреле. Это позволяет сигнализировать о состоянии миномета при стрельбе как заряжающему, так и командиру миномета.

Измерение начальной скорости основывается на принципе хронографа: во время выхода мины из канала ствола первый бесконтактный датчик включает таймер в микроконтроллере при прохождении мины. При прохождении миной второго бесконтактного датчика таймер останавливается, фиксируя время прохождения известного расстояния между датчиками, что позволит определить ее начальную скорость. Точность определения времени при частоте в 16 МГц составляет 0,0625 микросекунды, что достаточно для определения начальной скорости мины.

По начальной скорости мины фиксируется заряд, на котором производилась стрельба, и сохраняется в памяти информация о выстреле миномета. Благодаря чему возможно проведение точного учета настрела миномета, а также ведение электронного журнала стрельбы.

Учет настрела миномета позволит своевременно получать информацию о техническом состоянии миномета и в последующем своевременно проводить его техническое обслуживание [3].

Основной задачей при разработке электронного предохранителя от повторного заряжания является выбор подходящих бесконтактных датчиков для измерения начальной скорости мины.

Использование оптических (рис. 3) датчиков для измерения начальной скорости имеют ряд недостатков: так, при прорыве пороховых газов возникает яркая вспышка, которая будет давать помехи, что может сказаться на надежности фиксации мины датчиками при вылете.



Рис. 3. Оптический датчик

Ультразвуковые датчики (рис. 4) из-за большого звукового воздействия и отсутствия возможности прохождения ультразвуковых волн через пороховые газы могут не зафиксировать прохождение мины при выстреле, поэтому данные датчики смогут выполнить только задачу фиксации прохождения мины при зарядании.

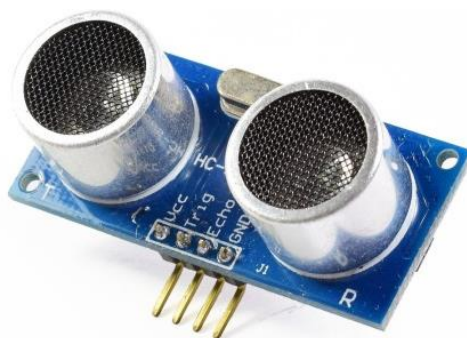


Рис. 4. Ультразвуковой датчик

Электромагнитные датчики подходят для измерения начальной скорости снаряда, поскольку можно использовать различную конфигурацию электромагнитного контура и подаваемого на него напряжения для создания поля, изменение которого будет проис-

ходить в процессе движения мины при вылете во время стрельбы. Также решается проблема воздействия пороховых газов вследствие минимальных помех на датчик. Но при низкой скорости движения мины при зарядании электромагнитные датчики слабо реагируют с миной, в связи с малым изменением магнитного поля в контуре.

Исходя из выше сказанного, решением проблемы является использование комбинации различных датчиков. Для решения задачи засечки мины при введении ее в канал ствола необходимо использовать оптические датчики, так как они будут безотказно работать до осуществления выстрела. Для измерения начальной скорости мины отлично подойдут электромагнитные датчики в связи с возможностью подбора нужной конфигурации и минимального воздействия помех.

Электронную схему операционного блока электронного предохранителя от повторного заряжания целесообразно реализовать на основе микроконтроллеров atmega328, Arduino или их аналогов (рис. 5). Вычислительные возможности микроконтроллеров позволят реализовать все необходимые функции, а малые размеры бесконтактных датчиков – создать прибор, не превышающий габаритов штатного прибора [4].

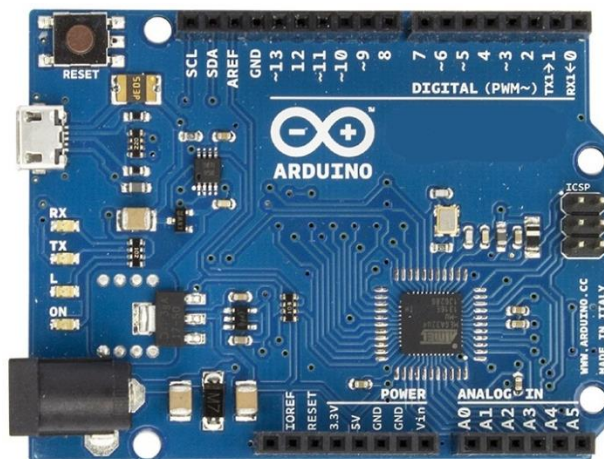


Рис. 5. Микроконтроллер типа Arduino

Список литературы

1. Руководство по эксплуатации ракетно-артиллерийского вооружения М. : Воениздат, 2018. 414 с.
2. Руководство по боевой работе огневых подразделений артиллерии. М. : Воениздат, 2014. 220 с.

3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 82-мм миномета 2Б14-1. М. : Воениздат, 1990. 96 с.

4. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 461 с.

УДК 621.397.6 ГРНТИ 49.37.29

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК УЗЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Егор Дмитриевич Гурьянов¹, Андрей Леонидович Приоров²

*^{1,2}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹guryanoved@yandex.ru

²andcat@yandex.ru

Аннотация. Представлено описание разрабатываемой кластерной беспроводной сенсорной сети. Описана созданная малогабаритная автономная мобильная платформа для исследуемого кластера. Рассматриваются задачи исследования, а также метрики, используемые в алгоритме работы кластера.

Ключевые слова: кластер, беспроводная сенсорная сеть, малый мобильный объект, робот

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS MOBILE PLATFORM AS A WIRELESS SENSOR NETWORK NODE

Egor D. Guryanov¹, Andrey L. Priorov²

^{1,2}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹guryanoved@yandex.ru

²andcat@yandex.ru

Abstract. There is a description of the cluster wireless sensor network (WSN) being developed. The developed small-sized autonomous mobile platform

for the cluster under study is described. The research tasks are called, as well as metrics used in the cluster operation algorithm.

Keywords: cluster, wireless sensor network, small mobile object, robot

В настоящее время вопрос организации связи в группах автономных мобильных роботов или платформ (АМП), рое беспилотных летательных аппаратов (БЛА) или дронов достаточно актуален [1–3]. В представленной разработке рассматривается натурная модель кластерной БСС, охватывающей три уровня взаимодействия – наземный, воздушный, космический. Общая схема такой сети представлена на рис. 1.

Каждый кластер рассматриваемой сети представляет собой автономную единицу, то есть может независимо от других выполнять задачи организации связи. Кластеры могут подключаться и отключаться от основной сети, формировать новые сети и перестраивать свою структуру в зависимости от окружающей обстановки, опираясь на используемые в сети метрики.

В настоящее время разработана группа минироботов, имитирующих первичный кластер – нижний уровень БСС (рис. 1). Все АМП данного кластера идентичны друг другу, несут на борту микроконтроллеры Atmega32u4 и модули радиосвязи NRF24101+ (рис. 2). Управляющий контроллер содержит дополнительно плату с чипом ESP32, которая позволяет связать кластер нижнего уровня с кластером среднего уровня. В функциональном плане АМП предназначены для выполнения задачи картирования и поиска выхода из лабиринта группой роботов.

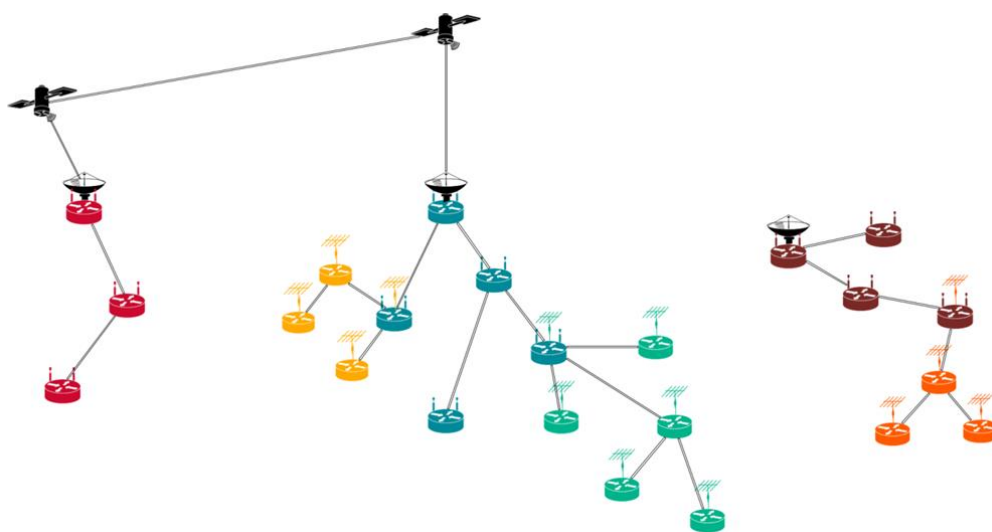


Рис. 1. Общая схема разрабатываемой кластерной БСС

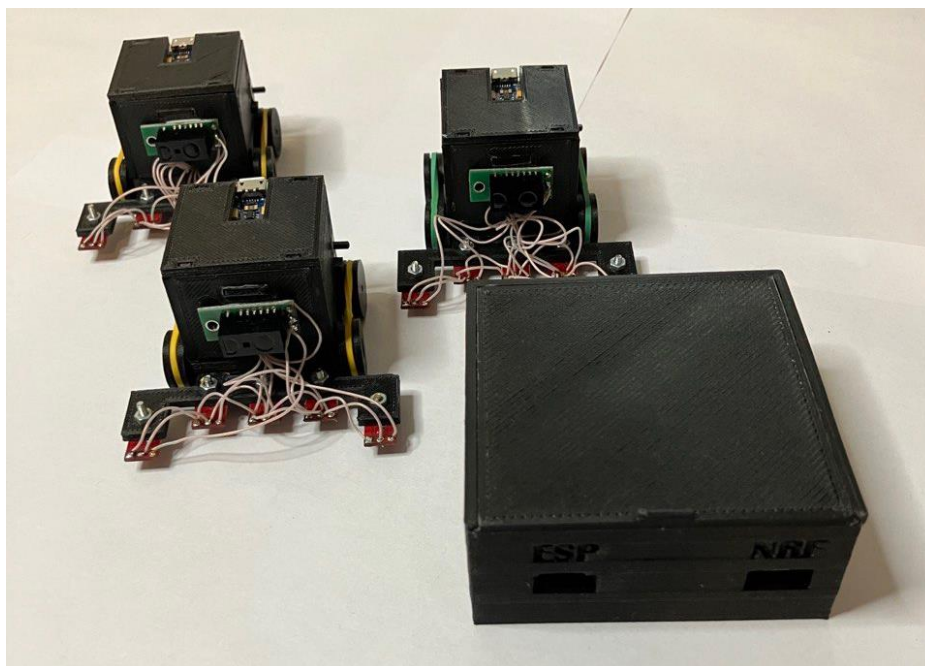


Рис. 2. Элементы кластера БСС

С помощью АМП проведено несколько экспериментов по организации и исследованию характеристик БСС для данного кластера [4]. В настоящее время продолжаются работы по разработке адаптивного алгоритма организации связи внутри кластера БСС, внедрение метрик, таких как энергия узла, метрик из рекомендации ITU-T Y.1540 [5], RTT (англ. round-trip time), а также разработка собственных метрик с учетом вычислительных возможностей используемых микроконтроллеров. Также важным аспектом остается организация беспроводной связи между кластерами в разрабатываемой БСС [6].

Радиомодули nRF24L01+ работают в диапазоне 2,4 ГГц, в котором так же работают WiFi, Bluetooth и другие беспроводные технологии. Чтобы обеспечить электромагнитную совместимость можно сменить канал связи на любой из 128 доступных. Также учитываем рекомендации ГКРЧ и ограничиваем верхнюю частоту диапазона 2483 МГц. Поскольку в лабораторных условиях будем считать помеху от Wi-Fi маршрутизаторов основной, что часто и реализуется на практике, диапазоны сканирования выбираем исходя из этих соображений. Таким образом, для работы алгоритма выбраны следующие поддиапазоны 2424-2426 МГц, 2449-2451 МГц, 2474-2483 МГц, 2477-2479 МГц, 2480-2482 МГц, и соответственно центральные частоты: 2425, 2450, 2475, 2478 и 2481 МГц.

Выбор поддиапазонов обусловлен результатами сканирования выбранного частотного диапазона. Для реализации сканера используется функционал библиотеки используемого радиомодуля RF24 [7]. Сканер отслеживает, сколько раз на каждом канале превышался уровень мощности 60 дБм. Фактически используется упрощенная метрика RSSI с жестко установленным порогом чувствительности. При проведении экспериментального сканирования получены результаты, изображенные на рис. 3.

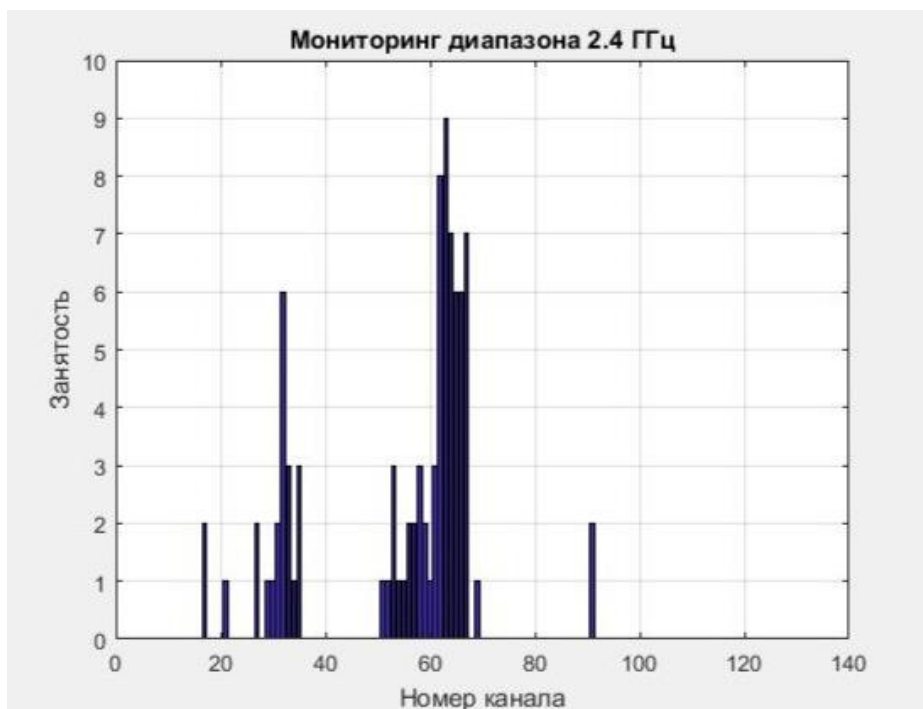


Рис. 3. Занятость частот в исследуемом диапазоне

Важным аспектом построения беспроводной архитектуры является синхронизация времени на всех узлах сети. Поскольку используемая для построения самоорганизующейся сети библиотека RF24Mesh [8] не использует специальные функции синхронизации времени, написана функция синхронизации по аналогии NTP сервера с использованием внешней платы часов реального времени DS3231, которая размещена в боксе контроллера. Поскольку точности в пределах 1 секунды достаточно для функционирования сети, эта микросхема подходит под реализуемую задачу. При необходимости, возможно использование верхнего уровня сети для получения сигналов точного времени от NTP серверов сети Интернет или спутникового сегмента.

Список литературы

1. Bekmezci I., Sahingoz O., Temel B. Flying ad-hoc networks (FANETs): a survey // Ad Hoc Networks. 2013. № 11 (3). P. 1254–1270. doi: 10.1016/j.adhoc.2012.12.004
2. Glaser A. Intel invented a way for a single operator to fly hundreds of drones at once. URL: <https://www.recode.net/2016/11/4/13517550-intel-single-operator-fly-hundreds-drones-shooting-star> (дата обращения: 25.09.2023).
3. Лихтциндер Б. Я. Беспроводные сенсорные сети : учеб. пособие для вузов. М. : Горячая линия – телеком. 2020. 236 с.
4. Приоров А. Л., Гурьянов Е. Д. Исследование характеристик кластера адаптивной динамической кластерной БСС для малых мобильных объектов // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPA – 2023) : доклад XXV Междунар. конф. (Москва, 29–31 марта 2023 г.). М. : Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, 2023. С. 317–322. EDN DPDNR.
5. Рекомендация ITU Radio Regulations Article 5 in footnotes 5.138, 5.150, and 5.280 of the Radio Regulations. URL: <https://www.itu.int/en/history/Pages/RadioRegulationsA.aspx?reg=1.44> (дата обращения: 06.09.2023).
6. Lutakamale A., Kaijage Sh. Wildfire Monitoring and Detection System Using Wireless Sensor Network: A Case Study of Tanzania // Wireless Sensor Network. 2017. № 9. P. 274–289. doi: 10.4236/wsn.2017.98015
7. RF24Network. URL: <https://github.com/nRF24/RF24Network> (дата обращения: 21.09.2023).
8. RF24Mesh. URL: <http://tmrh20.github.io/RF24Mesh/index.html> (дата обращения: 25.09.2023).

УДК 004.773.5

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРВЕРА JANUS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ

**Ксения Михайловна Демушкина¹,
Михаил Олегович Демушкин²**

*^{1,2}Научно-производственное предприятие «Рубин»,
г. Пенза, Россия*

¹riabova.ksenija@yandex.ru

²demushkinmo@mail.ru

Аннотация. Рассматривается технология WebRTC, как основной инструмент разработки видеоконференцсвязи. WebRTC устанавливает соединение p2p (peer-to-peer), что повышает нагрузку на серверную часть. Для снижения нагрузки предлагается использовать сервер Janus. Полученные результаты показали, что количество соединений в потоке уменьшается в 2 раза. Это позволяет серверу обеспечивать высокую производительность и отзывчивость при работе с несколькими клиентами одновременно.

Ключевые слова: WebRTC, видеоконференцсвязь, Janus

THE EFFECTIVENESS OF USING THE JANUS SERVER FOR VIDEO CONFERENCING DEVELOPMENT

Ksenia M. Demushkina¹, Mikhail O. Demushkin²

^{1,2} Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia

¹riabova.ksenija@yandex.ru

²demushkinmo@mail.ru

Abstract. WebRTC technology is considered as the main tool for developing video conferencing (hereinafter referred to as VCC). WebRTC establishes a p2p (peer-to-peer) connection, which increases the load on the server side. To reduce the load, it is proposed to use the Janus server. The results obtained showed that the number of compounds in the flow decreases by 2 times. This allows the server to provide high performance and responsiveness when working with multiple clients simultaneously.

Keywords: WebRTC, video conferencing, Janus

Технологии, позволяющие проводить видеоконференции в браузере, берут свое начало в 2009 году. Когда израильская компания ooVoo, анонсировала возможность браузерных звонков. Такой прогресс был обусловлен желанием разработчиков конкурировать с популярным, в то время, Skype. В 2011 году Google опубликовал исходные коды видеочата WebRTC, что стало толчком развитию WebRTC, как основной технологии передачи потоковых аудио и видео в web-разработке. В 2012 году разработчики столкнулись с необходимостью передачи аудио и видео потока в режиме реального времени, без дополнительных плагинов, расширяющих возможности браузера (Flash, Java, NPAPI, ActiveX). Таким образом, технология WebRTC стала одним из основных инструментов по передаче аудио и видео с помощью веб-сайтов.

WebRTC – это технология, которая обеспечивает передачу потоковых аудио и видео данных между браузерами. Эта технология позволяет создать видеоконференцсвязь на любом браузере или приложении, в режиме реального времени. В настоящее время можно выделить ряд достоинств данной технологии:

- не требуется дополнительное ПО;
- обеспечивается высокое качество связи (благодаря использованию современных кодеков);
- обеспечение высокого уровня безопасности (соединения защищаются протоколами DTLS-SRTP, более того работа с WebRTC возможна только по протоколу HTTPS);
- открытый исходный код (обеспечивает легкость внедрения в сторонние сервисы); кросс-платформенность (WebRTC поддерживается на любых браузерах и устройствах);

Рассмотрим основные принципы работы WebRTC на примере двух абонентов. На стороне клиента, где инициируется соединение, формируется SDP-пакет. Это сетевой протокол прикладного уровня, который описывает сессию передачи потоковых данных. Обычно, в состав SDP-пакета входит следующая информация:

- IP-адреса места назначения потока;
- кодеки, которые используются во время сессии;
- номер UDP порта отправителя потока и его получателя;
- параметры, поддерживаемые браузером.

Сформированный SDP-пакет передается другим участникам сессии с помощью WebSocket и сигнального сервера, который по своей сути выступает ретранслятором [1]. Все пользователи подключаются к нему и используют для обмена данными. После получения пакета SDP, принимающая сторона создает свой пакет на его основе и отправляет инициатору сессии. Таким образом, обеспечивается взаимодействие между участниками сессии (рис. 1).

Один существенный недостаток технологии WebRTC состоит в количестве р2р соединений, описываемых формулой:

$$\frac{n * (n - 1)}{2}, \quad (1)$$

где n – количество пользователей в сессии [2]. Поэтому рекомендуется в качестве сигнального сервера использовать сервер Janus с

многопоточной архитектурой для обработки запросов от всех пользователей сессии. Каждый клиент устанавливает отдельное соединение с сервером, и сервер создает отдельный поток для каждого клиента.

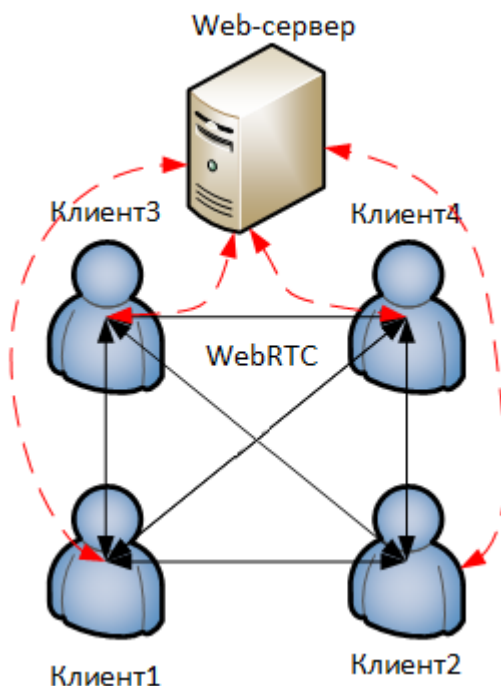


Рис. 1. Взаимосвязь клиентов при WebRTC технологии

Когда клиент отправляет запрос на сервер, сервер принимает его и передает его соответствующему потоку для обработки. Поток обрабатывает запросы от своего клиента независимо от других потоков (рис. 2).

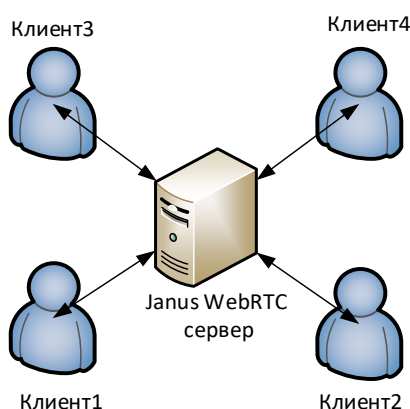


Рис. 2. Взаимосвязь клиентов при наличии Janus WebRTC сервера

Сервер Janus использует механизмы синхронизации, такие как блокировки и семафоры, чтобы обеспечить безопасность и согласованность данных при обработке запросов от нескольких клиентов одновременно. Это позволяет серверу эффективно управлять соединениями и обрабатывать запросы от каждого клиента [3].

Таким образом, сервер Janus эффективно управляет соединениями и обрабатывает запросы от каждого клиента, используя многопоточную архитектуру и механизмы синхронизации. Это позволяет серверу обеспечивать высокую производительность и отзывчивость при работе с несколькими клиентами одновременно.

Список литературы

1. Миронов Е. Ю. Разработка сигнального сервера для соединения по webrtc // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 27. С. 1179–1187.
2. Осипов И. Н. Оптимизация загруженности аппаратных ресурсов при использовании приложений на webrtc // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО : материалы XLVI науч. и учеб.-метод. конф. (Санкт-Петербург, 31 января 2017 г.). СПб. : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. Т. 3. С. 140–143.
3. Статников А. С., Фролов Д. А., Горжевский И. Д. Аспекты реализации систем конференцсвязи на основе технологии webrtc // Решетневские чтения : материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева : в 2 ч. (Красноярск, 09–11 ноября 2022 г.) / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова. Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2022. Ч. 2. С. 360–362.

УДК 004.042, 004.912

СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

**Сергей Валерьевич Ефанов¹,
Елена Николаевна Иванова²**

^{1,2}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹nshysh@yandex.ru

Аннотация. Разработана программная вычислительная система, которая позволяет выполнить классификацию потока текстовых данных. Обработка может выполняться в различных программных режимах. Представленная программа позволяет решить проблему анализа большого количества данных, объемы которых человек не способен не только воспринять, но и качественно проанализировать.

Ключевые слова: рубрикация данных, вычислительная система, процесс классификации, поток текстовых данных, кластеризация смысловых групп

CLASSIFICATION SYSTEM FOR TEXT DATA FLOW

Sergey V. Efanov¹, Elena N. Ivanova²

^{1,2}*Southwest State University, Kursk, Russia*

¹nshysh@yandex.ru

Abstract. A computing system has been developed that allows the classification of the text data stream. Processing can be performed in various program modes. The presented program allows you to solve the problem of analyzing a large amount of data, the volumes of which a person is not able not only to perceive, but also to analyze qualitatively.

Keywords: data categorization, computing system, classification process, text data flow, clustering of semantic groups

Каждый день человеку приходится обрабатывать большое количество различной информации. Нередко уровень интенсивности входных данных настолько высок, что качественно воспринять ту или иную информацию просто невозможно.

Обилие ненужных и нейтральных данных часто превышает количество полезной информации. Чтобы не запутаться в многообразии различных сведений, необходимо отделять полезное от второстепенного. В настоящее время проблема обработки больших объемов данных актуальна как никогда.

При обработке данных важно понимать несколько основных аспектов, связанных с классификацией входного потока. Например, разнородность элементов (языковых единиц) внутри обрабатываемой выборки. Нередко огромные текстовые структуры содержат множество разных смыслов. Данный факт имеет большое значение, ведь, как правило, от вычислительной системы требуется распознать

границы между смысловыми группами, чтобы грамотно распознать контекст, который описывается в тексте [1].

При кластеризации также важно обращать внимание на количество шумовых элементов, которые не дают однозначно оценить входные данные. Шумом в данном случае может считаться текстовая единица, которая не несет в себе смысла, как правило, эти элементы называют «стоп-слова». При анализе входных данных они должны быть удалены, чтобы исключить их влияние на результат рубрикации.

Один из важных показателей, влияющих на качество обработки – это уровень ложной корреляции. Когда из-за высокой размерности текста, не удастся однозначно установить рубрику или другими словами тему, которая в большей степени представлена во входном наборе данных. Ложная корреляция может привести к противоречивым результатам обработки, когда результат оценивания показывает на группы, которые не представлены в тексте. Как правило, невозможно полностью убрать влияние данного параметра, однако можно его учитывать при оценке полученных результатов.

С учетом представленных характеристик больших объемов данных была разработана вычислительная система, которая позволяет классифицировать поток текстовых данных. Модель работы программы можно увидеть на рис. 1.



Рис. 1. Модель работы программы

Для увеличения скорости кластеризации реализован процесс параллельной обработки заданий, когда система способна быстро анализировать несколько текстовых сообщений за один период времени [2].

Разработанный программный комплекс способен обрабатывать задачи, как в ручном, так и в автоматическом режиме. При ручной кластеризации происходит однопоточная обработка входных данных, а при автоматическом – в параллельном режиме работы. Модель классификации данных представлена на рис. 2.

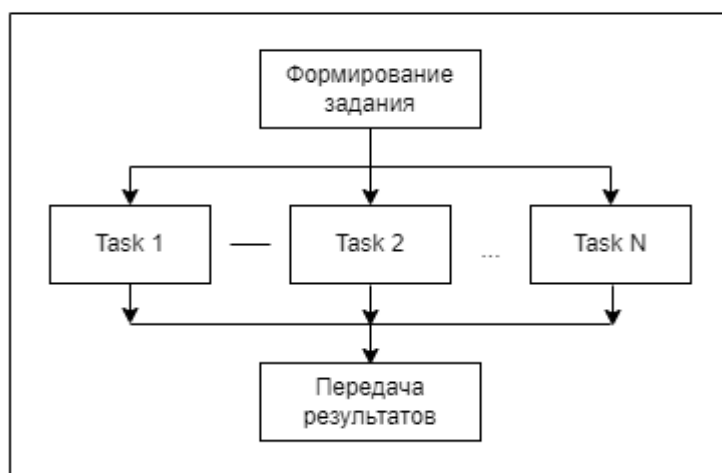


Рис. 2. Модель классификации данных

Для обработки в любом из режимов создается объект (Task), который будет согласован с обрабатываемым набором входных данных. Task исполняет роль контейнера, который аккумулирует в себе все необходимые сведения о старте и завершении процесса обработки по данной входной единице текста. Программно, при многопоточной обработке данных, реализован так называемый пул потоков, который позволяет рационально экономить вычислительные ресурсы при потоковом анализе заданий. Использование пула потоков позволяет контролировать уровень параллелизма в программе, удерживая его на первоначальном заданном уровне.

При старте программы инициализируются основные компоненты для получения задания на рубрикацию. В память загружается словарь терминов для распознавания смысловых образов. Взаимодействие с комплексом ведется на основе REST, под которым понимается архитектурный стиль взаимодействия компонентов в распределенной сети [3]. Как правило, REST реализован на

основе набора правил, которые позволяют организовать взаимодействие с серверной частью приложения. Серверная компонента отвечает на поступающие запросы клиентов, которые хотят осуществить классификацию некоторого текста.

После считывания запроса на рубрикацию текста происходит анализ входного массива данных. Если был передан файл, то будет выполнен анализ определения расширения. На основе этих сведений будет принято решение о том, какой конкретно классификатор будет распознавать файл.

По завершении анализа файла будет получен текст документа, который был передан на классификацию смысловых структур.

Для начала обработки полученного текста необходимо определить естественные языки, элементы которых представлены в массиве данных. При этом все необходимые языковые модели загружаются при старте программы.

Языковой классификатор определяет список естественных языков, и создает задание на рубрикацию текста. Данное задание оценивается на основе специального интеллектуального анализатора текста. Он создает полнотекстовый индекс и анализирует текст на наличие смысловых шаблонов. Наличие того или иного смыслового шаблона запоминается. Сам факт присутствия элемента из словаря внутри текста свидетельствует о принадлежности данного анализируемого фрагмента к определенной рубрике или смысловой группе. Связь рубрики и шаблона также хранится в словаре инициализируемых данных программы [4]. При необходимости можно изменить нужную связь, добавив или удалив нужные зависимости в процессе обработки. При этом остановка задания не требуется, программа сама применит все изменения.

Для оценки влияния количественной характеристики связей групп и шаблонов был введен показатель, который отражает ценность рубрики. Если из некоторой группы было найдено больше всего шаблонов, то она считается релевантной. При ранжировании она будет всегда более приоритетной относительно других тем.

На основе процесса ранжирования определяется главная группа, которая является преобладающей рубрикой. Она должна иметь большее количество найденных связей внутри входного набора данных. Корреляционная зависимость между связями задается при старте программы.

После выполнения обработки задания и сохранения корреляционной карты происходит агрегация данных для создания ответа клиента.

Использование данной программы позволяет произвести классификацию текстового потока данных, решая проблему автоматической обработки больших объемов данных.

Список литературы

1. Ефанов С. В., Система параллельной обработки потока текстовых данных // Интеллектуальные и информационные системы : Всероссий. науч.-техн. конф. Тула : Изд-во ТулГУ, 2021. 318 с.

2. Ефанов С. В., Иванова Е. Н. Система определения и извлечения данных из различных типов файлов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Распознавание 2021 : сб. материалов XVI Междунар. науч.-техн. конф. / ред. кол.: С. Г. Емельянов, В. С. Титов (отв. ред.). Курск, 2021.

3. Извлечение информационных объектов с помощью комбинации классификаторов // Федеральный институт промышленной собственности. 2018. URL: https://new.fips.ru/iisa/document.xhtml?facesredirect=true&id=22039fd03aa194d3_6298013c24620b49 (дата обращения: 30.09.2023).

4. Использование автоэнкодеров для обучения классификаторов текстов на естественном языке // Федеральный институт промышленной собственности. 2020. URL: https://new.fips.ru/iisa/document.xhtml?facesredirect=true&id=eac244f349389069_47eb88a50ff99b29 (дата обращения: 30.09.2023).

УДК 629.783

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКОВ ФОРМАТА CUBESAT С ПОМОЩЬЮ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК

**Лиана Давидовна Касоян¹,
Александр Михайлович Некоркин²,
Алена Евгеньевна Колядко³**

*^{1,2,3}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹lika68987@gmail.com

Аннотация. Исследован алгоритм определения относительной ориентации в космическом пространстве двух искусственных спутников Земли на

основе реперных точек (точек-маркеров). Проанализированы преимущества и недостатки использования этого подхода, а также варианты работы, ограничения при реализации и перспективы рассматриваемого способа (на примере наноспутников формата CubeSat), применение которого позволяет снизить стоимость космических миссий.

Ключевые слова: наноспутник, технология CubeSat, визуальное наблюдение, реперные точки, относительное положение

DETERMINATION OF THE RELATIVE POSITION OF CUBESAT NANOSATELLITES USING BENCH MARK

**Liyana D. Kasoyan¹, Alexander M. Nekorkin²,
Alena E. Kolyadko³**

^{1,2,3}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹lika68987@gmail.com

Abstract. An algorithm for determining the relative orientation in outer space of two artificial Earth satellites based on reference points (marker points) is studied. The advantages and disadvantages of using this approach are analyzed, as well as work options, limitations in the implementation and prospects of the method under consideration (using the example of CubeSat nanosatellites), the use of which reduces the cost of space missions.

Keywords: nanosatellite, CubeSat technology, visual observation, reference points, relative position

Предпосылками к созданию малых космических аппаратов послужили стремительное усовершенствование и миниатюризация передовых электронно-вычислительных, оптических, фото- и компьютерных технологий. С уменьшением размеров космических аппаратов и их составляющих увеличилось число задач, которые успешно решают с их помощью:

– дистанционное зондирование Земли (выявление природных явлений чрезвычайного характера, изменение площади ледяного покрова, мониторинг речного трафика, отслеживание техногенных катастроф, нелегальных свалок и т.д.);

– мониторинг космического мусора;

организация и отладка перспективных систем связи;

– возможность организации распределенного телескопа;

– проведение соответствующих научных исследований (изучение магнитных полей Земли, полярных сияний, верхних слоев атмосферы, серебристых облаков, и др.);

– обеспечение навигации.

Кроме того, появилась возможность для отправки группы таких спутников (за счет снижения стоимости каждого отдельно взятого) для выполнения некоторой общей миссии, которая по сложности может значительно превосходить возможности каждого одиночного аппарата. В настоящее время все большую популярность среди малых искусственных спутников Земли набирают наноспутники формата CubeSat, чей значительный потенциал способствует их применению для решения как многочисленных прикладных, так и научных задач.

Наноспутник CubeSat в настоящее время представляет собой небольшой космический аппарат, который весит до 1,33 килограмма и имеет размеры 10x10x10 см. Первоначальный спутник состоял из одного куба указанных размеров и обозначался как 1U. Потом их стали объединять по несколько штук, чтобы сформировать блоки размером 1,5U, 2U, 3U, 6U, 12U. Эти более крупные размеры CubeSat тоже стали стандартизированными. За последние годы они получили большую популярность, поскольку за счет дополнительного объема, мощности и общего увеличения возможностей можно достичь больших практических результатов при реализации разнообразных космических миссий со существенно меньшими по сравнению с традиционными одиночными спутниками затратами [1].

Развитие данной технологии критически важно для решения различных научных и прикладных задач на предмет разработки подходов, позволяющих определять относительное положение и ориентацию двух близко летящих в космическом пространстве объектов в достаточно стандартной ситуации отсутствия или наличия неустойчивого радиоканала между ними. Когда обмен информации невозможен, использование рассмотренного далее метода визуального мониторинга эффективно и помогает достаточно точно определить взаимное расположение двух наноспутников относительно друг друга.

В настоящей работе представлено исследование сфокусировано на способе анализа изображения, полученного с камеры,

установленной на борту наноспутника, с помощью особых точек соседнего наноспутника формата CubeSat.

Если рассматривать наноспутники поштучно, то одиночный космический аппарат будет иметь несколько недостатков в сравнении с роем: высокая стоимость, ограниченная зона покрытия, ограниченные возможности для выполнения многих стандартных задач, обусловленные, в том числе и уровнем вычислительных возможностей бортовой аппаратуры, а также сложности модернизации, обусловленные ограниченными размерами.

Отображение потенциальных роевых способностей для формата малых космических аппаратов представляет собой возможность для решения широкого спектра инновационных прикладных задач. Взаимодействие систем связи, достижение оптимума в части экономии используемой полосы частот электромагнитного спектра, более высокая скорость передачи данных, способность обеспечивать измерения в увеличенной зоне покрытия – всё это преимущества, представляющие системами связи, разработанными на основе группировки наноспутников CubeSat [2]. В варианте кластера малых космических аппаратов повышается также вероятность их появления в области видимости наземных станций, что обеспечивает возможность проведения географически разнообразных измерений [3].

В формате роя распространён способ определения относительного состояния аппаратов обработкой кадров, получаемых при съемке объекта камерой с другого подобного объекта (в данном случае снимаемым объектом будет соседний наноспутник).

В работе данный метод рассмотрен на примере наноспутников CubeSat. Основой определения относительной ориентации объектов является положение центра масс снимаемого аппарата относительно снимающего в системе координат, которая непосредственно будет связана с первым наноспутником.

Через ряд достаточно точных измерений и расчетов происходит воссоздание траектории движения аппарата относительно некоторого навигационного пункта. Основываясь на начальном видеосигнале, исходящем из оптико-электронного устройства на светочувствительном элементе с наноспутника, предлагаемый метод исследования заключается в детализации каждого отдельного кадра по ряду критериев, таких как: размеры, отражательные свойства и параметры взаимного расположения.

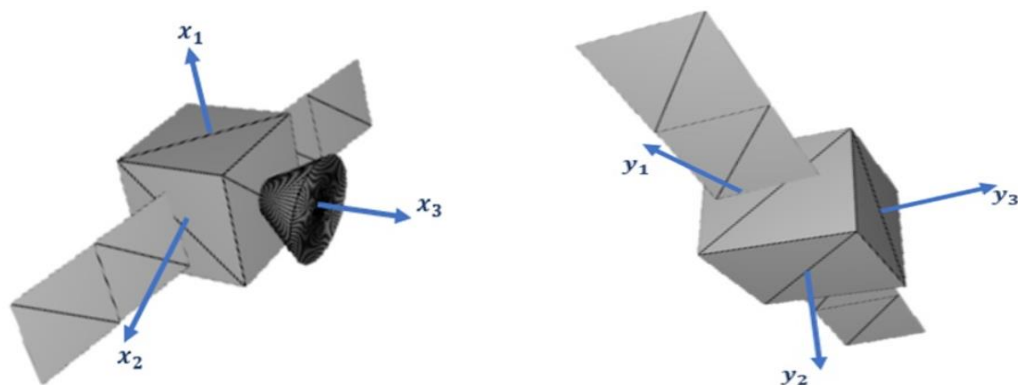


Рис. 1. Взаимная относительная ориентация рассматриваемых наноспутников со связанными с ними трехмерными локальными системами координат

Существует несколько способов визуального мониторинга взаимного расположения таких аппаратов. При рассмотрении группового полёта наноспутников выделяется определение относительного положения освещенного аппарата. Подобный алгоритм уже использован ранее ИКИ РАН для формата микроспутника «ЧибиcM». Установлено, что в зависимости от ряда факторов (дистанция между аппаратами, спецификация техники аппарата, величины точек-маркеров и др.) стабильность получаемых результатов данного метода исследования может колебаться в значительных пределах [4].

Реперные точки спутника – точки на его поверхности, которые используются для ориентации и измерения его положения и движения в космическом пространстве. При расположении этих точек может быть определено расстояние между ними, а также координаты объекта. Положение реперных точек на изображении можно определить по результатам съемки с наноспутника. Зная координаты и расстояние между ними, вычисляется ориентация наноспутника в пространстве. В качестве реперных точек на наноспутнике могут выступать концы антенн бортовых систем связи, выделяющиеся по своим особым свойствам на его поверхности. Другие элементы, аналогичные кончикам антенных устройств, также могут использоваться при вычислениях в качестве реперных точек.

Несмотря на признанные достоинства, методика установления взаимного расположения объектов под воздействием определенных факторов имеет также и определенные ограничения:

– отсутствие прямого солнечного света на обоих устройствах исключает использование метода из-за невозможности оценки необходимых параметров;

– учитывая, что заданная ориентация тела требует данных о координатах в пространстве и углах поворота, большая угловая разница является критической;

– чтобы однозначно установить ориентацию объекта в трёхмерном пространстве, необходимо выделить минимум четыре точки, которые не находятся в одной геометрической плоскости.

Определение относительной ориентации и взаимного положения происходит в несколько этапов. Вначале происходит стандартизация численных показателей сигналов, получаемых от каждого пикселя матрицы бортовой камеры, с целью обнаружения максимальных и минимальных границ яркости объектов. Это преобразование необходимо для выделения контуров интересующих объектов в рамках проведения анализа фотоснимков [4, 5].

Вторым этапом производится поиск центра \tilde{x}_c , \tilde{y}_c всех объектов на снимке:

$$\tilde{x}_c = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad \tilde{y}_c = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}, \quad (1)$$

где N – количество пикселей в рассматриваемой зоне интереса; x_i – x -координата i -го пикселя границы; y_i – y -координата i -го пикселя границы.

Важно отметить, что в алгоритме отсутствует необходимость в обмене информацией между соседними наноспутниками. Это позволяет использовать в качестве второго объекта фрагмент космического мусора, находящегося в поле зрения бортовой камеры, что дает возможность осуществлять наблюдение за ним.

Таким образом, способ с использованием особых точек помогает повысить точность определения взаимного положения соседних наноспутников, так как использует стандартные геометрические характеристики имеющихся блоков и служебных элементов при выстраивании своей работы [6]. При этом перенос алгоритма на формат наноспутника позволяет снизить стоимость как самой задачи по детектированию, так и используемого космического аппарата.

Список литературы

1. State-of-the-Art Small Spacecraft Technology. Ames Research Center, Moffett Field, California, 2023. P. 1–5.
2. Kara O., Birkeland R., Zhang L., Kaytaz U. Future cubesat swarms pose significant communications challenges // *Aerospace Sphere Journal*. 2018. № 2 (95). P. 58–65.
3. Небылов А. В., Перлюк В. В., Леонтьева Т. С. Исследование технологии взаимной навигации и ориентации малых космических аппаратов в группе // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2019. Т. 18, № 1. С. 88–93.
4. Иванов Д. С. [и др.]. Испытания алгоритмов управления ориентацией микроспутника «Чибис-М» на лабораторном стенде // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2012. № 1. С. 118–137.
5. Степанов Д. Н., Бахшиев А. В., Смирнова Е. Ю., Половко С. А. Определение положения космических аппаратов путем обнаружения и сопровождения естественных конструктивных особенностей с использованием телевизионных камер. 2016. 21 с.
6. Коротков Е. Б., Слободзян Н. С., Киселев А. А. Вопросы повышения точности устройств наведения и ориентации бортовой аппаратуры космических аппаратов // *Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, ИКИ РАН, Сборник тезисов докладов*. М., 2020. С. 23–24.

УДК 004.9

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРОМ БПЛА В ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЕ РОБОТОВ

**Иван Сергеевич Киселев¹, Алексей Вадимович Идиатуллин²,
Андрей Леонидович Приоров³**

*^{1,2,3}Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹ivan.kiselev.01@mail.ru

²dozor9898@yandex.ru

³andcat@yandex.ru

Аннотация. Построена компьютерная модель системы управления, исследован алгоритм, согласно которому группа, состоящая из лидера, двух

ведомых и квадрокоптера-ретранслятора, осуществляет взлет, достигает квадрата поиска в заданной формации по принципу «лидер-ведомый», осуществляет поиск в области и возвращается к точке взлета.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, группа роботов, поисковые операции, квадрокоптеры

RESEARCH OF ALGORITHMS FOR CONTROL OF A UAV CLUSTER IN A HETEROGENEOUS GROUP OF ROBOTS

Ivan S. Kiselev¹, Alexey V. Idiatullin², Andrey L. Priorov³

^{1,2,3}*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

¹ivan.kiselev.01@mail.ru

²dozor9898@yandex.ru

³andcat@yandex.ru

Abstract. A computer model of the control system was built, an algorithm was studied, according to which a group consisting of a leader, two followers and a quadcopter-repeater takes off, reaches the search square in a given formation according to the "leader-follower" principle, searches in the area and returns to the take-off point.

Keywords: unmanned aerial vehicles, group of robots, search operations, quadcopters

Компьютерное моделирование кластера беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является важным шагом в исследовании систем управления [1-2]. Применение физических моделей и программного обеспечения позволяет протестировать рассматриваемые подходы, не подвергая риску целостность оборудования и здоровье людей. Целью работы является исследование алгоритмов управления, позволяющих БПЛА, образующим гетерогенную группу, координированно выполнять задачу поиска людей в условиях лесной местности.

Создана компьютерная модель гетерогенного кластера, симулирующая группу БПЛА с гибридной системой управления, способная формировать строй по принципу «лидер-ведомый» и реализующая алгоритм облета препятствий методом потенциальных полей. Для реализации узлов управления и работы датчиков в данной работе использовалась Robotic Operation System (ROS) [3].

Для обмена информацией о текущих положениях и состояниях агентов кластера использовался протокол MAVLink (Micro Air Vehicle Communication Protocol) [4]. Для трехмерного моделирования группы БПЛА и окружающей среды использовался 3D симулятор Gazebo.

Группа состоит из лидера, 2-х ведомых и БПЛА-ретранслятора. На каждом БПЛА установлен автопилот с Ardupilot, стабилизирующий БПЛА во время полета по всем каналам управления. Навигация происходит по глобальным координатам WGS-84, которые определяются приемником GPS. Лидер управляется центральным пунктом управления с QGroundControl. В качестве агента в группе выступает модель коммерческого квадрокоптера 3DR Iris+.

Для проверки работоспособности алгоритма в среде Gazebo на пути следования БПЛА располагались модели различных статических препятствий. Работа алгоритма считалась выполненной, если БПЛА успешно облетел препятствие и достигал целевой точки. Типы препятствий комбинировались и располагались случайным образом, но всегда мешали прямолинейному полету от точки старта БПЛА до целевой точки.

На рис. 1 представлен график изменения координат БПЛА при облете модели опоры ЛЭП, смоделированной в среде Gazebo.

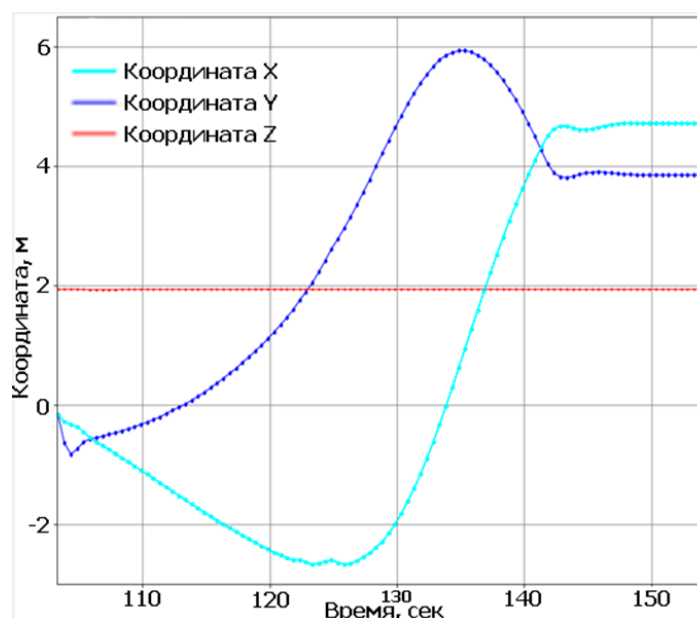


Рис. 1. График изменения координат БПЛА при облете препятствия

В результате серии экспериментов из 13 симуляций с разным набором препятствий, БПЛА всегда успешно преодолевал одиночные препятствия.

Для проверки алгоритма создания формации методом «лидер-ведомые» в программе QGroundControl строился полетный план по карте реальной местности (рис. 2).



Рис. 2. Полетный план для ведомого в программе QGroundControl

Полетный план представляет собой маршрут группы для сплошного поиска на площади в 1 кв. км, состоящий из 23 путевых точек, скорость ведомого устанавливалась в 9 м/с при высоте в 15 м. Использовался строй типа «шеренга», дистанция между ведущим и ведомыми установлена в 30 м. По результатам получены графики траектории ведущего.

Траектория движения ведущего крайне близка к траектории, описываемой полетным планом, отклонение минимально.

При поворотах возникает существенное отклонение, характеризующееся либо изломом траектории, если ведомый оказывался во внутреннем радиусе поворота формации, либо сглаживанием поворота в дугу, если ведомый находился во внешнем радиусе поворота формации.

Оценить величину возникающего отклонения можно по графикам ошибки относительных положений в глобальных координатах на рис. 3, 4.

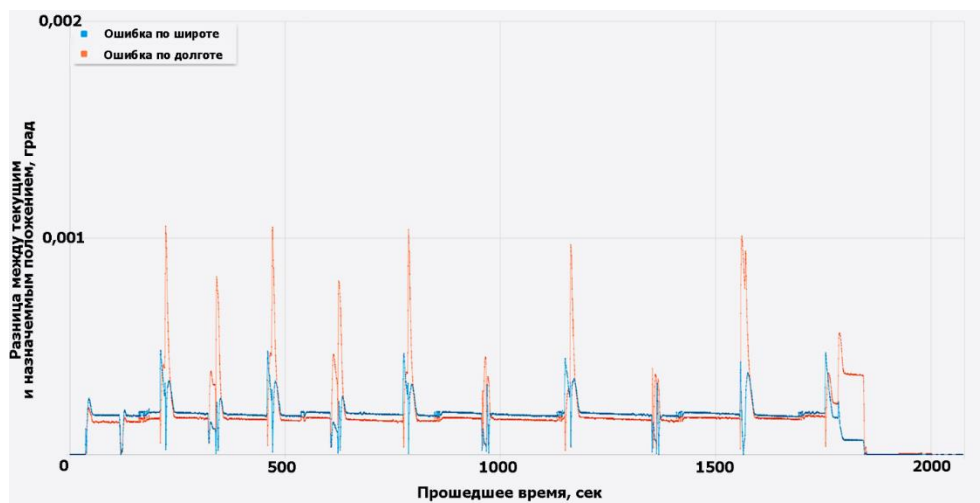


Рис. 3. Ошибка относительных положений первого ведомого

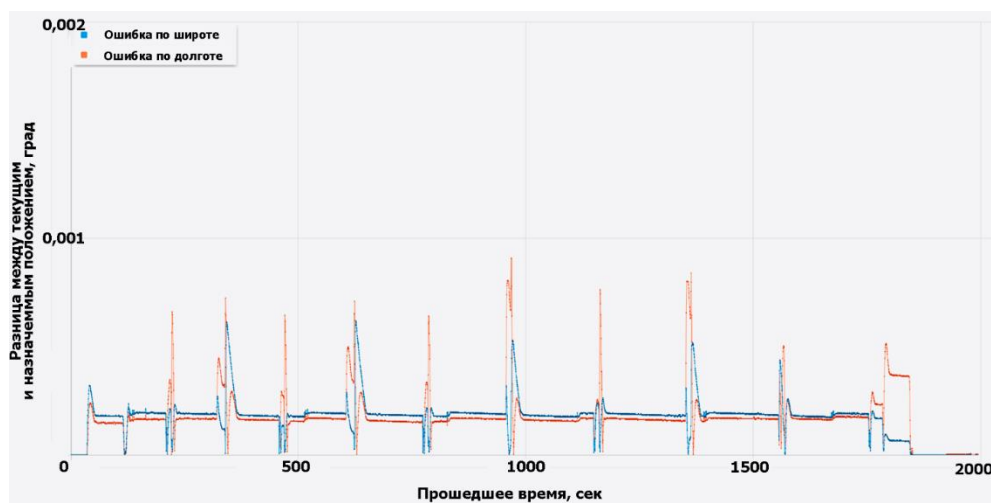


Рис. 4. Ошибка относительных положений второго ведомого

Ошибка возникает вследствие задержки передачи глобальной позиции ведущего ведомым. Контроллер ведомого не успевает отреагировать на резкое изменение курса формации, в результате, вместо плавного прохождения поворота, ведомый производит грубое переключение в пространстве, тем не менее это не приводит к критическому нарушению строя, серьезное отклонение устраняется в среднем в течение 10 секунд.

По полученным оценкам группа, состоящая из трех БПЛА, способна обследовать 1 кв. км леса за 32 минуты при скорости в 9 м/с, пройдя 16 км.

Рассмотренные и реализованные алгоритмы позволяют кластеру избегать взаимных столкновений и столкновений с препят-

ствиями. При этом группа способна выдерживать формацию типа «шеренга». При прямолинейном полете дистанция между ведущим и ведомыми не превышает установленную более чем на 9 м, при поворотах формации дистанция может увеличиться не более чем на 25 м на время не более 10 с.

Список литературы

1. Xiao K., Tan S., Wang G., An X., Wang X. and Wang X. XTDrone: A Customizable Multi-rotor UAVs Simulation Platform // 4th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS). Wuhan, 2020. P. 55–61.
2. Figueiredo H. V., Saotome O. Simulation Platform for Quadricopter: Using Matlab/Simulink and X-Plane, 2012 Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium, Fortaleza. 2012. P. 51–55.
3. ROS Documentation. URL: <https://wiki.ros.org/> (дата обращения: 01.05.2023).
4. MAVLink Overview. URL: <https://mavlink.io/en/about/overview.html> (дата обращения: 06.05.2023).

УДК 623.4.054

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУКСИРУЕМЫХ МИНОМЕТОВ

Михаил Юрьевич Комаров¹, Максим Михайлович Мягков²

^{1,2}Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия

¹komarovdw@yandex.ru

²maximus61182@yandex.ru

Аннотация. На сегодняшний день основной огневой силой является артиллерия сухопутных войск, которая выполняет главную роль по огневому поражению противника. Действия подразделений артиллерии во время специальной военной операции доказали, что минометы – это одно из самых эффективных огневых средств поражения противника, в условиях непрерывного наблюдения они с помощью беспилотных летательных аппаратов способствуют скрытности, маневренности внезапности открытия огня.

Ключевые слова: переносной технический комплект, электронно-цифровой прицел, установки для стрельбы, наведение миномета, автоматизированное рабочее место

ANALYSIS OF THE USE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS AND THE RELEVANCE OF THEIR USE TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TOWED MORTARS

Mikhail Y. Komarov², Maxim M. Myagkov²

*^{1,2}Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

¹komarovdw@yandex.ru

²maximus61182@yandex.ru

Abstract. Nowadays, the main firepower is the artillery of the land forces, which performs the main role in the fire defeat of the enemy. The actions of artillery units during a special military operation proved that mortars are one of the most effective fire weapons against the enemy, in conditions of continuous surveillance, they contribute to stealth, maneuverability and sudden opening of fire with the help of unmanned aerial vehicles.

Keywords: portable technical kit, electronic-digital sight, mortar guidance, firing installations, automated workplace

Для достижения более короткого срока выявления установок для стрельбы мы полагаем существенным проведение отдельных мероприятий, которые будут направлены на изменение уже существующих миномётных систем и их прицелов, а также разработку перспективной системы управления, которая соединит базовые части боевого управления в едином информационном пространстве [1]. В настоящее время укомплектование артиллерийских (минометных) батарей осуществляется портативными вычислительными комплексами, которые позволяют сократить время расчета установок для стрельбы и переключиться в условиях незначительного времени от сокращенной к расширенной подготовке. Наиболее востребованные средства автоматизации могут дать возможность работать с электронной картой, автоматически передавать разведданные, метеоданные, проводить подсчет установки для стрельбы и передавать приказы командирам орудий (минометов) на ведение огня [2].

Осуществляющий работу в целостной системе передачи данных и информации переносной техникой комплект (рис. 1), при осуществлении взаимодействия с различными устройствами (дальномер, метеокомплекс и др.), способствует повышению эффективности применения вооружения.



Рис. 1. Переносной техникой комплект командира батареи

Значимым комплексом мероприятий может служить полноценная подготовка по определению установок для стрельбы. Для повышения точности и быстродействия расчета установок могут использоваться аппаратные средства и программное обеспечение. Показанный на рис. 2 вывод на дисплей определенной и необходимой информации для выполнения поставленной задачи по наведению трубы миномета.



Рис. 2 (начало)



Рис. 2. Программное обеспечение пульта управления командира миномета (окончание)

Переносной комплекс входит в штатный комплект каждого артиллерийского подразделения. Командир батареи выполняет свои функции со своего рабочего места с помощью пульта управления передовым артиллерийским корректировщиком и контроля автоматизированного рабочего места старшего офицера батареи путем передачи необходимой информации и контроля командиров минометов.

К недостаткам используемых автоматизированных систем управления следует отнести жесткую привязку функций в системе к конкретным штатным единицам подразделений, что не позволяет гибко перераспределять функционал системы во время боевых действий. Особенно критично это связано с обязанностями старшего офицера батареи и командира батареи. Кроме этого, имеются сложности одновременного управления несколькими минометами командиром батареи.

С другой стороны, важным направлением развития систем управления может явиться оснащение миномета прицелом, способным автоматически взаимодействовать с системой управления, что существенно повысит эффективность наводки миномета и увеличит эффективность его применения.

В настоящее время в различных странах проводятся испытания и исследования современных минометных систем с целью повышения их эффективности и качества применения [3].

Создаваемый прицел позволит сократить время наведения минометных систем и увеличить их точность. Улучшенная в настоящее время электронная многосоставная база способствует разработке и внедрению электронно-цифрового прицела, позволяющего в режиме реального времени определять положение трубы миномета в пространстве [4]. Следовательно, направление совершенствования минометов путем оснащения их устройствами ориентации и наведения является весьма актуальным.

Разрабатываемый прицел позволит учитывать баллистические и метеоусловия стрельбы, упростит привязку миномета на местности и его ориентирование, уменьшит время подготовки миномета к стрельбе. При этом электронный прицел миномета должен включать подсистемы позиционирования, ориентации, учета поправок метеоданных, определения положения ствола в пространстве и учета баллистических параметров мины, а также подсистемы связи и передачи данных, защиты от двойного заряжания, учета настрела и расчета скорости вылета мины. Также необходимо внести изменения в функционал командира миномета, обеспечив ему самостоятельное управление минометом, но под контролем командира батареи.

Электронно-цифровой прицел можно разработать на основе гироскопа и акселерометра. Гироскоп – это устройство, реагирующее на изменения углов ориентации контролируемого объекта, что позволяет путем расчета отклонений поддерживать объект в требуемой ориентации. При внедрении угла положения интегрируется и погрешность, что при достаточно длительном использовании способствует приведению к абсолютно неправильным значениям. Из-за этого гироскопы часто используют совместно с акселерометром, что позволяет построить комплементарный фильтр.

Основой программы микроконтроллера является обработка данных с гироскопа и акселерометра. Окончательный результат в виде действительных значений положения ствола миномета выводится на дисплей прибора. В это время наводчик в результате наведения видит действительные значения положения трубы миномета и наводит её для требуемых установок стрельбы.

В числе недостатков этого прибора следует отметить наличие элементов питания и наличие электронных компонентов, предъявляющих повышенные требования к надежности эксплуата-

/тации прибора. Из достоинств хотелось бы отметить наличие внутренней подсветки прибора, наведение миномёта может осуществляться в один этап, а не в два как при штатной системе, прибор не привязан к точкам наведения

Предлагаемый к разработке электронно-цифровой прицел способен упростить и сократить время наведения миномета, что в последующем позволит применять более новые способы обстрела цели, которые повысят эффективность стрельбы из минометных систем.

Список литературы

1. Алексеев П. А. Миномет в современном бою. М. : Военное обозрение. Ч. 1. 2016. 280 с.
2. Кулаков В. В., Каширина Е. И., Каширина О. Ю., Литвин Ю. И. Артиллерийское вооружение : учебник : в 3 ч. Ч. 1. Минометы. М. : Прометей, 2019. 255 с.
3. Литвиненко В. И., Герасимов В. П. Организация, вооружение и тактика иностранных армий : учеб. пособие. М. : КноРус, 2020. 242 с.
4. Интернет-издание «N+1»: научные статьи, новости, открытия. URL: <http://nplus1.ru/>

УДК 623.094

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ – СРЕДСТВО КОРРЕКТИРОВКИ ОГНЯ АРТИЛЛЕРИИ

**Михаил Юрьевич Комаров¹, Евгений Романович Тарас²,
Максим Михайлович Мягков³, Данил Алексеевич Федотов⁴**

*^{1,2,3,4}Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия*

¹komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ применения беспилотных летательных аппаратов в условиях боевых действий в качестве средства корректировки огня артиллерии. Рассмотрены применяемые способы измерения отклонения разрывов снарядов от цели, приведены их основные преимущества и недостатки.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, корректировка огня, пристрелка

UNMANNED AERIAL VEHICLES – A MEANS OF ADJUSTING ARTILLERY FIRE

Mikhail Y. Komarov¹, Evgeniy R. Taras², Maxim M. Myagkov³,
Daniil A. Fedotov⁴

^{1,2,3,4}*Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

¹komarovdw@yandex.ru

³maximus61182@yandex.ru

Abstract. An analysis of the use of unmanned aerial vehicles in combat conditions as a means of adjusting artillery fire was carried out. The methods used to measure the deviation of projectile explosions from the target are considered, and their main advantages and disadvantages are given.

Keywords: neural network, video image analysis, unmanned aerial vehicle

Опыт проведения специальной военной операции (СВО) показал, что методы и средства при проведении боевых действий в корне отличаются от ведения сражений в вооруженных конфликтах последних времен. Совместно с этим необходимы новые решения и развитие современной концепции выполнения боевых задач. Одним из таких решений является активное применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). На сегодняшний день существует множество таких систем, которые отличаются по своим размерам, внешнему виду, дальности полета и выполняемым функциям. Классификация БПЛА представлена на схеме (рис. 1).

Кроме того, БПЛА можно разделить по способу управления и степени их автономности. Они бывают: неуправляемые, дистанционно-управляемые и автоматические.

По своему размеру, который обуславливает большинство других характеристик, БПЛА условно делятся на: микро (до 10 кг), мини (до 50 кг), средние (до 1 т) и тяжелые (с весом более тонны) [1].

Аппараты, которые входят в группу микро, способны находиться в воздухе не более одного часа, мини – от трех до пяти часов, а средние – до пятнадцати часов. Если говорить о тяжелых БПЛА, то самые совершенные из них уже могут находиться в небе более суток и совершать межконтинентальные перелеты.

Наиболее обширное применение БПЛА нашли в проведении разведывательных операций и корректировке стрельбы артиллерийских подразделений.

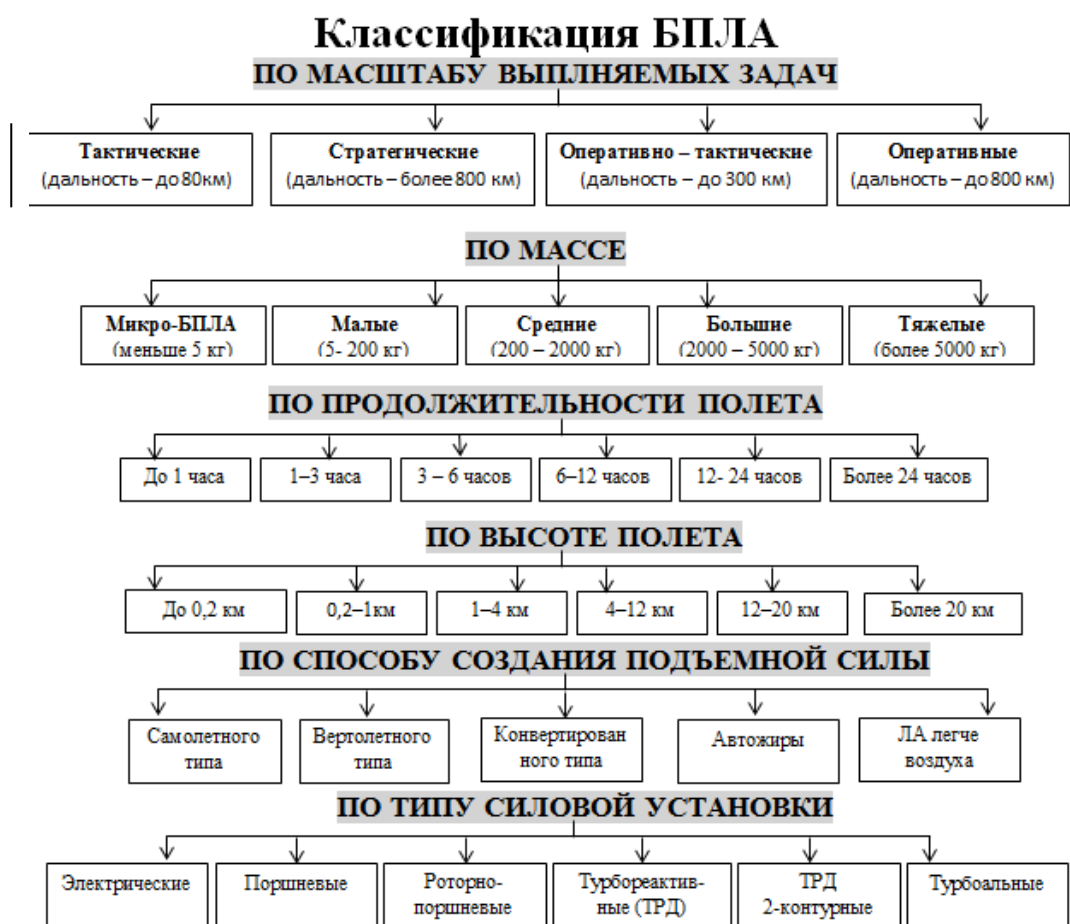


Рис. 1. Классификация БПЛА

При всем этом наиболее широкое применение нашли квадрокоптеры гражданского производства в связи с их компактностью, что означает мобильность, т.е. готовность применения в любой момент времени и доступная цена (табл. 1).

Таблица 1

Цены на распространенные модели квадрокоптеров

Модель квадрокоптера	Цена (руб.)
WLtoys V646 Mini	900
Syma X52C 4CH	1700
MJX — X400A	3700
Syma — X25Pro	5200
Hubsan X4 Star Pro H507A	6000
XK Innovations X300-W RTF	7200
WL Toys Q333A	7700
Hubsan X4 H501S	15000
XPLORER 4K	29000
DJI Mavic Air RTF	63000
DJI Mavic 2 Pro RTF	124000
DJI Mavic 2 Zoom	150000
DJI Inspire 1 4K	215000
DJI Inspire 2	415000

На сегодняшний день все реже применяют такие способы пристрелки как: по наблюдению знаков разрывов, с помощью дальномера, секундомера и звуковой разведки в связи с тем, что каждый из этих способов подразумевает в себе нахождение личного состава в непосредственной близости с целью [2]. Вместе с этим и определение их места положения не составляет трудностей, что в свою очередь угрожает их жизни и здоровью.

В связи с указанными факторами в зоне проведения СВО широко используется пристрелка с помощью комплексов воздушной разведки, которая позволяет выполнять боевые задачи мобильно, а самое главное безопасно.

Во время корректировки огня артиллерии с помощью БПЛА основной задачей операторов является определение отклонений разрывов от цели. Реализация осуществляется несколькими способами.

Наиболее распространенной является работа оператора с приложением AlpineQues, предназначенным для ориентирования на местности и выполнения навигационных и расчетных задач с использованием различных картографических данных.

Суть способа: оператор БПЛА, уяснив цель, определяет для себя ориентиры, которые находятся на определенном участке местности (рис. 3).



Рис. 3. Отметка ориентиров на электронную карту

После чего отмечает их на электронной карте в приложении. По готовности оператора и артиллерийского подразделения выполняется пристрелочный выстрел. Оператор, зная полетное время снаряда, ожидает его прилета. Далее после засечки разрыва по раннее намеченным ориентирам глазомерным способом определяет место его прилета и намечает его на электронной карте, после чего производит измерение по сторонам горизонта (рис. 4). Например: «Наблюдаю разрыв СЕВЕР 9, ВОСТОК 124».



Рис. 4. Определение отклонений разрыва снаряда по сторонам горизонта

Другой способ – это корректировка огня глазомерным способом.

Суть способа: поражение цели ведется по пристрелянной местности или способом переноса огня от репера, когда отклонение разрывов снаряда незначительное так же оператор должен знать $\Delta X_{\text{тыс}}$ (для артиллерийских орудий) и $\Delta П$ (для минометов) на дальность стрельбы (до цели). Особенности: оператор выставляет БПЛА по линии основного направления стрельбы, уяснив цель, ведет за ней наблюдение. По готовности артиллерийского подразделения открыть огонь осуществляется пристрелочный выстрел. Определение корректур осуществляется глазомерно и передается оператором на артиллерийское подразделение после того

как он засек разрыв. Например: «*Наблюдаю разрыв, прицел больше (меньше) 2, правее (левее) 3*».

Оба способа являются актуальными и широко применяются в настоящее время в зоне проведения СВО, и имеют как достоинства, так и недостатки. К достоинствам следует отнести мобильность и скрытность организации вне зависимости от происходящей обстановки на поле боя, а самое главное безопасность корректировщика, который ведет пристрелку цели.

К недостаткам следует отнести следующие факторы:

1. Оператор должен обладать высоким навыком и умением в управлении БПЛА и ориентировании на местности.

2. Сложность засечки разрыва и определение места его прилета, связанных с удалением БПЛА от цели, ограничением времени работы на одном заряде батарей и разнородность местности (поле, лес, город).

3. При пристрелке цели с использованием программного обеспечения AlpineQues операторам необходимо работать в паре с целью сокращения времени и погрешности нанесения разрыва на электронную карту.

Наряду с вышеперечисленными факторами перспектива развития пристрелки цели с помощью комплексов воздушной разведки направлена на автоматизацию определения засечки разрыва и расчета корректур в установки для стрельбы. Данные способы в настоящее время совершенствуются, за счет внедрения следующих особенностей:

1. Использование нейронной сети, способной распознавать образ разрыва.

2. Измерение отклонения разрыва снаряда от цели с применением известных параметров камеры БПЛА.

3. Разработка программного обеспечения, позволяющего в автоматизированном режиме рассчитать корректуры при получении измеренных отклонений.

Таким образом, БПЛА на сегодняшний день активно совершенствуются и все в больших количествах появляются в зоне проведения СВО с целью решения различных задач. Совместно с этим разрабатываются современные методы применения данных систем совместно с использованием нейронных сетей с целью наиболее точного и качественного выполнения поставленных задач.

Список литературы

1. Учебно-методическое пособие по использованию беспилотных летательных аппаратов. Алматы, 2020.
2. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии (ПСиУО-2020). Ч. 1. Дивизион, батарея, взвод, орудие. М. : Военное издательство, 2001.

УДК 004.42

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ОБЪЕКТАМИ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

**Дмитрий Александрович Коростелев¹,
Никита Павлович Галкин²**

*¹Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова
Российской академии наук, г. Москва, Россия*

*^{1,2}Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Россия*

¹nigm85@mail.ru

²nikitos18.08@mail.ru

Аннотация. Обсуждаются основные сложности, возникающие при хранении экспериментальной информации: необходимость структурирования экспериментов и большие объемы экспериментальных данных. Рассматривается архитектура программной системы, позволяющей решать подобные проблемы при хранении экспериментальной информации, получаемой от беспилотной транспортной системы, и описываются таблицы, используемые для хранения сведений об экспериментах. Приводится описание экспериментов, на которых выполнялась апробация программной системы. Делается вывод о возможности использования разработанной системы для анализа данных и построения систем управления беспилотными транспортными системами.

Ключевые слова: программная система, хранение экспериментальных данных, беспилотная транспортная система

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-19-00342, <https://rscf.ru/project/23-19-00342/>

SOFTWARE SYSTEM FOR DATA STORAGE OF EXPERIMENTS WITH OBJECTS OF AN UNMANNED TRANSPORT SYSTEM

Dmitriy A. Korostelyov¹, Nikita P. Galkin²

¹*V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

^{1,2}*Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia*

¹nigm85@mail.ru

²nikitos18.08@mail.ru

Abstract. The paper discusses the main difficulties arising in the storage of experimental information: the need to structure experiments and large volumes of experimental data. The architecture of a software system that allows solving such problems when storing experimental information from an unmanned transport system is considered, and the tables used for storing information about experiments are described. A description of the experiments on which the software system was tested is given. A conclusion is made about the possibility of using the developed system for data analysis and construction of control systems for unmanned transport systems.

Keywords: software system, experimental data storing, unmanned transport system

Financing: the work was supported by the Russian Science Foundation, project № 23-19-00342, <https://rscf.ru/project/23-19-00342/>

При работе с экспериментальной информацией зачастую возникают сложности с ее хранением и дальнейшей обработкой. Количество проводимых экспериментов может исчисляться десятками и сотнями, а иногда и тысячами [1]. Поэтому для эффективной работы с таким количеством экспериментов требуется структурирование экспериментальной информации и автоматизация работы с ней. С другой стороны, объем получаемой в ходе эксперимента информации может быть достаточно существенным и измеряться в сотнях мегабайт или даже гигабайт, что обуславливает проблему организации хранилища данных, способного хранить такие объемы информации [2].

С подобными проблемами исследователи сталкиваются во многих сферах, в том числе и при сборе и анализе информации, поступающей от беспилотных транспортных систем (БТС) [3, 4]. Для решения указанной проблемы в сфере БТС была спроектирована и разработана программная система хранения данных экспериментов.

В разработанной программной системе (рис. 1) для структурированного хранения информации о проведенных экспериментах используется СУБД PostgreSQL [5]. В качестве хранилища больших объемов экспериментальной информации было использовано S3 хранилище на базе облачных технологий Яндекс (Yandex. Cloud) [6].

Программная системы построена в рамках двухслойной архитектуры клиент-сервер (рис. 1). В качестве серверной компоненты выступает подсистема управления хранилищем и базой данных экспериментов, взаимодействующая с СУБД PostgreSQL и Яндекс.Облаком. Серверная компонента реализована в виде веб-приложения ASP.NET на языке программирования C#. Клиентская компонента реализована в виде одностраничного приложения (Single Page Application) с использованием фреймворка Angular. Взаимодействие серверной и клиентской компонент осуществляется посредством REST API [7].

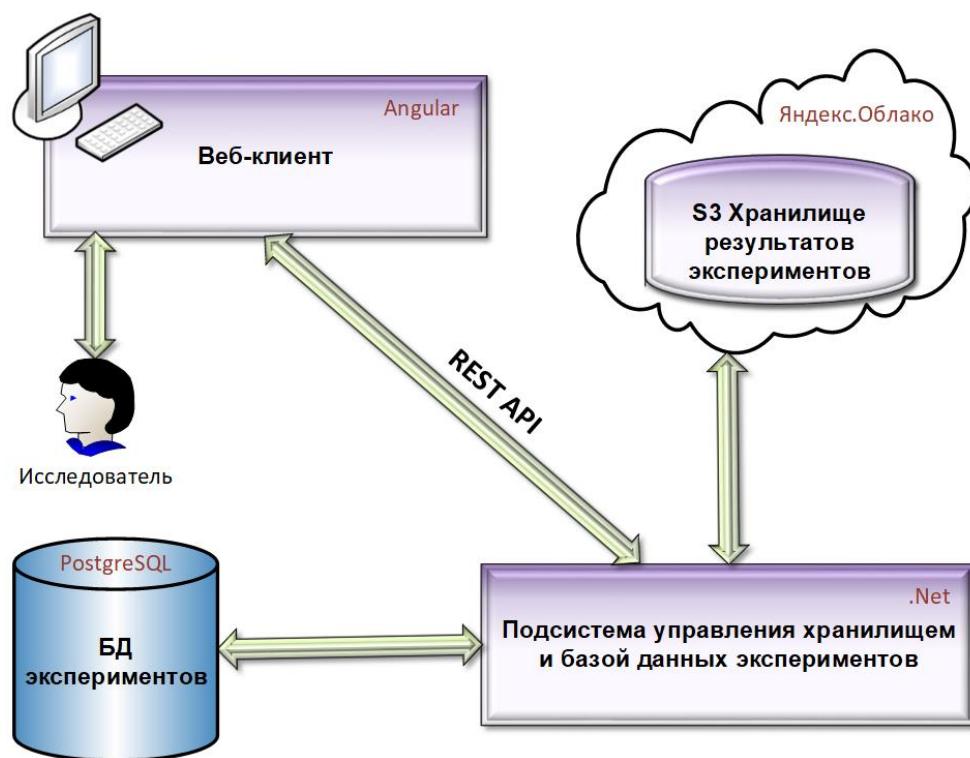


Рис. 1. Архитектура программной системы

В структуре базы данных экспериментов выделены следующие таблицы-справочники:

– «Cargoes» – содержит информацию о транспортируемых грузах (габариты, тип крепления, масса и т.п.).

– «CPSObjects» – содержит информацию о беспилотных транспортных аппаратах.

– «CPSObjectTypes» – содержит информацию о типах беспилотных транспортных аппаратов.

– «DataSourceFormats» – содержит информацию о форматах, используемых в источниках данных.

Также в структуре базы данных предусмотрены таблицы для хранения сведений об экспериментах:

– «Experiments» – хранит общую информацию об экспериментах.

– «DataSources» – содержит информацию об источниках экспериментальной информации (может быть как внешним, так и встроенным в один из беспилотных транспортных аппаратов).

– «DataSourceItem» – хранит информацию о результатах эксперимента с конкретного источника данных в заданном формате. Также в этой таблице содержится информация, необходимая для хранения результатов экспериментов в S3 хранилище.

– «ExperimentCargos» – содержит информацию о грузах, используемых в эксперименте.

– «ExperimentCPSObjects» – содержит информацию о задействованных в экспериментах беспилотных транспортных аппаратах.

– «Stages» – содержит сведения об этапах эксперимента.

Апробация программной системы проводилась на примере загрузки данных о нескольких экспериментах.

1. Транспортировка беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) груза из точки А в точку В по прямой. Эксперименты проводились с двумя типами БПЛА. В качестве груза использовались коробки разной массы: 1, 3 и 10 кг. Также в ходе экспериментов варьировалось расстояние между точками А и В: 100, 300 и 1000 м. Каждый эксперимент включал 3 этапа: взлет, транспортировка, посадка. Всего было проведено 18 экспериментов.

2. Транспортировка составного груза двумя БПЛА из точки А в точку В по прямой (вначале вылетает БПЛА №1, затем, через заданный интервал времени, БПЛА №2). Интервал вылета составлял 15 секунд. Эксперименты проводились с двумя БПЛА разных типов в следующих комбинациях:

– в качестве БПЛА №1 выступал БПЛА 1-го типа, а в качестве БПЛА №2 – 2-го типа;

– в качестве БПЛА №1 выступал БПЛА 2-го типа, а в качестве БПЛА №2 – 1-го типа.

Груз представлял собой коробки разной массы: 1, 3 и 10 кг. Эксперименты были проведены со следующими вариантами расстояния между точками А и В: 100, 300 и 1000 метров. Каждый эксперимент включал 6 этапов: взлет БПЛА №1, взлет БПЛА № 2, транспортировка груза БПЛА № 1, транспортировка груза БПЛА № 2, посадка БПЛА № 1, посадка БПЛА № 2. При этом стоит отметить, что этапы посадки в ряде экспериментов выполнялись в другой последовательности: сначала садился БПЛА № 2, а потом БПЛА № 1, т.к. БПЛА № 2 прибывал раньше. Всего было проведено 18 экспериментов.

В качестве источников данных использовались: видеокамеры, установленные на БПЛА; автоматически собираемые БПЛА аппаратные метрики (скорость, заряд аккумулятора, направление движения, геолокация и т.п.); внешние видеокамеры; метеорологические сведения.

Созданная программная система позволяет накапливать в структурированном виде информацию о проведенных экспериментах с БТС, включая получаемые от разных источников данные, в соответствующих форматах. На основе описанной программной разработки возможна реализация систем аналитической обработки экспериментальной информации для повышения эффективности управления БТС.

Список литературы

1. Bondarev A. E., Galaktionov V. A. Generalized Computational Experiment and Visual Analysis of Multidimensional Data // Scientific Visualization. 2019. Vol. 11 (4). P. 102–114. doi: 10.26583/sv.11.4.09
2. Подвесовский А. Г., Коростелев Д. А., Лупачев Е. А., Беляков Н. В. Построение хранилища обобщенных вычислительных экспериментов на основе онтологического подхода // Онтология проектирования. 2022. Т. 12, № 1 (43). С. 41–56. doi: 10.18287/2223-9537-2022-12-1-41-56
3. Lacroix S., Alami R., Lemaire T. [et al.]. Decision Making in Multi-UAVs Systems: Architecture and Algorithms // Multiple Heterogeneous Unmanned Aerial Vehicles. Heidelberg : Springer, 2007. Vol 37. doi: 10.1007/978-3-540-73958-6_2
4. Luo S., Liu H., Qi E. Big data analytics enabled cyber-physical system: model and applications // Industrial Management & Data Systems. 2019. Vol. 119, № 5. P. 1072–1088. doi: 10.1108/IMDS-10-2018-0445

5. Документация PostgreSQL и Postgres Pro. URL: <https://postgrespro.ru/docs> (дата обращения: 08.10.2023).

6. Yandex Object Storage | Yandex Cloud Документация. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/storage/> (дата обращения: 08.10.2023).

7. REST API: для чего нужен и как работает. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/glossary/rest-api> (дата обращения: 08.10.2023).

УДК 004.056

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ВРЕДА И ПОЛЬЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА

Арина Николаевна Леутина

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, г. Самара, Россия*

leutina.arisha86@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны влияния искусственного интеллекта на искусство. Проведен анализ изменений, которые происходят в связи с внедрением нейросетей в жизнь общества. Рассмотрены ущерб и польза от данной технологии.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генерация изображений, нейросеть, инновации, прогресс, эффективность

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF HARM AND BENEFITS WHEN USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FIELD OF FINE ARTS

Arina N. Leutina

*Volga State University of Telecommunications and Informatics,
Samara, Russia*

leutina.arisha86@gmail.com

Abstract. The article discusses the positive and negative aspects of the influence of artificial intelligence on art. An analysis of the changes that occur in

connection with the introduction of neural networks into the life of society has been carried out. The damage and benefits of this technology are considered.

Keywords: Artificial intelligence, image generation, neural network, innovation, progress, efficiency

В последние десятилетия искусственный интеллект (ИИ) стал важным компонентом технологического прогресса. Он оказывает влияние на разнообразные сферы человеческой деятельности. Среди них выделяется искусство, где ИИ способен переопределить традиционные методы творческого процесса, воздействовать на художественное выражение и даже изменить восприятие произведений искусства. Путем критической оценки плюсов и минусов использования ИИ в художественных контекстах мы стремимся более глубоко понять, как эта новая волна технологической эволюции воздействует на мир искусства.

Нейронные сети, или нейросети представляют собой класс алгоритмов машинного обучения, вдохновленных биологическими нейронными системами, которые способны моделировать сложные взаимосвязи и обработку информации подобно тому, как это делается в человеческом мозге. Нейросети стали ключевым фактором в достижениях ИИ в последние десятилетия, обеспечивая значительные прорывы в областях распознавания образов, обработки естественного языка, компьютерного зрения и других приложениях.

Ключевой концепцией нейросетей является обучение на основе данных. Процесс обучения включает в себя подстройку весовых коэффициентов между нейронами с целью минимизации ошибки между прогнозами модели и фактическими значениями. Этот процесс обычно осуществляется путем передачи обратной связи через нейросеть и использования оптимизационных методов, таких как стохастический градиентный спуск.

Существует несколько типов нейросетей, каждый из которых имеет свои особенности и применение. Простейшим типом является перцептрон, представляющий собой однослойную нейронную сеть, используемую для бинарной классификации. Более сложные архитектуры включают сверточные нейронные сети, эффективно работающие с изображениями, и рекуррентные нейронные сети, способные обрабатывать последовательные данные, такие как текст.

В искусстве применяются более сложные алгоритмы, которые позволяют генерировать, обрабатывать, объединять и модифицировать любые форматы графических изображений. Neural style transfer – это самая простая и популярная форма использования ИИ в творчестве. Является моделью, построенной на (CNN), то есть сверточном типе. Так же можно выделить GAN (Generative Adversarial Network) и CAN (creative adversarial networks), отличающиеся детальностью отображаемых генераций. С помощью данных технологий изображения проходят два этапа (генерация и соотношение по совпадениям), благодаря которым получается качественное изображение, созданное по образцу запроса.

Одним из ключевых аспектов, вносимых ИИ в искусство, является его способность дополнять и расширять творческие возможности художников. Генерация контента с использованием нейросетей может привести к созданию новых и уникальных произведений искусства, которые могли бы служить источником вдохновения или стимулировать художников в их творческом процессе.

ИИ обладает способностью анализировать и интерпретировать искусство на более глубоком уровне. Алгоритмы машинного обучения могут распознавать образы, стили и характеристики произведений искусства, что помогает исследователям, историкам и критикам лучше понимать тенденции и эволюцию художественных направлений.

Одним из основных опасений, связанных с внедрением ИИ в искусство, является возможная утрата оригинальности и аутентичности произведений. Генерация произведений с использованием алгоритмов может привести к появлению обезличенных и стерильных творений, лишенных эмоциональной глубины и индивидуальности художника.

Использование ИИ в произведениях искусства поднимает сложные этические вопросы. Кто является автором произведения, созданного при участии ИИ? Как разделять права и признание между алгоритмом и человеком? Эти вопросы становятся особенно актуальными в условиях, когда авторство и творческий вклад затруднительно атрибутировать.

Мнения художников относительно использования ИИ в сфере искусства разнообразны и отражают широкий спектр взглядов на эту тему. Некоторые художники видят в ИИ потенциал для инноваций

и расширения своего творческого поля, а другие выражают беспокойство по поводу утраты оригинальности и аутентичности в их работах. Взгляды художников на ИИ можно сгруппировать в следующие категории:

Позитивное отношение к ИИ: художники видят инструмент для создания нового, уникального, тем самым приветствуют возможность сотрудничества с технологией, чтобы получить новые идеи и перспективы. Такие художники считают, что ИИ может быть дополнением к традиционному творческому процессу. Они экспериментируют с алгоритмами и генеративными моделями, чтобы создавать произведения, которые были бы невозможны без участия ИИ. Такое использование технологии позволяет художникам расширить свой художественный язык и вносить инновации в свои работы.

Отрицательно настроенная: группа художников опасается, что использование ИИ может привести к утрате оригинальности и индивидуальности в их работах. Они высказывают опасения, что создание произведений искусства с помощью алгоритмов может лишить работы глубины, которую приносит человеческая эмоциональность и опыт. Беспокойство об утрате личного выражения и художественной интуиции остается значимой темой для данной группы.

Вопросы этики и влияния ИИ на общество и искусство, которые поднимаются художниками, обсуждаются по вопросам оригинальности и авторских прав при использовании ИИ. Существует интерес к анализу того, как ИИ может повлиять на общественное восприятие и ценности искусства.

Общая тенденция показывает, что мнения художников относительно ИИ в искусстве динамичны и зависят от индивидуальных взглядов, опыта и ценностей каждого творца. В итоге, ИИ становится дополнительным фактором, вносящим как позитивные, так и вызывающие вопросы изменения в мире искусства.

На рис. 1 представлена оригинальная работа автора и сгенерированная ИИ на основе текстового запроса.

Обратите внимание насколько различаются оригинал и сгенерированная работа, что свидетельствует о разнице представлений автора и ИИ. Исходя из сказанного можно интерпретировать произведение искусства ИИ как новое и, соответственно, автор другой, а также можно говорить о плагиате (авторы разные) или о том, что автор прежний и насколько новая картина является оригинальной или копией.



Рис. 1. Сравнение картин

В заключение отметим, что соотношение между вредом и пользой, принесенное интеграцией ИИ в сферу искусств, является сложным и многогранным. Несомненно, использование ИИ может стимулировать инновации, обогатить художественное поле и дать новые инструменты для творчества и анализа. Однако необходимо тщательно рассмотреть возможные негативные аспекты, такие как утрата аутентичности и этические дилеммы. Для достижения наилучших результатов в симбиозе ИИ и художественного искусства важно найти баланс между инновацией и сохранением ценностей искусства, которые делают его человеческим и уникальным.

Список литературы

1. Искусственный интеллект в современном искусстве. URL: <https://sk.ru/news/iskusstvennyy-intellekt-v-sovremennom-iskusstve/>
2. Маркофф Д. Homo Roboticus? Люди и машины в поисках взаимопонимания. М. : Альпина нон-фикшн, 2017. 406 с.
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. М. ; СПб., 2016.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДАННЫХ ПРИ КАТАЛОГИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ

Александр Викторович Лисенков¹, Елена Алексеевна Шадрина²,
Елена Сергеевна Рожкова³

^{1,2,3}Научно-производственное предприятие «Рубин», г. Пенза, Россия

ntc1@npp-rubin.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения качества данных каталогизации, определены актуальные проблемы каталогизации и показатели качества данных с фокусом на метрике F1-меры как инструменте оценки и улучшения процесса каталогизации продукции.

Ключевые слова: качество данных, показатели качества, каталогизация продукции

PROBLEMS OF ENSURING QUALITY OF DATA WHEN CATALOGUING PRODUCTS

Alexander V. Lisenkov¹, Elena A. Shadrina², Elena S. Rozhkova³

^{1,2,3}Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia

ntc1@npp-rubin.ru

Abstract. The problem of ensuring the quality of cataloging data is considered, current cataloging problems and data quality indicators are identified with a focus on the F1-measure metric as a tool for assessing and improving the product cataloging process.

Keywords: quality of data, quality characteristics, cataloguing of products

Каталогизация продукции (предметов снабжения) для федеральных государственных нужд рассматривается как многофункциональная деятельность, направленная на повышение эффективности органов государственного управления и служб, за счет проведения единой политики в области заказа, закупки и унификации изделий.

Каталогизация направлена на улучшение структурирования сведений о продукции, обеспечения их целостности, актуальности, полноты и точности. Однако, как и любой процесс, каталогизация

может иметь проблемы, и сама по себе каталогизация не является достаточным условием для обеспечения качества данных.

В настоящее время одним из основных направлений развития системы каталогизации предметов снабжения является повышение качества циркулирующей в ней информации (данных), что в свою очередь, существенно влияет на принятие решений.

Данные – это отдельные факты, характеризующие объекты, процессы и явления предметной области, а также их свойства [1].

Недостаточное качество данных о продукции (изделиях) приводит к значительным финансовым и временным потерям, что обусловлено:

- возвратом неправильно заказанных изделий;
- корректировками цепи поставок, вследствие содержания ошибочных данных в описании изделий;
- задержками технологических процессов из-за неточностей, неполноты или некорректности данных, а также недостаточного внимания к исходной информации об изделиях;
- недостаточной прозрачности наличия запасов на складах [2, 3].

Помимо технологических аспектов и безопасности данных, существует ряд других проблем, которые могут повлиять на качество данных в процессах каталогизации. Основные проблемы качества данных в контексте автоматизации процессов каталогизации, а также существующие способы их решения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Проблема	Описание	Способы решения
1	2	3
Неоднородность (несовместимость) данных	Различные источники информации предоставляют данные в разных форматах, что усложняет их интеграцию и сопоставление	Установление общих стандартов для атрибутов и форматов данных. Автоматизация процессов для преобразования и согласования данных
Недостоверность источников	Информация о продукции, полученная из ненадежных источников, может содержать ошибки или неточности	Периодическая проверка источников данных на достоверность и автоматическая фильтрация ненадежных источников

1	2	3
Старение данных	Информация в каталогах может быть неполной или устаревшей (не регулярно обновляется), что затрудняет ее использование. Это особенно важно для продукции с быстро меняющимися характеристиками	Установление четкого графика обновления данных и механизмов для автоматического обновления при необходимости
Дублирование данных	Наличие дубликатов в каталоге может привести к недостоверности информации и затруднить поиск и выбор продукции	Использование алгоритмов поиска дубликатов, использование уникальных идентификаторов для предотвращения дублирования
Низкая степень структурированности данных	Данные о продукции плохо структурированы, содержат лишние или некорректные атрибуты, что может затруднить их использование и анализ	Применение методов машинного обучения для анализа текста и извлечения структурированных атрибутов
Отсутствие метаданных	Недостаточное количество метаданных о продукции может затруднить понимание и использование данных. Метаданные, такие как описания, ключевые слова и теги, могут значительно улучшить доступность и поиск информации.	Разработка набора метаданных и схем данных для описания структуры и формата данных
Обработка больших объемов данных	С ростом объемов данных может возникнуть необходимость в масштабируемых решениях и инфраструктуре для их хранения и обработки	Использование распределенных баз данных и облачных ресурсов для обработки и хранения больших объемов данных
Информационная изоляция	Отделы или системы в организации могут оперировать информацией о продукции в изоляции друг от друга, что может привести к дублированию и расхождению данных	Создание механизмов для обмена данными между системами и централизованное хранение данных для обеспечения их согласованности
Недостаточная автоматизация	Многие процессы каталогизации выполняются вручную, что может быть медленным и подверженным ошибкам (в т.ч. человеческий фактор)	Использование современных технологий при проектировании и развитии программно-технических решений

Измерение качества данных на примере каталогизации – это процесс определения степени соответствия сведений каталога определенным стандартам (критериям) [4]. Для обеспечения качества данных в автоматизированных системах и для того, чтобы они служили надежным основанием для принятия решений определим следующие критерии:

- точность – данные должны быть верными и точными, без ошибок;

- полнота – все необходимые сведения должны быть представлены, и не должно быть пропущенных значений;

- согласованность – данные должны быть согласованными со всеми частями системы и источниками;

- достоверность – данные должны быть надежными и достоверными, а их источники должны быть проверены;

- актуальность – данные должны быть свежими и актуальными для задачи или процесса, в которых они используются;

- уникальность – дублирование информации может негативно сказываться на достоверности данных;

- целостность – данные должны сохранять свою согласованность (целостность), и не должны быть повреждены или изменены без авторизации;

- удобство использования – данные должны быть представлены таким образом, чтобы пользователи могли легко их использовать;

- доступность – данные должны быть доступными для тех, кто имеет к ним право доступа;

- конфиденциальность – применение специальных мер безопасности для сохранности данных.

Технологически сложная продукция может иметь множество характеристик и свойств, которые необходимо учитывать при ее каталогизации. Кроме того, эти характеристики могут быть неоднозначными и подвержены изменениям со временем [5].

Дополнительно, в рамках автоматизации процессов каталогизации можно выделить следующие критерии, влияющие на качество данных:

- производительность – данные должны быть доступны и обрабатываться с достаточной скоростью для обеспечения эффективной работы системы (в т.ч. в режиме реального времени);

– масштабируемость – возможности системы должны учитывать вероятное увеличение объема обрабатываемых данных без значительной потери производительности;

– устойчивость – данные должны быть защищены от потери в случае сбоев или аварий и иметь возможность для восстановления;

– гибкость – система должна быть гибкой в отношении изменения структуры данных или добавления новых полей (атрибутов);

– историчность – некоторые процессы требуют хранения исторических данных для анализа и аудита;

– совместимость (интеграция) – для обеспечения взаимодействия автоматизированных систем формат и структура данных должны быть совместимы (идентичны) между собой.

Выбор конкретного критерия зависит от целей измерения и контекста, в котором используются данные. Критерии могут различаться в зависимости от типа автоматизированной системы, ее конкретных потребностей и функционала в области каталогизации.

Процесс оценки начинается со сбора данных, которые характеризуют каждый из критериев качества данных. Важно определить, какие метрики или показатели наилучшим образом отражают эти характеристики.

Для оценки качества данных в контексте каталогизации, хорошим выбором может быть использование метрик, связанных с точностью и полнотой. Каталогизация обычно связана с правильной классификацией и описанием продукции, поэтому оценка точности и полноты может быть критически важной. Например, для измерения точности можно использовать процент ошибок, для полноты – процент непропущенных значений. Для каждой метрики можно установить пороговые значения, которые определяют, когда данные удовлетворяют требованиям качества. Если метрика выходит за пределы установленных порогов, это может указывать на проблемы в данных.

Использование F1-меры для оценки качества данных в контексте каталогизации зависит от конкретных целей и характеристик задачи. F1-мера является полезной метрикой в задачах классификации, особенно в случаях, когда важны как точность, так и полнота, и необходимо найти оптимальный баланс между ними [6, 7].

F1-мера учитывает, как точность (то, сколько продукции было правильно классифицировано и каталогизировано), так и полноту (то, сколько всего продукции было охвачено), что делает ее подходящей для ситуаций, где важны как ложноположительные, так и ложноотрицательные результаты.

Для расчета точности и полноты, необходимо установить следующие понятия:

– истинно положительные (True Positives, TP) – количество объектов, которые были правильно классифицированы как положительные, т.е. модель правильно предсказала их наличие;

– ложноположительные (False Positives, FP) – количество объектов, которые были неправильно классифицированы как положительные, т.е. модель ошибочно считает их положительными, хотя они на самом деле принадлежат отрицательному классу;

– истинно отрицательные (True Negatives, TN) – количество объектов, которые были правильно классифицированы как отрицательные, т.е. модель правильно предсказала их отсутствие;

– ложноотрицательные (False Negatives, FN) – количество объектов, которые были неправильно классифицированы как отрицательные.

Понимание ошибок, связанных с метриками, может быть критически важным для улучшения качества данных. Например, понимание того, почему произошли ложноотрицательные результаты (FN), может привести к коррекции и улучшению процесса каталогизации [8].

С точностью (Precision) и полнотой (Recall) можно работать следующим образом.

Точность измеряет, сколько из объектов, которые были классифицированы как положительные, действительно являются положительными и рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Точность (Precision)} &= \\ &= \frac{\text{Истинно положительные (TP)}}{\text{Истинно положительные (TP)} + \text{Ложноположительные (FP)}} \end{aligned}$$

Полнота (Recall) измеряет, сколько из действительно положительных объектов были правильно классифицированы как положительные и рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} & \text{Полнота (Recall)} = \\ & = \frac{\text{Истинно положительные (TP)}}{\text{Истинно положительные (TP)} + \text{Ложноотрицательные (FN)}} \end{aligned}$$

Точность и полнота в контексте классификации или каталогизации помогают понять, насколько правильно модель или система классифицируют объекты и насколько полно они охватывают действительные положительные объекты [9].

Общий метод оценки (процент) точности и полноты данных, который может быть адаптирован для различных сценариев и конкретных требований выглядит следующим образом:

$$\text{Точность (Precision)} = \left(\frac{\text{Количество правильных записей}}{\text{Общее количество записей}} \right) * 100\%$$

$$\text{Полнота (Recall)} = \left(\frac{\text{Количество заполненных записей}}{\text{Общее количество записей}} \right) * 100\%.$$

Для вычисления F1-меры в интересах оценки качества каталогизации рассмотрим точность (Precision) и полноту (Recall) следующим образом:

– точность (Precision) – доля правильно каталогизированных объектов от общего числа каталогизированных объектов;

– полнота (Recall) – доля правильно каталогизированных объектов от общего числа действительных объектов.

F1-мера рассчитывается по формуле:

$$F1 = \frac{2 * \text{Точность (Precision)} * \text{Полнота (Recall)}}{\text{Точность (Precision)} + \text{Полнота (Recall)}}$$

Важно также учитывать, что использование метрик, включая F1-меру, должно сочетаться с анализом и экспертным мнением. Может потребоваться комбинация несколько метрик, чтобы получить более полное представление о качестве данных в процессе каталогизации (особенно при объемном перечне продукции, ее возможностях и параметрах, а также способах поставки).

Сама по себе информация не имеет самостоятельной ценности и определяется тем, насколько данные о продукции пригодны

для заявленной цели каталогизации. Соответственно, качество данных – это степень их соответствия заданным требованиям и ожиданиям пользователей.

Качество данных играет фундаментальную роль в эффективности и надежности процесса каталогизации. Несогласованные, недостоверные или ошибочные данные могут привести к значительным финансовым и временным потерям.

F1-мера, как метрика, демонстрирует свою ценность в контексте классификации и каталогизации. Однако, несмотря на важность F1-меры, оценка качества данных в процессах каталогизации должна быть комплексной и учитывать дополнительные аспекты.

Список литературы

1. Романенко В. Н., Никитина Г. В. Понятие «информация» // Сетевой информационный поиск : практ. пособие / Рос. акад. естественных наук. СПб. : Профессия, 2005. С. 36–40.
2. Gartner. Data Quality Problems: The Root Cause of Data Warehouse Failures. URL: <https://www.gartner.com/doc/324921/data-quality-problems-root-cause> (дата обращения: 08.04.2023).
3. Карташев А. В. Генезис каталогизации наукоемкой продукции. М. : Технополиграфцентр, 2019. 237 с.
4. Шелупанова Г. А., Музычук О. Н., Матвеев В. Ю. [и др.]. Качество информации: определение, оценка и управление // Автоматика и телемеханика. 2018. № 9. С. 19–33.
5. Авсентьев А. О. Определение ценности информации // Доклады ТУСУР. 2016. Т. 19, № 1. С. 21–24.
6. Брюс П., Брюс Э. Практическая статистика для специалистов Data Science. СПб. : БХВ Петербург, 2018. 304 с.
7. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow. Концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. СПб. : Альфа-книги, 2018. 688 с.
8. Müller A. C., Guido S. Introduction to Machine Learning with Python. O'Reilly Media, Inc., 2016. 376 p.
9. Губко П., Горчаков А., Буркина М. Метрики классификации и регрессии. URL: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii> (дата обращения: 12.08.2023).

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ДЛЯ ВЗУ ЭВМ

Евгений Игоревич Локтионов¹,
Сергей Иванович Егоров²

^{1,2}*Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия*

¹zh.loktionov@yandex.ru

²sie58@mail.ru

Аннотация. Предложено для коррекции ошибок в ВЗУ ЭВМ при декодировании кодов Рида – Соломона использовать алгоритм ePIMBA решения ключевого уравнения. Рассмотрена аппаратная реализация декодера кода Рида – Соломона. Даны оценки сложности и разработано устройство управления для блока решения ключевого уравнения.

Ключевые слова: коды Рида – Соломона, декодирование, ключевое уравнение, внешнее запоминающее устройство

FAST ERROR CORRECTION DEVICE FOR EXTERNAL STORAGE DEVICES

Evgeniy I. Loktionov¹, Sergey I. Egorov²

^{1,2}*Southwest State University, Kursk, Russia*

¹zh.loktionov@yandex.ru

²sie58@mail.ru

Abstract. It is proposed to use the ePIMBA algorithm for solving the key equation to correct errors in the computer's external storage devices when decoding Reed-Solomon codes. The hardware implementation of the Reed – Solomon code decoder is considered. Complexity estimates are given and a control device is developed, for the key equation solution unit.

Keywords: Reed – Solomon codes, decoding, key equation, external storage devices

Важным компонентом ЭВМ является внешнее запоминающее устройство (ВЗУ). Примерами ВЗУ с прямым доступом являются накопители на магнитных и оптических дисках, а также энергонезависимая флеш-память.

Хранение информации на современных носителях с высокой плотностью записи требует для обеспечения высокой надежности применения помехоустойчивого кодирования. Основной причиной ошибок чтения секторов ВЗУ являются дефекты носителя, обуславливающие пакетный характер ошибок. Группирующиеся ошибки эффективно исправляются помехоустойчивыми кодами Рида-Соломона и основанными на них кодовыми конструкциями [1–2].

Коды Рида-Соломона (РС-коды) характеризуются параметрами (n, k, d) , где n – длина кодового слова, k – количество информационных символов в кодовом слове и d – минимальное кодовое расстояние. При этом количество проверочных символов в слове $r = (n-k)$, и $d = r+1$. Символы кодового слова представляют собой элементы поля Галуа $GF(q)$.

Для исправления ошибок чтения накопителей ВЗУ с целью уменьшения потребляемой мощности и задержки декодера целесообразно использовать алгоритмы жесткого синдромного декодирования кодов Рида-Соломона, позволяющие исправить до t ошибок с небольшой вычислительной сложностью.

Процедура декодирования кодов Рида-Соломона предполагает выполнение следующих шагов:

1. Вычисляется полином синдрома $S(x)$.
2. Вычисляются полиномы локаторов и значений ошибок $\Lambda(x)$ и $B(x)$ ($\Omega(x)$).
3. Ищутся корни многочлена $\Lambda(x)$. Если число допустимых корней равно степени $\Lambda(x)$, то их обратные значения являются локаторами ошибок. В противном случае кодовое слово является не декодируемым.
4. Вычисляются значения ошибок по методу Форни или Хоригучи-Кеттера.
5. Ошибочные символы исправляются.

Наиболее сложным является шаг 2, предусматривающий решение ключевого полиномиального уравнения

$$S(x) = \Lambda(x)\Omega(x) \bmod x^{d-1}.$$

Предлагается для решения ключевого уравнения использовать алгоритм ePIVMA (Enhanced Parallel Inversionless V-M Algorithm) [3]. Псевдокод алгоритма приведен ниже.

Вход – полином синдрома $S(x)$ степени $2t - 1$.

1. Инициализация: $r = 0$, $\Theta(x) = S_0 + S_1x + \dots + S_{2t-2}x^{2t-2} + x^{2t}$,
 $\Omega(x) = S_0 + S_1x + \dots + S_{2t-2}x^{2t-2} + S_{2t-1}x^{2t-1} + x^{2t}$, $\gamma = 1$, $L_A = L_B = 0$.

2. Вычисляем невязку

$\Omega^{(r+1)}(x) = \gamma * [\zeta_1 \Omega^{(r)}](x) - \Omega^{(r)}(x) * \Theta^{(r)}(x)$ Если $(\Omega^{(r)})_0 \neq 0$ и $L_A \leq L_B$,
 тогда $\Theta^{(r+1)}(x) = [\zeta_1 \Theta^{(r)}](x)$
 $L_A = L_B + 1$, $L_B = L_A$
 $\gamma = \Omega^{(r)}_0$

Иначе

Если $(L_B = t-1)$, тогда $\Theta^{(r+1)}(x) = [\zeta_1 \Theta^{(r)}](x)$
 Иначе $\Theta^{(r+1)}(x) = \Theta^{(r)}(x)$, $L_B = L_B + 1$
 $\Theta^{(r+1)}_{2t-r-2} = 0$

3. Меняем $r \leftarrow r + 1$. Если $r < 2t$, возвращаемся к шагу 2.

В противном случае работа алгоритма закончена.

На выходе алгоритма получаются полином локаторов ошибок $\Lambda = [\Omega^{(2t)}_0, \Omega^{(2t)}_1, \dots, \Omega^{(2t)}_t]$ и вспомогательный полином $V = [\Theta^{(2t)}_0, \Theta^{(2t)}_1, \dots, \Theta^{(2t)}_{t-1}]$.

В данном алгоритме вычисление невязки и полиномиальные обновления выполняются одновременно. Благодаря этому достигается малое значение критического пути при его аппаратной реализации, тем самым обеспечивается высокое быстродействие. По сравнению с другими алгоритмами с таким же быстродействием (RiBM [4]) рассмотренный алгоритм имеет сложность на 30 % меньше.

Структурная схема декодера кода Рида-Соломона приведена на рис. 1.

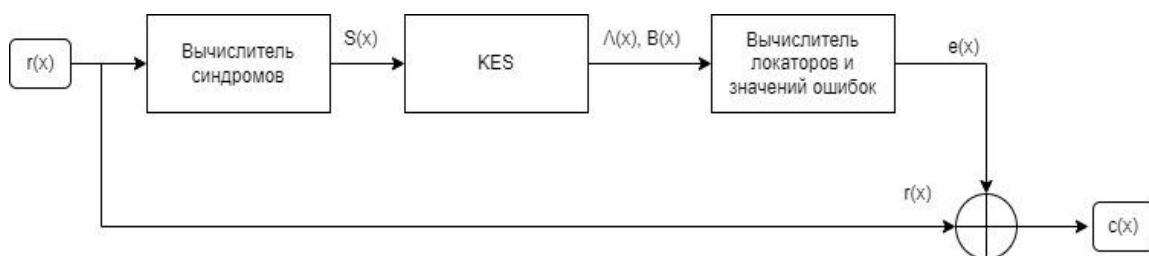


Рис. 1. Структурная схема декодера кода Рида-Соломона

Блок KES (Key Equation Solver) отвечает за решение ключевого уравнения. Структурно-функциональная организация блока KES представлена на рис. 2.

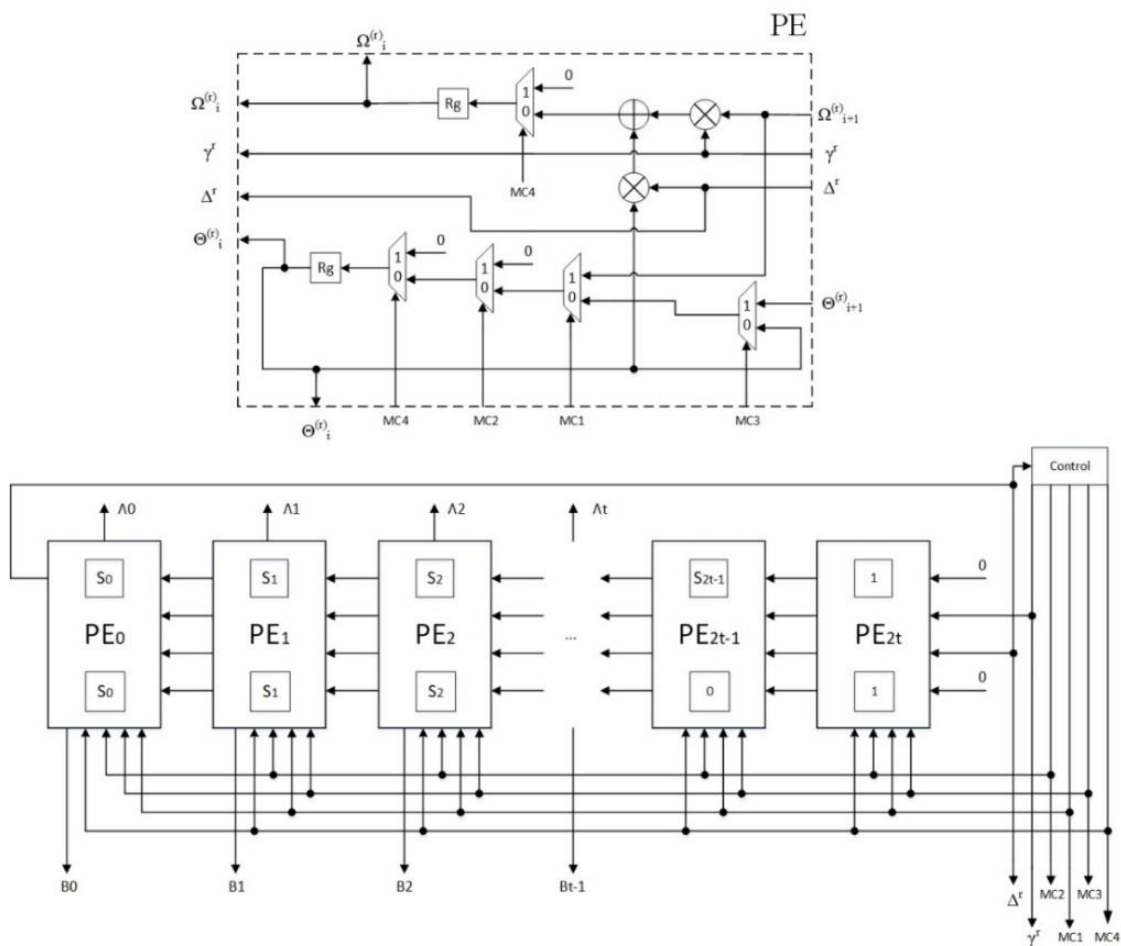


Рис. 2. Структурно-функциональная организация блока KES

KES содержит массив из $2t+1$ однородных процессорных элементов (PE). Каждый процессорный элемент содержит 2 GF-умножителя, 1 GF-сумматор, 3 мультиплексора и 2 регистра. Всего для реализации KES требуется $(4t + 2)$ GF-умножителей, $(2t + 1)$ GF-сумматоров, $(4t + 2)$ регистров и $(6t + 3)$ мультиплексоров.

На рис. 3 приведена схема управления блока KES.

Оценим сложность реализации KES для кодов Рида-Соломона, используемых для коррекции ошибок в накопителях на оптических дисках. В качестве меры сложности используем количество умножителей в конечном поле, поскольку они в основном определяют сложность блока KES.

Для коррекции ошибок в оптических дисках DVD используется код Рида-Соломона $(208,192,17)$ [1], определенный над полем Галуа $GF(2^8)$. Этот код позволяет исправлять до $t = 8$ ошибочных символов в кодовом слове.

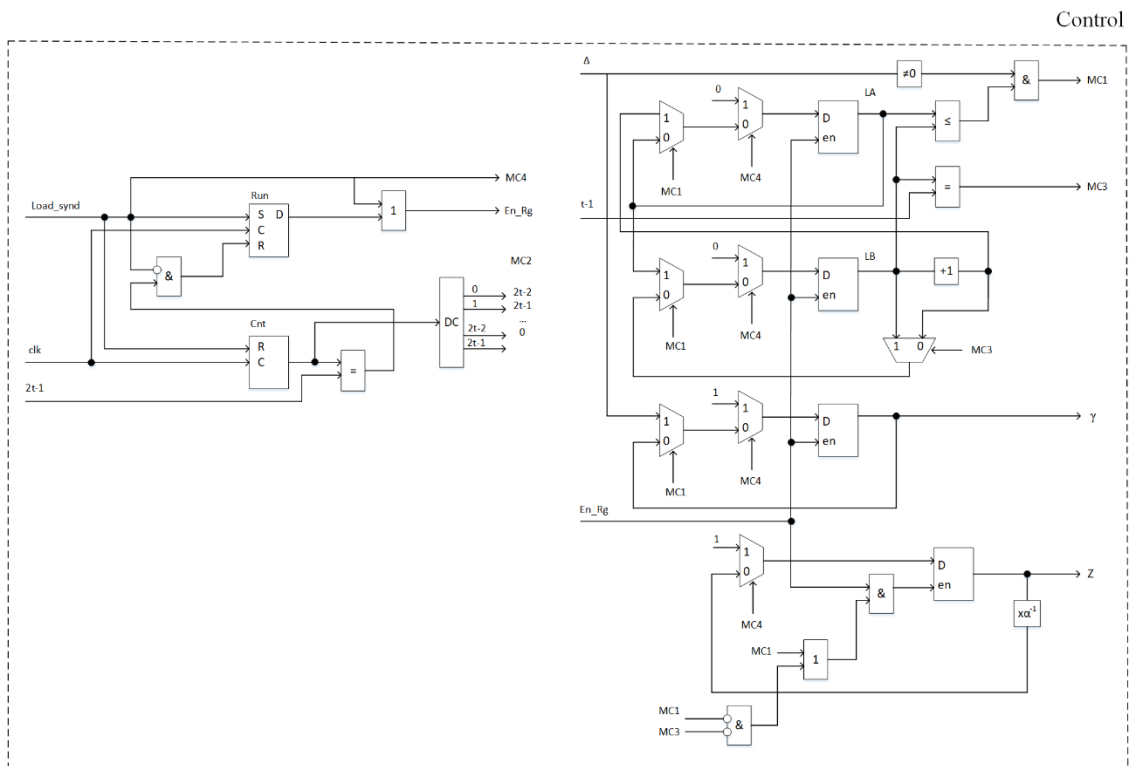


Рис. 3. Схема управления блока KES

Сложность KES для этого кода составит 34 GF-умножителя.

Для коррекции ошибок в оптических дисках BD используется код Рида-Соломона (248,216,33) [2], также определенный над полем Галуа $GF(2^8)$. Этот код позволяет исправлять до $t = 16$ ошибочных символов в кодовом слове.

Сложность KES для этого кода составит 66 GF-умножителей.

По сравнению с другими реализациями KES с таким же быстродействием [4] рассмотренная реализация обладает на 30 % меньшей сложностью.

Список литературы

1. Егоров С. И., Кривонос А. В., Титов В. С. Алгоритмы коррекции ошибок для оптических дисков DVD // Новые информационные технологии и системы: сб. науч. ст. XI Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 25–27 ноября 2014 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2014. С. 128–133.
2. Егоров С. И., Егорова М. С. Применение пикет-кодов в каналах передачи и воспроизведения информации // Телекоммуникации. 2023. № 4. С. 9–15.
3. Wu Y. New Scalable Decoder Architectures for Reed – Solomon Codes // IEEE Trans. on communications. 2015. № 8. P. 2741–2761.
4. Sarwate D., Shanbhag N. High-speed architectures for Reed – Solomon decoders // IEEE Trans. VLSI Syst. 2001. Vol. 9, № 5. P. 641–655.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАСЧЕТА ЧАСТНЫХ СЕТЕЙ LTE

Юрий Викторович Редькин¹,
Анастасия Александровна Тюфанова²

^{1,2}*Государственный морской университет имени адмирала
Ф. Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

¹redkin_yura@mail.ru

²alina.34@mail.ru

Аннотация. Проанализированы особенности применения программ расчета сетей pLTE с точки зрения их возможности учитывать рельеф местности, расположения и вида препятствий и наземного покрова. Представлены результаты моделирования сети НМТП, развертываемой в условиях пересеченной местности с использованием программы RadioPlanner и цифровой модели высот SRTM.

Ключевые слова: частная закрытая сеть, имитационное моделирование, геоинформационная система, зона радиопокрытия

PRACTICE OF APPLYING GEOINFORMATION SYSTEMS FOR CALCULATING PRIVATE LTE NETWORKS

Yuriy V. Redkin¹, Anastasia A. Tyufanova²

^{1,2}*Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia*

¹redkin_yura@mail.ru

²alina.34@mail.ru

Abstract. The features of using programs for calculating pLTE networks are analyzed from the point of view of their ability to take into account the terrain, location and type of obstacles and ground cover. The results of modeling the NCSP network deployed in rough terrain using the RadioPlanner program and the SRTM digital elevation model are presented.

Keywords: private closed network, simulation modeling, geographic information system, radio coverage area

Частные сети предприятий (private LTE – pLTE) применяют вместо общедоступных беспроводных систем передачи, когда требуется ограничить доступ к внутренней сети предприятия и в местностях со сложным (пересеченным) рельефом (карьерах, шахтах и заводах, расположенных в горной местности). Типичное применение сети pLTE – это передача изображений с камер видеонаблюдения охраняемой территории и дистанционное управление высокотехнологичными, роботизированными устройствами. Например, в порту Роттердама сеть pLTE обеспечивает передачу данных для автономного управления погрузчиками. Существенным преимуществом частных сетей LTE является высокая надежность и безопасность передачи данных с высокой скоростью и небольшим временем доставки. Изолированная сеть pLTE работает значительно эффективнее и быстрее, чем общедоступные беспроводные сети, и обособлена от них [1].

Проектирование беспроводной сети pLTE предполагает ее имитационное моделирование с привязкой к конкретной местности и поддержкой средствами геоинформационных систем (ГИС) [2]. Применение технологии ГИС позволяет подобрать оптимальное расположение базовых станций (BS) по критерию покрытия максимальной территории или обеспечения необходимого трафика для заданного числа пользователей. Оценим наиболее востребованные программы, с точки зрения их возможности проводить моделирование сети с учетом координат и высот расположения объектов на местности и доступности сети пользователям в зоне ее развертывания.

RadioMobile – программа моделирования распространения радиоволн на трассе и расчета зон уверенного приема беспроводных сетей. В расчетах программа учитывает данные о высотах окружающей местности, а также некоторые параметры передатчиков, приемников и антенных систем. При этом информация о высотах местности загружается из свободно доступных баз данных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) и Digital Terrain Elevation Data (DTED), размещенных в Интернете. Поддерживаются также и другие форматы представления данных о высотах местности. По результатам расчета строится схема зоны охвата BS с цветовым отображением уровней принимаемых сигналов или критерия выше/ниже заданного уровня сигнала. Полученную схему зоны охвата можно объединить с любой географической картой [3].

Xirio – онлайн сервис с поддержкой различных стандартов связи, в том числе LTE. Для каждого стандарта определены типовые параметры передатчиков и приемников, но имеется возможность их подробной настройки: для передатчиков – мощность, потери в тракте передачи и другие параметры, для антенных систем – поляризация, диаграмма направленности, высоты установки над уровнем моря или крыши, для приемных устройств – чувствительность приемников, шумы в тракте и ряд других параметров. Кроме того, Xirio поддерживает учет влияния строений на результат передачи [4].

AWE ProMap – система, предназначенная для расчета зон радиопокрытия и их визуализации. Поддерживает разнообразные стандарты мобильной связи и обладает широким набором инструментов, востребованных при проектировании сетей сотовой связи, в том числе LTE. При моделировании области покрытия учитываются разнообразные типы территорий, от плотной городской застройки до лесного массива. Система может проводить анализ модели сети связи с точки зрения теории массового обслуживания и моделировать различные ситуации (например, час наибольшей нагрузки) исходя из плотности пользователей в указанном районе [5].

Atoll – программа моделирования и оптимизации различных радиосетей с обширными функциональными возможностями. Она поддерживает основные беспроводные технологии передачи данных, в том числе LTE/LTE-A. В программе используется собственная геоинформационная система, оптимизированная по критерию скорости загрузки и отображения карт. Кроме того, программа позволяет загружать необходимые векторные и растровые карты местности распространенных форматов с тайл-серверов Yandex, Google, OpenStreetMap, 2GIS, Bing [6].

RadioPlanner – программа, предназначенная для частотно-территориального планирования сетей широкополосного доступа (в том числе LTE) и расчета их зон радиопокрытия с применением разнообразных моделей распространения радиоволн. Как и программа RadioMobile она использует цифровую модель высот SRTM с разрешением в 3". Для учета влияния препятствий применяется их цифровая модель с разрешением в 1", созданная на основе проектов OpenStreetMap и Global Forest Change. Для расчета зон покрытия с привязкой к реальной местности используются цифровые карты, автоматически подгружаемые с тайл-серверов –

как с сервера пользователя, так и с общедоступных серверов (OpenStreetMap, Google, Bing и других). Результаты моделирования отображаются в виде зон покрытия для разных уровней сигнала, которые можно сохранять в разнообразных форматах [7].

На основе проведенного сравнительного обзора программ моделирования радиосетей, наиболее подходящей для исследования частных сетей LTE, работающих в условиях пересеченной местности, выбрана программа RadioPlanner. Она позволяет в требуемом объеме учесть расположение BS, с их точной привязкой к существующей местности, имеет встроенный редактор модели препятствий и обеспечивает автоматическую загрузку всех гео-данных, необходимых для проведения расчетов.

Данная программа была использована при проектировании рLTE сети Новороссийского морского торгового порта (НМТП) [8]. Сеть предприятия должна обеспечить покрытие всех грузовых районов порта – Западного, Центрального и Восточного на площади 1,3 квадратных километра (с учетом морских участков между районами). Для размещения BS используются осветительные мачты, установленные на территории порта. Требуется выбрать мачты для установки BS и их параметры так, чтобы мобильные пользователи (MS) сети в зоне обслуживания и стационарные пункты видеонаблюдения получали сигнал, обеспечивающий им трафик в 20 Мбит/с. Для решения этой задачи при проведении моделирования сети рLTE была выполнена точная привязка предлагаемых мест установки BS на мачтах освещения к местности, как это показано на рис. 1.

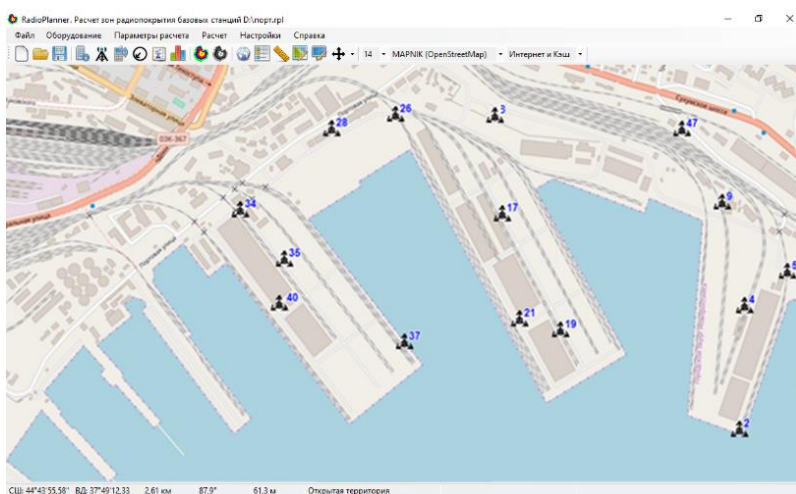


Рис. 1. Размещение мачт освещения порта в программе RadioPlanner

С помощью программы RadioPlanner было проведено моделирование различного числа и мест расположения станций BS на мачтах освещения территории порта. При расчетах использовалась цифровая модель высот SRTM и цифровая модель препятствий (городская застройка, пригород, лес, водная поверхность). Проведенное моделирование показало, что полное покрытие территории порта и необходимый трафик требует установки не менее 10 трехсекторных BS, находящихся на удалении не более 500 м друг от друга, как это представлено на рис. 2. Здесь цветом показана мощность сигнала на входе приемника MS: желтый > -80 дБмВт, кирпичный > -85 дБмВт, синий > -90 дБмВт, зеленый > -95 дБмВт, голубой > -100 дБмВт.

Таким образом, из результатов проведенного исследования следует, что в настоящее время одной из лучших программ частотно-территориального планирования сетей LTE является RadioPlanner, обеспечивающая точную привязку объектов к реальной местности.

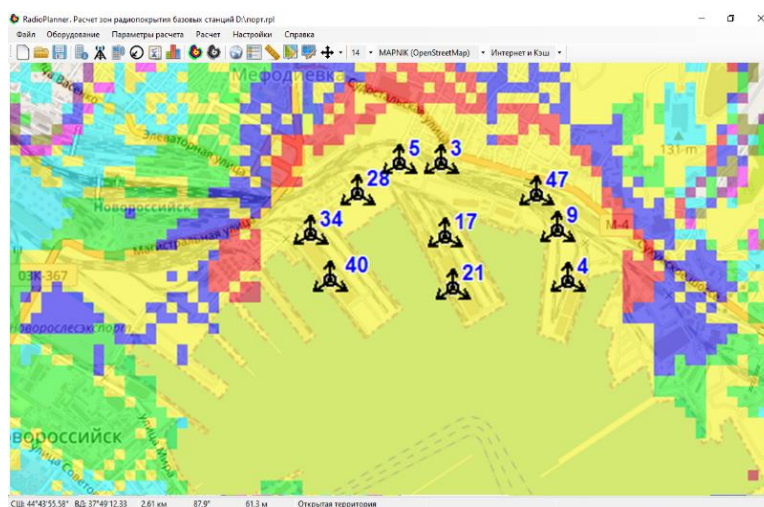


Рис. 2. Радиопокрытие сетью LTE на территории порта

Применение этой программы позволило с помощью ГИС и цифровых моделей препятствий и высот выполнить детальное моделирование рLTE сети НМТП, развертываемой в условиях пересеченной местности порта. Контрольное моделирование радиопокрытия, выполненное в ходе проектирования сети с помощью альтернативных программных средств, подтвердило полученные результаты.

Список литературы

1. Dahlman E., Parkval S., Skuld J. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadcast. Oxford, 2011. 431 p.
2. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. М. : Горячая линия – Телеком, 2007. 224 с.
3. Radio Mobile RF propagation simulation software. URL: <http://radiomobile.pe1mew.nl/> (дата обращения: 19.10.2023).
4. Xirio. URL: <http://www.xirio-online.com/> (дата обращения: 19.10.2023).
5. AWE ProMan. URL: <https://www.azymuth.ru/en/suppliers/awe-communications/proman> (дата обращения: 19.10.2023).
6. Atoll. URL: <https://www.forsk.com/atoll-overview> (дата обращения: 19.10.2023).
7. RadioPlanner. URL: <https://www.ctt-group.ru/radioplanner> (дата обращения: 19.10.2023).
8. Бузенков И. И., Редькин Ю. В., Тюфанова А. А., Пакшина Е. Р. Моделирование системного уровня частной рLTE сети на примере ПАО «Новороссийский морской торговый порт» (НМТП) // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 3 (108). С. 186–195. doi: 10.34046/aumsuomt108/27

УДК 004.3

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ РАКЕТ И БОЕПРИПАСОВ

**Павел Павлович Сафонов¹, Михаил Юрьевич Суркин²,
Ирина Викторовна Усманова³**

*^{1,2,3}Военная академия материально-технического обеспечения имени
генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия*

¹spp5689@mail.ru

²planeta_sm@mail.ru

³ivusm@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются основные компоненты автоматизированной системы анализа процесса управления запасами ракет и боеприпасов, предназначенной для автоматизации деятельности должностных лиц,

участвующих в данном процессе. Приводятся рекомендации по организации взаимодействия и работы пользователя с данной системой.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, управление запасами ракет и боеприпасов, интеллектуальный компонент, пользователь

ORGANIZATION OF THE WORK OF USERS OF THE AUTOMATED SYSTEM FOR ANALYSIS OF THE PROCESS OF MANAGEMENT OF ROCKETS AND AMMUNITION RESERVES

Pavel P. Safonov¹, Mikhail Yu. Surkin², Irina V. Usmanova³

*^{1,2,3}Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

¹spp5689@mail.ru

²planeta_sm@mail.ru

³ivusm@mail.ru

Abstract. The main components of an automated system for analyzing the process of managing stocks of missiles and ammunition, designed to automate the activities of officials involved in this process, are considered. Recommendations are given for organizing the user's interaction and work with this system.

Keywords: automated information system, missile and ammunition inventory management, intellectual component, user

Стремительное развитие высокоточного оружия и кратное увеличение его применения, минимизация времени управляющего воздействия на системы вооружения и нанесения огневого поражения повлекло за собой увеличение значимости фактора времени. Особо отметим, что при принятии решений на любом этапе работы в обязательном порядке должны учитываться не только требования нормативных документов различного уровня, но и опыт боевых действий (характер их ведения, способы решения боевых задач, состав войск и воинских формирований и др.), полученный как в локальных войнах и вооруженных конфликтах, так и в ходе ведения специальных военных операций. Объем и содержание учитываемой информации, а также выводы, сформулированные на ее основе, зависят прежде всего от индивидуальных психологических и когнитивных особенностей военнослужащего,

уровня его подготовленности, т.е. особенностей, определяющих так называемый «человеческий фактор» [1].

Поэтому для повышения эффективности процесса управления запасами ракет и боеприпасов (РиБП) необходимо использование смысловой информации, что указывает на целесообразность применения технологий искусственного интеллекта для решения данной задачи [2].

При разработке архитектуры автоматизированной информационной системы (АИС) управления запасами РиБП наряду с традиционными подсистемами, обеспечивающими возможность учета и распределения запасов РиБП, обмена данными с другими пунктами управления через каналобразующую аппаратуру, в нее включены интеллектуальные компоненты, позволяющие организовать работу со смысловой информацией при принятии решения. В итоге в АИС вошли следующие компоненты: база данных (БД); подсистема определения количественных параметров процессов управления запасами РиБП; база знаний (БЗ); подсистема логического вывода; подсистема настройки; подсистема редактирования и пополнения знаний; подсистема объяснений. В основе всех использованных моделей знаний лежат неоднородные семантические сети.

В эксплуатации АИС участвуют пользователи следующих категорий:

- инженер знаний;
- администратор базы данных (БД);
- конечные пользователи.

В роли источников информации выступают: эксперт (эксперты) в области управления запасами РиБП; нормативные документы, определяющие порядок выполнения всех действий в рамках процесса управления; нормативные документы, определяющие применяемую в данной предметной области терминологию; локальные документы, сопровождающие процесс управления запасами РиБП.

Администратор БД выполняет традиционные функции по поддержанию целостности БД, обеспечению безопасности данных, их актуальности и своевременного резервного копирования,

Эксплуатация АИС начинается с заполнения базы знаний. Оно осуществляется инженером знаний (когнитологом) по результатам взаимодействия с экспертом (экспертами), обладающим

признанным положительным опытом решения задач в данной предметной области.

Конечный пользователь вступает во взаимодействие с АИС с целью анализа данных, образовавшихся на текущий момент в процессе управления запасами РиБП, и прогнозирования возможного развития сложившейся ситуации, причем как ее негативных, так и положительных аспектов.

Одним из характерных факторов, имеющих место при проведении армейских операций, является быстрое изменение оперативной обстановки. Поэтому работа конечного пользователя начинается с настройки всех контролируемых показателей на особенности текущей ситуации. В процессе настройки указываются пороговые значения контролируемых параметров, актуальные для сложившейся обстановки. При необходимости к участию может быть привлечен когнитолог.

Полученные сведения используются в качестве исходных данных для работы подсистемы логического вывода. В автоматическом режиме создаются два списка:

показатели состояния процессов деятельности (ПД), для которых фиксируется возможность нарушения предельно допустимых значений показателей состояния ПД, что говорит о возросшей вероятности появления некоторой негативной ситуации;

показатели состояния ПД, свидетельствующие о появлении в текущий или прогнозируемый момент времени благоприятной ситуации, использование которой может способствовать повышению эффективности процесса управления запасами РиБП.

На основании данной информации формируются и предлагаются пользователю рекомендации по предотвращению появления потенциально опасных и использованию преимуществ благоприятных ситуаций. Полученные данные становятся основанием для реализации комплекса мероприятий, направленных на совершенствование процесса управления запасами РиБП, что позволяет снизить требования к уровню квалификации конечного пользователя системы.

Рассмотренные процедуры могут выполняться многократно по требованию конечного пользователя.

Кроме того, в АИС анализа состояния процесса управления запасами РиБП реализована возможность редактирования и по-

полнения знаний БЗ средствами одноименной подсистемы. Технически эту работу выполняет инженер знаний в случае возникновения изменений в предметной области или по требованию конечного пользователя, при этом обязательно в тесном взаимодействии с экспертом и/или конечным пользователем. Корректность выполнения данной процедуры обеспечивается применением для представления знаний о предметной области единого аппарата семантических сетей.

Все решения, формируемые в процессе работы АИС, по требованию пользователя любой категории могут быть прокомментированы на профессиональном диалекте естественного языка средствами подсистемы объяснений.

Кроме того, в процессе работы АИС производится автоматический расчет аналитических параметров, необходимых для расчета обеспечения частей (подразделений) ракетами и боеприпасами, например, войсковых запасов РиБП, установленного запаса к концу суток боя, потребности и т.д.

Взаимодействие структурных компонентов АИС осуществляется посредством фиксации в БД конечным пользователем сведений об основных показателях процесса управления запасами РиБП и должностных лицах, участвующих в процессе, актуальных на текущей момент.

Таким образом, в рамках рассматриваемой АИС реализуются следующие функции [3]:

- формирование БЗ, фиксирующей эмпирические взаимосвязи между появлением отдельных показателей состояния процесса управления запасами РиБП и их вероятностные характеристики;
- адаптация системы к особенностям текущей ситуации и требованиям пользователя;
- выявление нарушений в процессе управления запасами РиБП, а также событий, открывающих благоприятные возможности для достижения целей пользователя;
- выявление показателей состояния процесса управления запасами РиБП, эффективности ПД, которые в дальнейшем могут принять неудовлетворительное значение или, наоборот, способствовать достижению целей пользователя;
- предоставление рекомендаций по комплексу действий в выявленных условиях.

Список литературы

1. Калачевский А. В. Управление ракетно-техническим и артиллерийско-техническим обеспечением войск (сил) в операциях с использованием комплексной модели поддержки принятия решения : дис. ... канд. техн. наук: 20.02.12. М. : 3 ЦНИИ, 2015. 172 с.
2. Сафонов П. П., Суркин Г. Б., Белоногов Г. Б., Усманова И. В. Совершенствование процесса управления запасами боеприпасов при ведении боевых действий в современных вооруженных конфликтах // Актуальные вопросы материально-технического и финансово-экономического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации : сб. материалов IV Межведомственной науч.-практ. конф. СПб. : ВА МТО, 2022. Т. 4. С. 616–623.
3. Сафонов П. П., Суркин Г. Б., Белоногов Г. Б., Усманова И. В. Современные информационные технологии как инструмент повышения эффективности управления запасами боеприпасов и ракет // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXI Междунар. науч.-техн. конф. Пенза : Изд-во ПГУ, 2021. С. 155–159.

УДК 004.3

АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ В СОСТОЯНИИ И СОДЕРЖАНИИ ИЗДЕЛИЯ Р-142Т(ТО)

**Ирина Викторовна Усманова¹, Михаил Юрьевич Суркин²,
Павел Павлович Сафонов³, Никита Владимирович Латюк⁴**

*^{1,2,3,4}Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Пенза, Россия*

¹ivusm@mail.ru

²planeta_sm@mail.ru

³spp5689@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность разработки комплексной автоматизированной информационной системы, предназначенной для применения расчетами современных мобильных образцов вооружения. Рассмотрены основные инструменты для анализа технического состояния оборудования мобильных комплексов средств автоматизации.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, мониторинг, неисправность, интеллектуальный компонент.

ANALYSIS OF DEFICIENCIES IN CONDITION AND CONTENT PRODUCTS R-142T(TO)

Irina V. Usmanova¹, Mikhail Yu. Surkin²,
Pavel P. Safonov³, Nikita V. Latyuk⁴

^{1,2,3,4}*Military Academy Logistics them. Army General A. V. Khruleva,
Penza, Russia*

¹ivusm@mail.ru

²planeta_sm@mail.ru

³spp5689@mail.ru

Abstract. The relevance of the development of a complex automated information system designed for use by calculations of modern mobile weapons is substantiated. The main tools for analyzing the technical condition of the equipment of mobile automation complexes are considered.

Keywords: automated information system, monitoring, malfunction, intellectual component

Подобно гражданским вузам военные вузы должны готовить высококвалифицированных специалистов, особенно в области инженерной деятельности, требующей решения практических задач с использованием эксплуатационной документации. Однако такая документация часто существует в единственном экземпляре, а для решения конкретных задач требуется совместное использование нескольких документов. Кроме этого, эксплуатационная информация должна быть вручную занесена в формуляр изделия, что затрудняет ее систематизацию и анализ и усложняет разработку планов эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники воинского подразделения.

Поэтому на текущий момент актуальна разработка программного обеспечения, которое должно отвечать следующим требованиям:

- программные средства должны обеспечивать возможность систематизации информации на уровне, достаточном для выполнения конкретных действий на рабочем месте;
- организация интерфейса пользователя должна способствовать повышению эффективности процесса обучения личного состава;

– разработанные программные средства должны допускать возможность использования в различных операционных системах, что существенно в условиях перехода на отечественное программное обеспечение.

В [1] предлагается к рассмотрению автоматизированная информационная система (АИС). Она имеет комплексный характер, позволяет учитывать достаточно широкий спектр мероприятий, осуществляемых в процессе эксплуатации изделия (при подготовке к использованию по назначению и техническом обслуживании), предлагает инструменты для проведения анализа собранной информации, в том числе по неисправностям оборудования, обеспечивает представление информации в форме, соответствующей требованиям нормативных документов.

Выявление причин возникновения и устранение неисправностей, продление межремонтного ресурса оборудования является одной из важных задач эксплуатации оборудования. Эксплуатационные потери можно сократить путем своевременного и целенаправленного технического обслуживания оборудования на основе результатов регулярно наблюдения его технического состояния. Это позволит использовать в полной объеме ресурс и повысить коэффициент технической готовности, исключив его аварийную остановку и необоснованный ремонт. Качественное решение этой задачи невозможно без своевременного учета и анализа неисправностей оборудования, а также прогнозирования его технического состояния.

В распоряжение пользователя АИС предоставляет средства для анализа текущего состояния оборудования (рис. 1).

Назад	Анализ недостатков в состоянии и содержании изделия
Выберите необходимую группу запросов	
<input checked="" type="checkbox"/>	Учет работы изделия
<input type="checkbox"/>	Учет выполненного технического обслуживания
<input type="checkbox"/>	Учет выявленных неисправностей
<input type="checkbox"/>	Учет ремонтных работ
<input type="checkbox"/>	Характеристики оборудования

Рис. 1. Выбор группы анализируемых параметров

Группы анализируемых параметров выделены в соответствии с рекомендациями ГОСТ 2.610–2019.

В распоряжение личного состава расчета предоставляются инструменты для анализа выполненных работ по техническому обслуживанию.

Информация о выявленных неисправностях оборудования заносится в базу данных АИС администратором. По мере ее накопления может быть произведен ее анализ и сформирован прогноз технического состояния оборудования. Личный состав расчета может обратиться к следующим данным:

- полный список выявленных неисправностей;
- список неисправностей за период времени;
- список неисправностей конкретного оборудования;
- список неисправностей конкретного оборудования за период времени;
- обобщенные данные по неисправности оборудования за период времени;
- обобщенные данные по неисправности оборудования за весь период наблюдения;
- список оборудования, у которого до окончания срока гарантии осталось менее года.

Учет выполнения ремонтных работ оборудования позволяют формировать следующие наборы данных:

- список ремонтов оборудования за период времени;
- полный список произведенных ремонтных работ.

По требованию пользователя на экран могут быть выведены эксплуатационные характеристики конкретного оборудования.

Предлагаемый набор инструментов не позволяет выполнять мониторинг параметров оборудования в процессе его работы, однако дает возможность зафиксировать факты возникновения и устранения неисправностей и на основании этих данных сделать выводы об интенсивности потока отказов, а также прогнозировать возможность возникновения отказов в ближайшем будущем [2].

Таким образом, можно говорить о наблюдаемости технического состояния оборудования. По результатам наблюдений личный состав расчета должен своевременно проводить обслуживание оборудования, что обеспечит необходимый запас устойчивости технической системы и требуемое качество ее функционирования. Полученная информация должна учитываться при разработке планов эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники при различных горизонтах планирования.

Особый интерес представляет такая функция АИС, как прогнозирование возможных неисправностей оборудования в случае возникновения конкретных проблемных ситуаций. Для ее реализации разработана база знаний, содержащая сведения о взаимозависимостях различных неисправностей и их вероятностных характеристиках.

Опытная эксплуатация АИС позволяет сделать вывод о ее эффективности и возможности применения при проведении различных армейских операций, а также в мирное время. В дальнейшем предполагается расширить состав реализованных функций системы.

Список литературы

1. Булатов А. Г., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Автоматизация учета эксплуатационных данных по изделию Р-142Т(ТО) // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXI Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрожжина. Пенза, 2021. С. 164–168.

2. Капов А. А., Минин А. А., Суркин М. Ю. [и др.]. К вопросу об автоматизации процесса мониторинга технического состояния образцов вооружения и военной техники // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 апр. 2019 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. Чебоксары : Интерактив плюс, 2019. С. 96–98.

УДК 004.05

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Олег Евгеньевич Шеланков¹, Сергей Александрович Парамонов²

^{1,2}*Научно-производственное предприятие «Рубин», г. Пенза, Россия*

ntc1@npp-rubin.ru

Аннотация. Рассмотрены причины необходимости оптимизации бизнес-процессов на предприятии. Определены методы оптимизации, которые применяются в настоящее время и предложены способы их совершенствования.

Ключевые слова: бизнес-процессы, оптимизация, методы, совершенствование

PROPOSALS FOR IMPROVING BUSINESS PROCESS OPTIMIZATION METHODS

Oleg E. Shelankov¹, Sergey A. Paramonov²

^{1,2}*Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia*

ntc1@npp-rubin.ru

Abstract. The reasons for the need to optimize business processes in an enterprise are considered. Optimization methods that are currently used are identified and ways to improve them are proposed.

Keywords: business processes, optimization, methods, improvement

Технологии, рыночные условия, потребительские предпочтения – все это постоянно изменяется, особенно в настоящее время. Чтобы оставаться конкурентоспособными, компаниям необходимо быстро адаптироваться к изменениям внешних условий, и оптимизация бизнес-процессов играет в этом ключевую роль [1–3].

Можно выделить ряд важных причин [4–7], приводящих руководителей компаний по результатам анализа текущего состояния компании к принятию решения о начале работ по оптимизации бизнес-процессов:

1. Повышение эффективности – оптимизация бизнес-процессов помогает улучшить производительность, устраняя ненужные или избыточные этапы в процессе производства продукции или оказания услуг, что в итоге приводит к более быстрым и качественным результатам.

2. Снижение издержек – устранение неэффективных операций или автоматизация определенных задач может значительно сократить расходы.

3. Повышение уровня обслуживания клиентов – быстрое и качественное решение задач приводит к удовлетворенности клиентов, что, в свою очередь, способствует положительным отзывам и повторным продажам.

4. Сокращение ошибок – оптимизированные процессы обычно менее подвержены ошибкам, что снижает риски потерь или неудовлетворенности клиентов.

5. Адаптивность к изменениям – в быстро меняющемся мире бизнеса компании должны проявлять высокую гибкость. Оптимизированные процессы легче адаптировать к новым условиям или требованиям.

6. Прозрачность и контролируемость – оптимизация делает процессы более понятными и измеримыми, что облегчает контроль и управление.

7. Освобождение ресурсов – решение оптимизированных задач является более эффективным, поэтому сотрудники могут переключить свое внимание на другие, более важные задачи.

В целом, оптимизация бизнес-процессов дает возможность компаниям быть конкурентоспособными, эффективными и успешными в своей отрасли.

Однако, процесс оптимизации бизнес-процессов – сложная задача, которая требует учета многих факторов [8–10] и сопровождается следующими основными проблемами:

1. Нелинейность и многомерность – бизнес-процессы часто включают в себя множество переменных, которые могут взаимодействовать друг с другом нелинейным образом. Это делает оптимизацию сложной, так как небольшие изменения в одном параметре могут вызвать существенные изменения в результатах.

2. Локальные и глобальные оптимумы – очень часто, при поиске оптимального решения, алгоритмы могут «застрывать» в локальных оптимумах, пропуская глобальные максимумы или минимумы.

3. Динамичность бизнес-среды – бизнес-процессы не статичны, они меняются со временем из-за внешних и внутренних факторов, поэтому оптимальное решение сегодня может оказаться неоптимальным завтра.

4. Ограниченность данных – для принятия решений необходима информация, однако в реальной жизни данные могут быть неполными, неточными или устаревшими, что усложняет процесс оптимизации.

5. Сложность моделирования – бизнес-процессы могут быть настолько сложными, что их трудно адекватно моделировать математическими методами. Избыточно сложные модели могут быть непрактичными для реализации, а слишком простые модели могут не учитывать ряд важных деталей.

Для устранения каждой из указанных проблем существуют свои методы и подходы к решению [11–13]:

1. Нелинейность и многомерность – использование генетических алгоритмов или методов имитации отжига, которые эффективно работают с нелинейными пространствами.

2. Локальные и глобальные оптимумы – многократный запуск алгоритма из различных начальных условий может помочь избежать локальных минимумов.

3. Динамичность бизнес-среды – создание адаптивных моделей, которые могут изменяться в соответствии с изменением внешней среды, а также регулярное обновление данных и пересмотр моделей для адекватного отражения текущей ситуации.

4. Ограниченность данных – методы статистического анализа, позволяющие работать с неопределенностью, например, байесовские методы, методы генерации данных или использование внешних источников данных для заполнения пробелов.

5. Сложность моделирования – упрощение модели, последовательное моделирование, начиная с более простой модели с постепенным добавлением сложности по мере необходимости.

Важно подчеркнуть, что в каждой конкретной ситуации может потребоваться комбинация различных методов и подходов. Постоянное обучение, адаптация и инновации являются ключом к успешной оптимизации бизнес-процессов. Для улучшения предложенных решений целесообразно рассмотреть следующие подходы:

1. Нелинейность и многомерность.

Гибридизация методов – комбинация нескольких методов оптимизации может улучшить их эффективность, например, комбинирование генетических алгоритмов с градиентным спуском.

Если $f_1(x)$ решается генетическим алгоритмом и $f_2(x)$ градиентным спуском, то гибридный метод мог бы использовать:

$$f_h(x) = \alpha f_1(x) + (1 - \alpha) f_2(x),$$

где α – весовой коэффициент.

Параллельные вычисления – разделение задачи на подзадачи и параллельное выполнение может ускорить процесс оптимизации.

Пусть $f(x_i)$ – подзадача из N задач, тогда параллельные вычисления позволяют решить все $f(x_i)$ одновременно, уменьшая время вычислений.

2. Локальные и глобальные оптимумы.

Методы ускоренного охлаждения – это может помочь алгоритмам, таким как имитация отжига, быстрее находить глобальный оптимум. Для имитации отжига температура $T(t)$ уменьшается быстрее, ускоряя нахождение оптимума.

Регуляризация – добавление регуляризационных термов может помочь предотвратить переобучение и улучшить обнаружение глобальных оптимумов, например, целевая функция $f(x)$ модифицируется добавлением регуляризационного термина $\lambda R(x)$, где λ – коэффициент регуляризации.

3. Динамичность бизнес-среды.

Онлайн-обучение – модели, которые обновляются в реальном времени с новыми данными, могут лучше адаптироваться к изменяющимся условиям:

$f(x, t)$, где t – время.

Прогностическое моделирование – модель предсказывает будущие значения:

$$f(x, t + \Delta t),$$

что позволяет заранее адаптироваться к изменениям.

4. Ограниченность данных.

Аугментация данных – искусственное увеличение набора данных путем создания новых примеров из существующих, например, для исходного набора данных D создается дополнительный набор D' , увеличивающий обучающую выборку.

Перенос обучения – использование данных из одной задачи для улучшения производительности в другой связанной задаче, например, если для задачи A есть модель $f_A(x)$ и для задачи B модель $f_B(x)$, перенос обучения позволяет использовать знания из f_A для улучшения f_B .

5. Сложность моделирования.

Ансамблевые методы – объединение выводов из нескольких моделей для получения более точного и надежного результата, например, комбинация M моделей $f_m(x)$ для улучшенного прогноза:

$$f_e(x) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M f_m(x).$$

Автоматизация машинного обучения (AutoML) – применение автоматических алгоритмов для выбора наилучшей модели и ее параметров, например, оптимизация функции потерь $L(f, D)$ на пространстве всех возможных моделей f и их параметров.

Таким образом, оптимизация бизнес-процессов в настоящее время имеет важное значение и способствует улучшению качества продукции и обслуживания. Современные потребители становятся все более требовательными. Компании сегодня работают в глобальном масштабе, и им необходимо координировать свою деятельность в разнообразном мире. Оптимизированные и стандартизированные процессы обеспечивают более эффективное управление и координацию. Все больше компаний стремятся к устойчивому развитию и экологичному производству. Оптимизация помогает уменьшить отходы, эффективно использовать ресурсы и снижать негативное воздействие на окружающую среду. С ростом компании увеличивается сложность ее управления, поэтому без оптимизации процессов управление может стать неэффективным и хаотичным.

Список литературы

1. Процессный подход к управлению: эволюция, современные вызовы, инновации. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/117951> (дата обращения: 14.10.2023).
2. Звонарева Н. С., Москалева И. М. Актуальность организации бизнес-процессов на предприятии и управления ими // *Ео ipso*. 2022. № 11. С. 82–86.
3. Батылина Н. А. Анализ бизнес-процессов как инструмент их оптимизации и рационализации // *CETERIS PARIBUS*. 2022. № 12. С. 108–112.
4. Топ-5 инициатив по оптимизации бизнес-процессов. URL: <https://lab.academyb1.ru/stati/top-5-iniciativ-po-optimizacii-biznes-processov/> (дата обращения: 14.10.2023).
5. Оптимизация бизнес-процессов. URL: <https://secrets.tinkoff.ru/glossarij/optimizaciya-biznes-processov/> (дата обращения: 15.10.2023).
6. Автоматизация бизнес-процессов. URL: <https://glx.su/optimizaciya-biznes-processov/> (дата обращения: 15.10.2023).
7. Оптимизация рабочих процессов в малом бизнесе путь к эффективности. URL: <https://tosvm.ru/malyj-i-srednij-biznes/optimizaciya-rabochih-processov-v-malom-biznese-put-k-jeffektivnosti/> (дата обращения: 15.10.2023).

8. Умение видеть и оптимизировать бизнес-процессы: Ключ к успеху и эффективному развитию компании. URL: <https://vc.ru/u/2056250-mbi-upravlyay-uspeshno/778908-umenie-videt-i-optimizirovat-biznes-processy-klyuch-k-uspehu-i-effektivnomu-razvitiyu-kompanii> (дата обращения: 17.10.2023).

9. Оптимизация процессов компании: основные понятия и примеры в системе SILA Union: URL: <https://silaunion.ru/articles/optimizaciya-processov-kompanii-osnovnye-ponyatiya-i-primery-v-sisteme-sila-union> (дата обращения: 16.10.2023).

10. Александрова К. А., Музалев С. В. Аналитическое обеспечение моделирования бизнес-процессов в организации // Russian Journal of Management. 2022. Т. 10, № 1. С. 36–40.

11. Громов А. И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы монография. Люберцы : Юрайт, 2016. 367 с.

12. Музалев С. В. Интеграция инструментов стратегического анализа в систему управления эффективностью бизнеса // Russian Journal of Management. 2021. Т. 9, № 1. С. 211–215.

13. Применение принципов линейного программирования для оптимизации бизнес-процессов. URL: <https://projecto.pro/blog/theory/primenenie-princzipov-linejnogo-programmirovaniya-dlya-optimizaczii-biznes-proczessov/> (дата обращения: 18.10.2023).

УДК 621.3

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ В УСТРОЙСТВЕ ПРИВОДА АКТИВНОЙ РУКОЯТКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Дмитрий Алексеевич Якунин¹, Ирина Евгеньевна Чернецкая²,
Сергей Александрович Дюбрюкс³, Дмитрий Борисович Борзов⁴**

^{1,2,3,4}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹yakunin99@bk.ru

²white731@yandex.ru

³serhio5551@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается разработанное на преимущественно российской элементной базе устройство управления приводом рукоятки летательного аппарата, основанное на модифицированных алгоритмах управления электродвигателем при статической и динамической нагрузках.

Ключевые слова: сервопривод, алгоритм, управление, привод рукоятки, ШИМ

HARDWARE IMPLEMENTATION OF ELECTRIC MOTOR CONTROL ALGORITHMS IN THE DRIVE DEVICE OF THE ACTIVE HANDLE OF THE AIRCRAFT

Dmitriy A. Yakunin¹, Irina E. Chernetskaya²,
Sergey A. Dubruks³, Dmitriy B. Borzov⁴

^{1,2,3,4}*Southwest State University, Kursk, Russia*

¹yakunin99@bk.ru

²white731@yandex.ru

³serhio5551@yandex.ru

Abstract. The article considers a device developed on a predominantly russian element base for controlling the handle drive of an aircraft based on modified algorithms for controlling an electric motor under static and dynamic load.

Keywords: servodrive, algorithm, controlling, handle driver, PWM

Использование электродвигателей в современной промышленности всеобъемлюще. И крошечный исполнительный механизм, и винт беспилотного летательного аппарата, и даже ворота ангара – везде находят применение сервоприводы. Простота управления, надежность, экономическая и технологическая обоснованность применения обеспечивают электродвигателям мировую популярность, долгосрочную актуальность и перспективность на рынках самых разнообразных устройств [1].

Организация сервопривода в авиационной отрасли усложнена особыми конструктивными требованиями и ограничениями. Действуя в ограниченных условиях, разработчику приходится принимать не только типовые проработанные решения, но и проводить практическую исследовательскую работу. Применение электродвигателя в авионике – всегда частный случай, не учтя специфику которого можно потратить значительные временные и материальные ресурсы [3]. Это делает разработку сервоприводов для электронных блоков авиатехники итерационным и ответственным процессом, особенно актуальным в современной экономическо-политической обстановке.

Устройство предназначено для управления российским двигателем ДБ32-25-8, узлы питания и управления выполнены на отечественной элементной базе. Реализованы «алгоритм прямого управления с таблицей включения» для статичной нагрузки на рычаги управления и «алгоритм прямого управления моментом с пространственно-векторной модуляцией напряжения» для динамической нагрузки. Из общей концепции устройства и, исходя из состава механической части привода, предложено модульное разделение схемотехники для облегчения отладки и локализации неполадок (рис. 1). Электронный блок привода разделен на несколько модулей: модуль питания сервопривода, модуль управления логикой, модуль команд сервопривода (левого/правого).

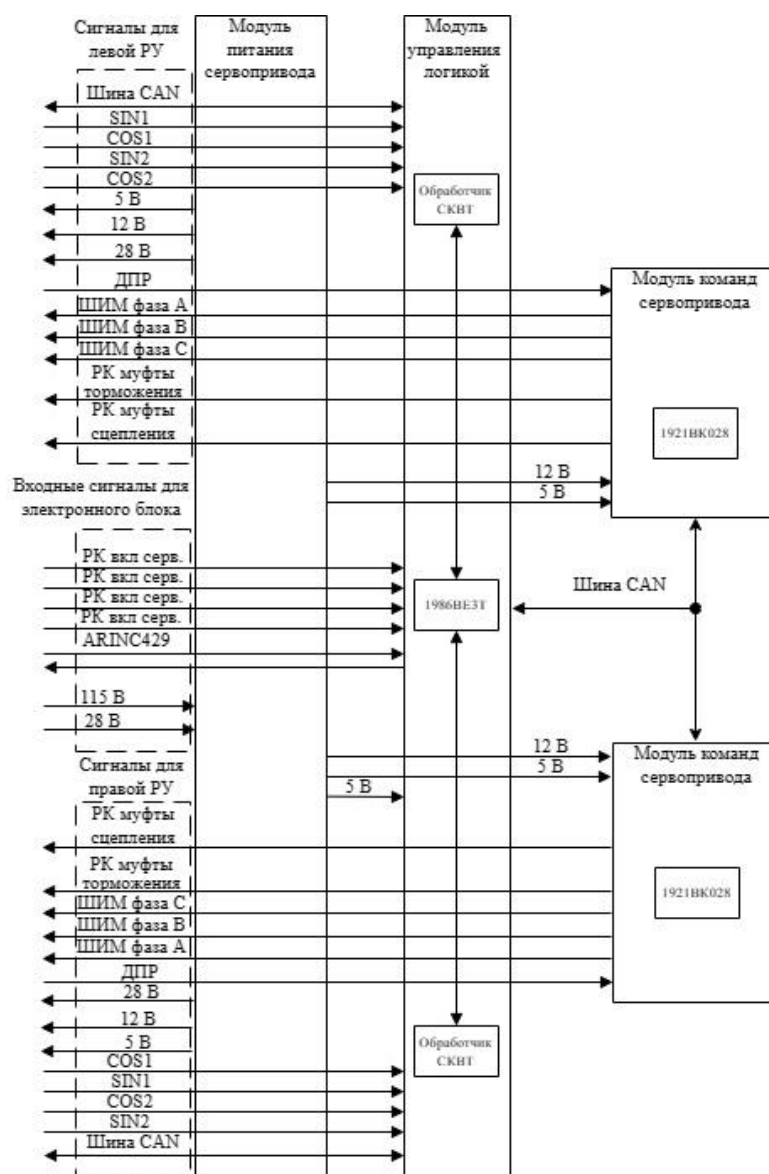


Рис. 1. Модульная структурная схема электронного блока привода

Сопряжение с объектом реализуется как по интерфейсным линиям ARINC-429/CAN, так и по ряду специализированных сигналов.

Управление приводом осуществлялось посредством разработанного тестового программного обеспечения (рис. 2).

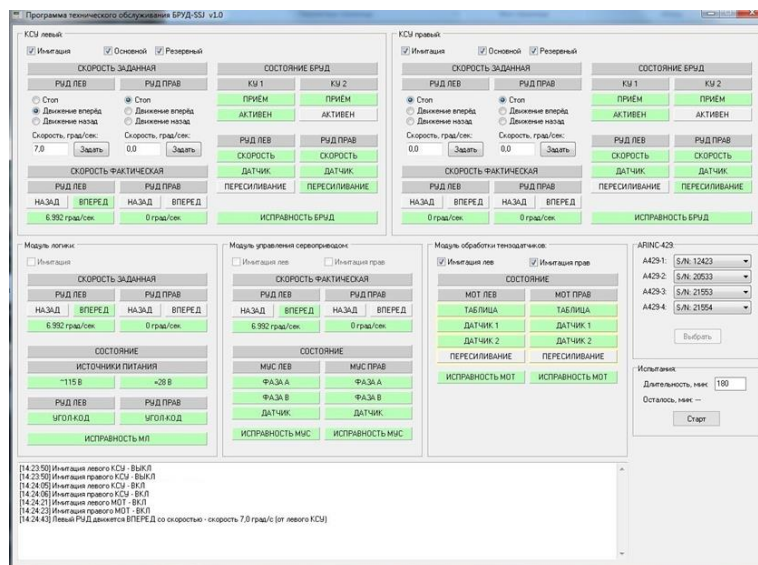


Рис. 2. Пример окна тестового ПО

В текстовых полях задается скорость перемещения рукоятки в градусах в секунду. Чек-боксы с соответствующими направлениями движения включают и отключают привод выбранной рукоятки управления (РУ). При помощи клавиши «Старт» запускается испытательный режим, представляющий из себя predetermined набор движений рукояток в разные стороны с разной скоростью. Тестирование заключалось как в визуальном и тактильном (пересиливание работы двигателей пилотом) контроле рукояток при работе устройства на разных заданных скоростях, так и в снятии характеристик двигателя при его работе от электронного блока привода.

Во время тестирования в тесте выбиралась скорость вращения двигателей и привод (левый/правый). Наблюдения за качеством хода рукояток осуществлялись посредством визуального и тактильного контроля рукояток при работе устройства на разных заданных скоростях. Для получения численных значений тестирования сняты механические характеристики отдельного двигателя, подключенного непосредственно к электронному блоку (характер-

ристики вращения ротора снимались лабораторным тахометром). Показания скорости снимались с ПО (в градусах в секунду), осуществлялся захват фаз двигателей с помощью осциллографа (рис. 3).

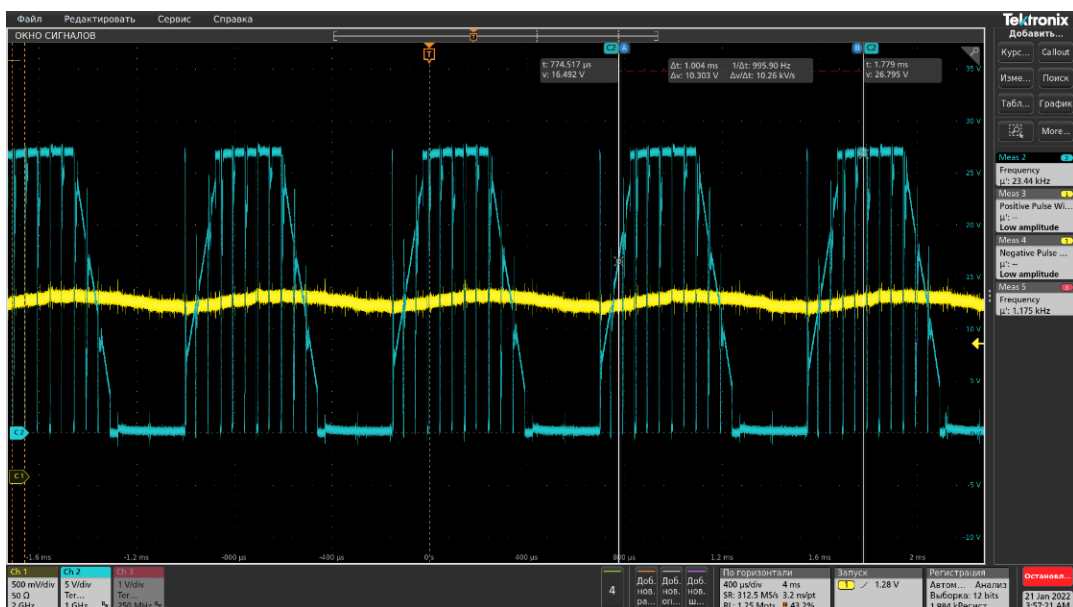


Рис. 3. Осциллограммы сигналов при вращении электродвигателя

Результаты обработки с замкнутыми контурами тока и скорости приведены в табл. 1. Значения-эталонные, полученные от зарубежного аналога указаны в крайнем правом столбце.

Таблица 1

Результаты обработки с замкнутыми контурами тока и скорости

Скорость перемещения левой РУ		Скорость перемещения правой РУ		Эталонные значения французского привода TQA SSJ
Заданная скорость (Градус/с)	Установившийся диапазон скорости (Градус/с)	Заданная скорость (Градус/с)	Установившийся диапазон скорости (Градус/с)	
0,5	0,4–0,6	0,5	0,4–0,6	0,45–0,55
1,0	0,9–1,1	1,0	0,9–1,1	0,93–1,16
5,0	4,8–5,3	5,0	4,8–5,2	4,9–5,1
10,0	9,8–10,1	10,0	9,8–10,2	9,8–10,1
15,0	14,6–15,3	15,0	14,5–15,2	14,4–15,1

Путем аппаратной реализации собственных модификаций алгоритмов управления двигателем на российской элементной базе получены характеристики, сравнимые с импортным аналогом, в ряде диапазонов оцениваемых параметров превосходящие его. Текущая реализация алгоритма управления и его аппаратная реализация являются решением, близким к оптимальному, для используемых датчиков Холла ДБ32-25 и неравномерности усилия хода механической части привода.

Список литературы

1. Чиров Д. С., Чертова О. Г., Потапчук Т. Н. Электродвигатели специального назначения // Труды СПИИРАН. 2017. № 51. С. 152–176. URL: <http://proceedings.spiiras.nw.ru/index.php/sp/article/view/3459> (дата обращения: 01.06.2022). doi: 10.15622/sp.44.7
2. SEW-Eurodrive Практика приводной техники. Сервоприводы. URL: <https://www.deltronix.su/doc/11322853.pdf?ysclid=lhkfjgnzr3628607606> (дата обращения: 23.02.2023).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Бувич Е. А., Яремко О. Э. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОЗАДАЧНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КАК СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	5
Иванов А. И., Тарасов Д. В. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ АДДИТИВНОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА ПРИ АНАЛИЗЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ	14
Лукичев С. В., Горбаченко В. И., Абрамов И. А., Манина Н. И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ.....	19
Солодовник В. В., Дюбрюкс С. А. ПРОБЛЕМА СТОЛКНОВЕНИЙ В МНОГОРОБОТНЫХ СИСТЕМАХ	30
Тарасов А. А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	35
Тимохин И. С., Иванов Ф. И. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛЯРНОГО ФЛИППИНГ-ДЕКОДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТИЧЕСКИХ МНОЖЕСТВ.....	42
Яремко О. Э., Ячменев А. И. ЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ.....	47

2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Гура Д. А. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА POINTNET НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	53
Киреев Н. А., Кильчанова А. Д. ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АКСЕЛЕРОМЕТРА	59

Комаров М. Ю., Тарас Е. Р., Мягков М. М., Сандлер Г. А. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗРЫВА ОТ ЦЕЛИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ, ПЕРЕДАВАЕМОГО С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	62
Коротнев П. А., Приоров А. Л., Ганин А. Н., Волков Д. Б., Соргин Р. И. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАПОЛНЕННОСТИ СТАЛИ В СТАЛЬКОВШЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	69
Ларионов Р. В., Котов Н. В., Хрящев В. В. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОСАДОК КОРМОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	73
Моисеев И. А., Максимов А. И. ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ФОНОВОГО ШУМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВСТАВОК В ФОНОГРАММЫ.....	77
Спешилов И. О., Кирнос В. П., Булгакова А. А. МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОДНОВРЕМЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	82
Ушакова А. М., Приоров А. Л., Набилков В. Д., Лаврентьев М. А., Куприянов Е. В. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	88
Шишикина Д. С., Горбаченко В. И. СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ДИАГНОСТИКЕ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ	92

3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ровнягин М. М., Синельников Д. М., Ровнягина Т. А., Яковенко И. А., Худоярова А. М., Ерошев А. А. СПОСОБ УСКОРЕНИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.....	101
Калевко В. В., Лагереv Д. Г. ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ИТ-КОМПАНИИ	111

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Авсиевич А. В., Арысланов Ф. С. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСТОЕВ И ЗАДЕРЖЕК В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ.....	116
Коваленко Т. А., Марина М. А. РОЛЬ ИНТЕРФЕЙСА В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ	121
Куршева А. А. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СЕМАФОРА КАК СРЕДСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ.....	125
Сапожников А. Ю., Юрлов М. В., Маврина А. С. ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ НА ОСНОВЕ MEDIAWIKI	129
Терентьева Ю. Ю. ИНСТРУМЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ.....	134

5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

Абувалов Е. Ю., Козина Е. А., Селянкин Д. В., Сурков М. С., Пушкарева А. В. КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	140
Бороевич С., Петрович Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЗАДАЧИ СТРУПА И ДАННЫХ ЭЭГ ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ И ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В РАЗНЫХ НАСТРОЕНИЯХ.....	143
Ковачич Д., Петрович Н., Бороевич С. АНАЛИЗ ЭЭГ КОГНИТИВНЫХ РЕАКЦИЙ В СИМУЛИРОВАННЫХ СРЕДАХ.....	149
Петрович Н., Бороевич С. ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ В ПСИХОЛОГИЧЕСКОМ ТЕСТИРОВАНИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ОЦЕНКИ «ЦИФРОВАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ»	153

Демушкина К. М., Масленников А. А. РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО КОНФИГУРАЦИОННОГО ОКНА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКГ В СРЕДЕ PROM.....	158
Ермаков Д. А., Петрунина Е. В., Пшеничный А. Е., Рыбаков А. Ю. ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ.....	162
Кузьмин А. А., Аль-Дарраджи Часиб Х., Сухомлинов А. Ю. ДЕТЕКТОР СОСТОЯНИЯ ПИКСЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОКОННОГО ДВУМЕРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УОЛША.....	167
Серебровский А. В., Новоселов А. Ю., Лях А. В., Фатнев Д. А. МЕТОД БИОИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ НА ОСНОВЕ ЗВЕНЬЕВ ВОЙТА	172
Степанова Е. Д., Хрящев В. В., Завьялов Д. В., Котов Н. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА YOLO ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОЛИПОВ В КОЛОНОСКОПИИ.....	177
Хрящев В. В. АНАЛИЗ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОБЛЮДЕНИЯ СТАНДАРТОВ КАЧЕСТВА В КОЛОНОСКОПИИ.....	183

6. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

Бузенков И. И., Редькин Ю. В., Пакшина Е. Р. ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА PRIME ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФАЙЛОВ ДАННЫХ SCADA-СИСТЕМ	187
Волков В. А., Филиппов И. А., Баусова З. И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ДВУХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ GPSS WORLD	192
Воячек Р. В. АНАЛИЗ СПОСОБОВ СБОРА ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АНАЛИТИКЕ ВЕБ-САЙТОВ	200
Горбачев И. Н., Кадырова София МЕТОД И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ПОЛЕТА	205
Горохов А. А., Комаров М. Ю., Мягков М. М. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА НАСТРЕЛА И ПРЕДОХРАНЕНИЯ МИНОМЕТОВ	210

Гурьянов Е. Д., Приоров А. Л. РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК УЗЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ.....	215
Демушкина К. М., Демушкин М. О. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРВЕРА JANUS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ	219
Ефанов С. В., Иванова Е. Н. СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКА ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ.....	223
Касоян Л. Д., Некоркин А. М., Колядко А. Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКОВ ФОРМАТА SUBESAT С ПОМОЩЬЮ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК	228
Киселев И. С., Идиатуллин А. В., Приоров А. Л. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРОМ БПЛА В ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЕ РОБОТОВ	234
Комаров М. Ю., Мягков М. М. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУКСИРУЕМЫХ МИНОМЕТОВ	239
Комаров М. Ю., Тарас Е. Р., Мягков М. М., Федотов Д. А. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ – СРЕДСТВО КОРРЕКТИРОВКИ ОГНЯ АРТИЛЛЕРИИ.....	244
Коростелев Д. А., Галкин Н. П. ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ОБЪЕКТАМИ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ	250
Леутина А. Н. АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ВРЕДА И ПОЛЬЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРЕ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА.....	255
Лисенков А. В., Шадрин Е. А., Рожкова Е. С. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДАННЫХ ПРИ КАТАЛОГИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ	260
Локтионов Е. И., Егоров С. И. БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ДЛЯ ВЗУ ЭВМ	268
Редькин Ю. В., Тюфанова А. А. ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАСЧЕТА ЧАСТНЫХ СЕТЕЙ LTE.....	273

Сафонов П. П., Суркин М. Ю., Усманова И. В. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ РАКЕТ И БОЕПРИПАСОВ.....	278
Усманова И. В., Суркин М. Ю., Сафонов П. П., Латюк Н. В. АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ В СОСТОЯНИИ И СОДЕРЖАНИИ ИЗДЕЛИЯ Р-142Т(ТО)	283
Шеланков О. Е., Парамонов С. А. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....	287
Якунин Д. А., Чернецкая И. Е., Дюбрюкс С. А., Борзов Д. Б. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ В УСТРОЙСТВЕ ПРИВОДА АКТИВНОЙ РУКОЯТКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	293

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

*Сборник статей XXIII Международной научно-технической
конференции, посвященной 80-летию
Пензенского государственного университета*

г. Пенза, 24–25 ноября 2023 г.

Все материалы представлены в авторской редакции

Корректор *Е. А. Дергунова*
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*

Подписано в печать 21.11.2023.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 17,8.
Тираж 100. Заказ № 302.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru