

Оригинальная статья / Original article

УДК 004.81

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-201-213>

Совершенствование математических методов обеспечения безопасности на основе анализа видеоряда в реальном времени

М.В. Абрамов ¹, А. В. Аверченков ² ✉

¹ Брянский государственный инженерно-технологический университет
пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск 241037, Российская Федерация

² Институт конструкторско-технологической информатики РАН
Вадковский пер., д. 18, стр. 1А, г. Москва 127005, Российская Федерация

✉ e-mail: mahar@mail.ru

Резюме

Цель исследования. В настоящее время математические методы анализа видеоряда представляют собой структурированную совокупность подходов к распознаванию изображений на основе разности свечения различных областей изображений. Множество данных значений описываются с применением математических зависимостей, однако существующие подходы работают только для стандартных изображений, полученных при обработке видеоданных. Целью настоящего исследования является разработка нового подхода к анализу изображений, полученных, в том числе, с применением терагерцевого излучения, имеющего специфические характеристики, как физические, так и математические.

Методы. В настоящем исследовании применялись следующие теоретические и эмпирические научные методы: анализ (проведен анализ существующих на сегодняшний день известных математических методов обработки изображений с целью распознавания образов); синтез (предложен принципиально новый подход к системам безопасности, представляющий собой единую систему, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем); моделирование (разработана информационная модель системы безопасности на базе СКУД с применением системы анализа и распознавания потенциально опасных предметов на основе видеопотока в реальном времени); математизация (система анализа изображений описана языком математических законов и формул).

Результаты. В результате исследования на основе анализа современных материалов, в перспективе предлагается концепция системы обеспечения безопасности на основе анализа видеоряда в реальном времени с применением перспективных технологий сканирования объектов. В качестве основного новшества предлагается усовершенствованный метод анализа изображений Виолы-Джонса с применением дополнительного множества, характеризующего признаковое пространство объектов в терагерцевом диапазоне излучения.

Заключение. Применение технологий высокочастотного сканирования с интеллектуальными системами распознавания образов объектов в режиме реального времени позволит в существенной мере снизить риски проникновения злоумышленников на охраняемые объекты, а также повысить безопасность граждан при сравнительно малых затратах на разработку и внедрение модернизированных систем безопасности.

Ключевые слова: анализ данных в реальном времени; СКУД; система распознавания образов; искусственный интеллект; терагерцевое излучение; метод Виолы-Джонса; системный анализ; математическое моделирование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Абрамов М.В., Аверченков А. В. Совершенствование математических методов обеспечения безопасности на основе анализа видеоряда в реальном времени // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 201-213. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2024-28-3-201-213](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-201-213).

Поступила в редакцию 04.06.2024

Подписана в печать 19.07.2024

Опубликована 30.09.2024

Improvement of mathematical methods for ensuring security based on real-time video sequence analysis

Maxim V. Abramov¹, Andrey V. Averchenkov² ✉

¹ Bryansk State University
3, ave. S. Dimitrova, Bryansk 241037, Russian Federation

² Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences
18, building. 1A, Vadkovsky Lane, Moscow 127005, Russian Federation

✉ e-mail: mahar@mail.ru

Abstract

Purpose of research. Currently, mathematical methods of video sequence analysis represent a structured set of approaches to image recognition based on the difference in the glow of different image areas. Many of these values are described using mathematical dependencies, however, existing approaches work only for standard images obtained during video data processing. The purpose of this study is to develop a new approach to analyzing images obtained, including those using terahertz radiation, which has specific characteristics, both physical and mathematical.

Methods. The following theoretical and empirical scientific methods were used in this study. Analysis (the analysis of the currently known mathematical methods of image processing in order to recognize images is carried out). Synthesis (a fundamentally new approach to security systems is proposed, which is a single system consisting of separate interconnected subsystems). Modeling (an information model of a security system based on ACS has been developed using a system for analyzing and recognizing potentially dangerous objects based on a real-time video stream). Mathematization (the image analysis system is described in the language of mathematical laws and formulas).

Results. As a result of the research based on the analysis of modern materials, the concept of a security system based on real-time video sequence analysis with the use of advanced object scanning technologies is proposed in the future. As the main innovation, an improved Viola-Jones image analysis method is proposed using an additional set characterizing the feature space of objects in the terahertz radiation range.

Conclusion. The use of high-frequency scanning technologies with intelligent object image recognition systems in real time will significantly reduce the risks of intruders entering protected facilities, as well as increase the safety of citizens with relatively low costs for the development and implementation of upgraded security systems.

Keywords: real-time data analysis; ACS; pattern recognition system; artificial intelligence; terahertz radiation; Viola-Jones method; system analysis; mathematical modeling.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Abramov M. V., Averchenkov A. V. Improvement of mathematical methods for ensuring security based on real-time video sequence analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 201-213 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-201-213>.

Received 04.06.2024

Accepted 19.07.2024

Published 30.09.2024

Введение

Проблема распознавания образов на основе анализа видеоряда в реальном времени известна, имеет актуальность и научную значимость, её решением занимались исследователи в различных научных коллективах. За последние 15 лет предложен ряд оригинальных решений по созданию информационных систем для обработки видеоряда, однако стоит отметить, что на современном этапе развития технических и программных средств эти решения утратили свою актуальность. Также, в настоящее время возникли объективные сложности по ухудшению проблемы безопасности в обществе. В связи с этим возникает необходимость разработки принципиально новых подходов и методов распознавания не только лиц, но и образов, представляющих собой потенциально опасные предметы.

Математические методы анализа видеоряда в настоящее время представляют собой совокупность подходов к распознаванию изображений на основе разности свечения различных областей изображений. Множество данных значений описываются с применением математических зависимостей, однако существующие подходы работают только для стандартных изображений, полученных при обработке видеоданных. Новый подход, предложенный в данной работе, предполагает анализ изображений, по-

лученных, в том числе, с применением терагерцевого излучения, имеющего специфические характеристики, как физические, так и математические. Учет их является одним из важнейших параметров при анализе видеоряда на новых принципах для обеспечения безопасности объектов.

Материалы и методы

В настоящей работе в качестве объекта исследования выбрано обеспечение безопасности образовательных учреждений. Множество негативных примеров доказывает, что меры, принимаемые на сегодняшний день, являются недостаточными и малоэффективными. Видеонаблюдение не обеспечивает в полной мере необходимый уровень безопасности, даже с учетом компиляции с устройствами сканирования и обнаружения металлических предметов. Необходимы принципиально новые методы к подходу обеспечения безопасности, и одним из таких выступает разработка и внедрение новой системы контроля и управления доступом с применением видеокамер, способных не только распознавать образы потенциально опасных предметов, но и проводить сканирование сквозь верхнюю одежду и внутри ручной клади.

Предложенное решение проблемы можно формализовать методом «чёрного ящика» (рис. 1).



Рис. 1. Формализация задачи методом черного ящика

Fig. 1. Formalization of the task by the black box method

Входные параметры описываются следующим множеством:

$$Vin = \langle Res, Chas, BitR, BitK, SumPix, VidCom, Dp, XAP \rangle, \quad (1)$$

где *Res* – Экранное разрешение (Resolution) – количество точек (пикселей) по горизонтали и вертикали, из которых состоит изображение (видеокадр) на экране. [1, с. 42] Для решения поставленной задачи необходимо разрешение не менее 1920x1080 точек. От данного параметра напрямую зависит качество распознавания данных. $Res = f(Pt)$;

Chas – Частота кадров – величина, указывающая на то, какое количество

кадров сменяется за секунду¹. Стандартной скоростью воспроизведения видеосигнала 30 кадров/с;

BitR – Битрейт (ширина видеопотока) – показатель количества обрабатываемых бит видеоинформации за одну секунду времени. Для решения поставленной задачи необходим битрейт не менее 5 Мбит/с.

BitK – число битов в кадре.

SumPix – количество пикселей в кадре для каждой цветностной компоненты;

¹ Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // ArXiv: 1505.04597.

VidCom – формат видеокомпрессии;

Dp – диапазон терагерцевого излучения, исходящего от объекта. Максимально допустимый диапазон частот – Гц, диапазон длин волн – 3 – 0,03 мм. соответственно. $Dp = 10^{11} \dots 10^{13}$ Гц;

$XAP = \frac{\Delta A}{\Delta I}(t)$ – диапазон частот терагерцевого излучения, определенный для наблюдений.

Стоит отметить, что последний указанный параметр задается отношением по причине неопределенности терагерцевого (ТГц, T-ray) диапазона. Достоверно установлен факт расположения ТГц на шкале электромагнитных излучений в диапазоне от микроволнового до инфракрасного излучения.

Необходимо подчеркнуть, что данный параметр является определяющим для организации всей системы безопасности, предлагаемой к разработке и внедрению.

Набор сигналов для принятия решений зададим множеством:

$$NSout = \langle Q(m, n), Us, PP \rangle, \quad (2)$$

где $PP = \langle (m_1, n_1; m_2, n_2; \dots m_n, n_n) \rangle$ – совокупность значений точек, формирующих результирующее изображение объекта;

$Q(m, n)$ – значение точки интегрального изображения, проанализированного нейронной сетью;

Us – управляющий сигнал на контроллер запорных механизмов.

Терагерцевое излучение в данной работе будем понимать как электромагнитное излучение, спектр частот которого расположен между инфракрасным

и микроволновым диапазонами. Включает в себя электромагнитные волны определяемого МСЭ диапазона частот 0,3 – 3 ТГц, хотя верхняя граница для терагерцевого излучения несколько условна и в некоторых источниках считается 30 ТГц. Определяемый МСЭ диапазон частот соответствует диапазону децимиллиметровых волн, 1 – 0,1 мм. Такое же определение диапазону волн даёт ГОСТ 24375-80 и относит эти волны к диапазону гипервысоких частот¹.

«Устройство работает по принципу «разные объекты светятся с разной яркостью», значит при расчете в зависимости от материала, из которого объект сделан. Таким образом, взрывоопасные и иные потенциально-опасные предметы могут быть отличны от иных. Прибор позволяет «смотреть» через ткань, керамику и даже дерево. Вода и металл являются экранами, не позволяющими просматривать сквозь них².

Непосредственное распознавание образов потенциально-опасных объектов будет осуществляться в работе посредством свёрточной нейронной сети по усовершенствованному методу Виолы-Джонса.

При наблюдении объекта под сравнительно малым углом (около 30°) указанный метод обнаруживает черты лица и хорошо работает [2, с. 12]. Однако в случае увеличении угла наклона свыше

¹ ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения. М., 1980. С. 54.

² Kalchbrenner N., Danihelka I., Graves A. Grid Long Short-Term Memory // ArXiv: 1507.01526, с.8.

30° необходимо отметить, что вероятность распознавания в образе лица резко снижается [3, с. 123].

Данная особенность метода в базовой реализации не позволяет детектировать лицо человека, развернутое под произвольным углом, что в свою очередь значительно затрудняет и практически делает невозможным использование настоящего алгоритма в современных системах, особенно учитывая постоянно растущие потребности оных.

Для того, чтобы рассчитать яркость прямоугольного участка изображения, используют интегральное представление [4, с. 211]. Такое представление используется часто и в других методах, например, в вейвлет-преобразованиях, Speeded up robust feature (SURF), фильтрах Хаара и многих разработанных алгоритмах [5, с. 122]. Интегральное представление позволяет быстро рассчитывать суммарную яркость произвольного прямоугольника на данном изображении, причем время расчета не зависит от площади прямоугольника [6, с.32].

Интегральное представление изображения есть ничто иное как матрица, совпадающая по размерам с исходным базовым изображением [7, с. 143]. В каждом элементе матрицы определяется сумма интенсивностей всех ее составных элементов (пикселей), расположенных выше и левее заданного элемента. [8, с. 56] Элементы матрицы рассчитываются по следующей формуле

$$Q(m,n) = \sum_{m' \leq m, n' \leq n} q(m',n'), \quad (3)$$

где $Q(m,n)$ – значение точки (m,n) интегрального изображения;

$q(m,n)$ – значение интенсивности исходного изображения.

Таким образом, исходя из того, что ключевым определяющим фактором для настоящего исследования является то, что на базе применения данного метода, а именно метода применения интегрального представления изображения вычисление равновидовых признаков с разными геометрическими параметрами осуществляется за равный интервал времени, можно однозначно указать на эффективность названного метода.

Каждый отдельный элемент матрицы $Q(m,n)$ есть ни что иное как сумма пикселей в прямоугольнике от $q(0,0)$ до $q(m,n)$ [9, с. 80] Таким образом значение каждого элемента $Q(m,n)$ представляет собой сумму значений пикселей левее и выше определённого пикселя $q(m,n)$. [10, с. 142] Расчет матрицы занимает линейное время, пропорциональное числу пикселей в изображении, и его можно производить по следующей формуле:

$$Q(m,n) = q(m,n) - Q(m-1,n-1) + Q(m,n-1) + Q(m-1,n). \quad (4)$$

Интегральное представление содержит в себе немаловажную особенность. По интегральной матрице можно значительно быстрее определить сумму пикселей произвольного прямоугольника, что в свою очередь особенно важно для систем, работающих с потоком данных в режиме реального времени [11, с. 76].

С точки зрения необходимости использования наиболее производительных алгоритмов получения признаков, перспективным является использование Хаар-подобных характеристик, представляющих собой результат сравнения яркостей в двух прямоугольных областях изображения [12, с.57].

Определим, что задано некоторое множество объектов R и множество допустимых объектов S . Пусть $g:S \rightarrow R$ определяется как решающая функция. Настоящая функция g обязана допускать непосредственную эффективную реализацию с помощью компьютерной системы, вследствие чего она определяется как алгоритм. Признак (feature) f объекта r – отображение $f:R \rightarrow Df$, где Df – множество допустимых значений признака. А именно, некоторый алгоритм $g:S \rightarrow R$ тоже можно рассматривать как признак. При условии, что будет определён набор признаков $f_1, \dots, f_n$, то вектор $x=(f_1(r), \dots, f_n(r))$ обозначается как признаковое описание объекта $r \in R$. Непосредственно с самими объектами вполне допустимо отождествлять признаковые описания.

Однако при этом, при задании признакового пространства $R=Df_1 \times \dots \times Df_n$ стандартный метод учитывает интенсивность только стандартного видеосигнала. В связи с этим целесообразно ввести дополнительное множество $R'=Df_1' \times \dots \times Df_n'$, характеризующее признаковое пространство объектов в терагерцевом диапазоне излучения. Сово-

купность анализа двух признаковых множеств позволит в существенной мере повысить точность распознавания потенциально опасных объектов.

Таким образом результирующее признаковое пространство R_{RES} рассчитывается по формуле

$$R_{RES} = \sum Df_1 \times \dots \times Df_n + Df_1' \times \dots \times Df_n'. \quad (5)$$

Исходя из вышеизложенного, разработана принципиально новая схема обеспечения безопасности с использованием технологии T-ray и интеллектуальной системы распознавания образов потенциально опасных предметов, что, в свою очередь, позволит проводить анализ видеопотока в реальном времени и избавит от необходимости присутствия оператора. Схема решения представлена на рис. 2.

В соответствии с предлагаемой схемой человек, попадающий в поле зрения высокочастотного излучателя, становится объектом изучения. Формируемое изображение попадает в интеллектуальную систему распознавания образов, работающую на технологии свёрточной нейронной сети, на основе работы которой принимается решение о допуске или не допуске без дополнительной проверки человека на охраняемый объект. В случае обнаружения образа потенциально опасного объекта, система подает тревожный сигнал и блокирует доступ в помещение в автоматическом режиме. Схема развёртывания системы на базе учреждения представлена на рис. 3.

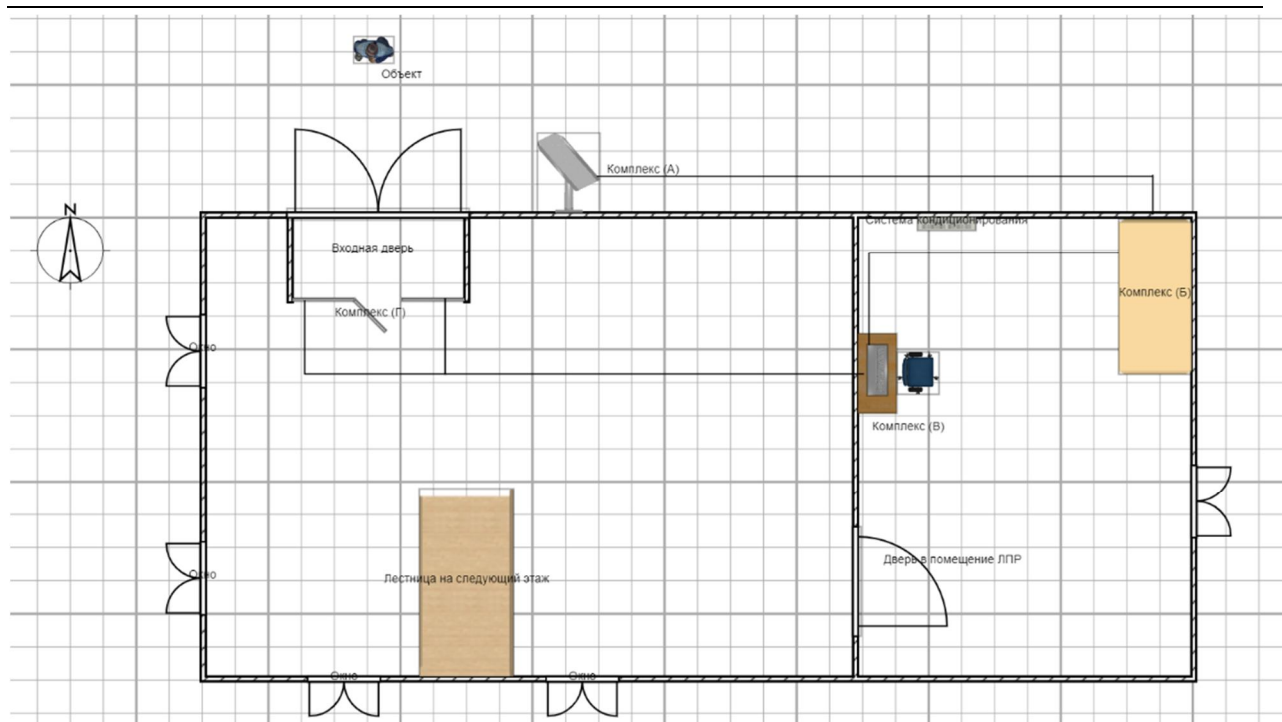


Рис. 2. Схема предлагаемого решения обеспечения безопасности: **А** – видеокамера с высоким разрешением и электромагнитным излучателем в диапазоне частот, определяемого МСЭ 0,3—3 ТГц, концептуальный аналог технологии T-ray; **Б** – сервер с базой данных образов потенциально опасных предметов; **В** – рабочая станция с интеллектуальной системой распознавания образов и анализа видеоряда в режиме реального времени, а также системой подачи тревожного сигнала; **Г** – автоматическая система блокировки доступа на охраняемый объект

Fig. 2. Scheme of the proposed security solution **A** – a high—resolution video camera and an electromagnetic emitter in the frequency range determined by ITU 0.3-3 THz, a conceptual analogue of T-ray technology; **Б** – a server with a database of images of potentially dangerous objects; **В** – a workstation with an intelligent image recognition and video sequence analysis system in real-time mode, as well as an alarm system; **Г** – an automatic system for blocking access to a protected object

Применение технологии свёрточной нейронной сети (CNN) обусловлено следующим:

1. CNN имеет возможность распознавать объекты на изображении независимо от их местоположения, что особенно актуально при анализе видеопотока в режиме реального времени, так как в данном случае объекты не статичны, а постоянно перемещаются в пространстве [2, с. 19].

2. Заданный на старте набор входных параметров применяется для всех частей входного изображения, что в свою очередь позволяет CNN быть более компактной и эффективной [13, с. 135].

3. Иерархические представления, используемые в CNN, позволяют моделировать сложные структуры данных, что особенно актуально при проектировании сложной многоуровневой системы обеспечения безопасности.

циально опасные для наблюдателя, могут быть скрыты от указанных устройств. При условии учета предлагаемого в работе усовершенствования метода анализа объектов и применении предложенной системы безопасности представляется возможным вывести на сравнительно новый качественный уровень обеспечение безопасности граждан в целом.

Выводы

В качестве вывода стоит отметить, что проблема повышения уровня безопасности граждан имеет новые решения через разработку метода выявления потенциально опасных предметов на основе анализа видеоряда в реальном времени с применением технологии терагерцевого излучения. В работе пред-

ложена схема развёртывания указанной системы, а также предложено введение дополнительного множества, характеризующего признаковое пространство объектов в терагерцевом диапазоне излучения, тем самым позволяющее усовершенствовать математический метод анализа изображений Виолы-Джонса.

Применение технологий высокочастотного сканирования с интеллектуальными системами распознавания образов объектов в режиме реального времени позволит в существенной мере снизить риски проникновения злоумышленников на охраняемые объекты, а также повысить безопасность граждан при сравнительно малых затратах на разработку и внедрение модернизированных систем безопасности.

Список литературы

1. Tiwari S., Singh A., Shukla V. Statistical moments based noise classification using feed forward back propagation neural network // Int. J. of Computer Applications. 2011. Vol. 18, № 2. P. 36-40.
2. Нейрокомпьютеры. От программной к аппаратной реализации / М. А. Аляутдинов, А. И. Галушкин, П. А. Казанцев, Г. П. Остапенко. М., 2016. 152 с.
3. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 2016. 458 с.
4. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор при многих критериях. М.: Academia, 2015. 224 с.
5. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, Вейвлет-преобразования и метода главных компонент // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 319, № 6. С. 54–59.
6. Khan H, Yener B. Learning Filter Widths of Spectral Decompositions with Wavelets// Proc. of the NIPS Conf. 2018. P. 4601–4612.

7. Никитин А. А., Лиманова Н. И. Процесс распознавания изображения нейронной сетью // Молодой ученый. 2020. № 47 (337). С. 23-25.
8. Рекурсивный алгоритм формирования структурированных множеств информационных блоков для повышения скорости выполнения процедур определения их источника / М.О. Таныгин, Х.Я.А. Алшаиа, В.П. Добрица, О.Г. Добросердов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 2. С. 51-64. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-51-64>.
9. Трофимова Е. А., Плотников С. В., Гилев Д. В. Математические методы анализа / под общ. ред. Е. А. Трофимовой. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. 272 с.
10. Конарев Д. И., Гуламов А. А. Синтез архитектуры нейронной сети для распознавания образов морских судов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(1): 130-143. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-130-143>.
11. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ. М.: Дашков и К, 2013. 644 с.
12. Numerical Removal of Water-Vapor Effects from Hz-TDS Measurements: Withawat Withayachumnankul, Bernd M. Fischer, Samuel P. Mickan, Member, IEEE, and Derek Abbott, Fellow, IEEE; Oct, 2007.
13. Архипов А. Е. Фильтрация сложных сигналов на основе двухуровневой нечетко-логической модели // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023. Т. 27, № 2. С. 140-154. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-140-154>.
14. T-Ray Imaging: Daniel M. Mittleman, Rune H. Jacobsen, and Martin C. Nuss, Member // IEEE; IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS. September 1996. Vol. 2, № 3.
15. Агафонов В.А. Системный анализ в стратегическом управлении. М.: Русайнс, 2016. 48 с.
16. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование: в 3 ч. Люберцы: Юрайт, 2016. Ч. 1. 211 с.
17. Способ реализации адаптации робота к изменениям режима контактного взаимодействия с использованием глубоких полносвязных нейронных сетей / С.И. Савин, Л.Ю. Ворочаева, А.В. Мальчиков, А.М. Салихзянов, Э.М. Заляев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(1): 206-214. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-206-214>.

References

1. Tiwari S., Singh A., Shukla V. Statistical moments based noise classification using feed forward back propagation neural network. *Int. J. of Computer Applications*. 2011; 18 (2): 36-40.

2. Alyautdinov M. A., Galushkin A. I., Kazantsev P. A., Ostapenko G. P. Neurocomputers. From software to hardware implementation. Moscow; 2016. 152 p. (In Russ.)
3. Bellman R., Dreyfus S. Applied problems of dynamic programming. Moscow: Nauka; 2016. 458 p. (In Russ.)
4. Brodetsky G.L. System analysis in logistics. The choice under many criteria. Moscow: Academia; 2015. 224 p. (In Russ.)
5. Bui Thi Thu Chang, Phan Ngoc Hoang, Spitsyn V.G. Face recognition based on the Viola–Jones method. Wavelet transform and principal component method. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. 2012; 319(6): 54-59 (In Russ.)
6. Khan H., Yener B. Learning Filter Widths of Spectral Decompositions with Wavelets. *Proc. of the NIPS Conf*. 2018: 4601-4612.
7. Nikitin A. A., Limanova N. I. The process of image recognition by a neural network. Text: direct. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*, 2020; (47): 23-25. (In Russ.)
8. Tanygin M. O., Alshaea H. Y. A., Dobritsa V. P., Dobroserdov O. G. Recursive Algorithm for Forming Structured Sets of Information Blocks to Increase the Speed of Their Source Determination Procedures. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(2): 51-64 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-2-51-64>.
9. Trofimova E. A., Plotnikov S. V., Gilev D. V. Mathematical methods of analysis. Yekaterinburg: Ural University Press; 2015. 272 p. (In Russ.)
10. Konarev D. I., Gulamov A. A. Synthesis of Neural Network Architecture for Recognition of Sea-Going Ship Images. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(1): 130-143 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-130-143>
11. Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A. Theory of systems and system analysis. Moscow: Dashkov and K; 2013. 644 p. (In Russ.)
12. Numerical Removal of Water-Vapor Effects from Hz-TDS Measurements: Withawat Withayachumnankul, Bernd M. Fischer, Samuel P. Mickan, Member, IEEE, and Derek Abbott, Fellow, IEEE; Oct, 2007.
13. Arkhipov A. E. Filtering of complex signals based on a two-level fuzzy-logic model. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 27(2): 140-154 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-140-154>.
14. T-Ray Imaging: Daniel M. Mittleman, Rune H. Jacobsen, and Martin C. Nuss, Member. *IEEE; IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS*. September 1996; 2 (3).

15. Agafonov V.A. System analysis in strategic management. Moscow: Rusains; 2016. 48 p. (In Russ.)
16. Belov P.G. Risk management, system analysis and modeling]. Lyubertsy: Yurait; 2016. Part 1. 211 p. (In Russ.)
17. Savin S.I., Vorochaeva L.Yu., Malchikov A. V., Salikhzyanov A.M., Zalyaev E.M. Implementation Method of the Robot Adaptation to Contact Interaction Mode Changes Using Deep Fully Connected Neural Networks. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(1): 206-214 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-206-214>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Абрамов Максим Витальевич, Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Российская Федерация, e-mail: brusnikin1994@gmail.com

Maxim V. Abramov, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russian Federation, e-mail: brusnikin1994@gmail.com

Аверченков Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник, Институт конструкторско-технологической информатики РАН, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: mahar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0196-1332>

Andrey V. Averchenkov, Leading Researcher, Institute of Design and Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, e-mail: mahar@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0196-1332>