

**Комбинирование систем распознавания и отслеживания аномальных объектов
в телекоммуникационных системах**

Д.А. Крюкова, С.Д. Шибайкин, В.В. Никулин, С.Р. Байбикова, Н.О. Сурков, В.Ю. Козьяйкин
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва,
430005, г.Саранск, Большевистская ул., 68, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является интеграция алгоритмов YOLO и CSRT для автоматизированного распознавания и отслеживания объектов в видеопотоке. Акцентируется внимание на проблемах, связанных с растущим объемом видеоданных и необходимостью эффективной идентификации аномальных объектов в системах осуществляющих контроль безопасности. **Метод.** Исследование основано на методах имитационного компьютерного моделирования и алгоритмах. **Результат.** Определены ключевые особенности каждого алгоритма, их преимущества и недостатки. Представлены результаты экспериментальных тестов, основанных на анализе видеопотоков с разнообразными сценариями движения объектов, которые показывают сокращение времени обработки кадров при высокой точности распознавания. Доказана возможность дальнейшего улучшения системы автоматизированного распознавания и отслеживания, в частности, добавление функции прогнозирования движения объектов, что позволит повысить её эффективность и расширить область применения в задачах видеонаблюдения и безопасности. **Вывод.** Интеграция алгоритмов позволяет достигать значительных улучшений в реальном времени, что особенно важно в контексте видеонаблюдения и обеспечения безопасности. Добавление функции прогнозирования движения объектов не только увеличит функциональность системы, но и сделает её более адаптивной к динамичным условиям, что крайне важно для предотвращения потенциальных угроз.

Ключевые слова: компьютерное зрение; видеонаблюдение; алгоритм распознавания; алгоритм отслеживания; YOLO; CSRT; прогнозирование

Для цитирования: Д.А. Крюкова, С.Д. Шибайкин, В.В. Никулин, С.Р. Байбикова, Н.О. Сурков, В.Ю. Козьяйкин. Комбинирование систем распознавания и отслеживания аномальных объектов в телекоммуникационных системах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(2):116-121. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-116-121

Combination of systems for recognition and tracking of anomalous objects in telecommunication systems

D.A. Kryukova, S.D. Shibaikin, V.V. Nikulin, S.R. Baibikova, N.O. Surkov, V. Yu. Kozyaykin
N.P. Ogarev National Research Mordovian State University,
68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to integrate the YOLO and CSRT algorithms for automated recognition and tracking of objects in a video stream. The focus is on the problems associated with the growing volume of video data and the need for efficient identification of anomalous objects in security control systems. **Method.** The study is based on computer simulation methods and algorithms. **Result.** The key features of each algorithm, their advantages and disadvantages are defined. The results of experimental tests based on the analysis of video streams with various scenarios of object movement are presented, which show a reduction in frame processing time with high recognition accuracy. The possibility of further improvement of the automated

recognition and tracking system is proven, in particular, adding the function of predicting the movement of objects, which will increase its efficiency and expand the scope of application in video surveillance and security tasks. **Conclusion.** Integration of algorithms allows achieving significant improvements in real time, which is especially important in the context of video surveillance and security. Adding the function of predicting the movement of objects will not only increase the functionality of the system, but also make it more adaptive to dynamic conditions, which is extremely important for preventing potential threats.

Keywords: computer vision; video surveillance; recognition algorithm; tracking algorithm; YOLO; CSRT; forecasting

For citation: D.A. Kryukova, S.D. Shibaikin, V.V. Nikulin, S.R. Baibikova, N.O. Surkov, V.Yu. Kozyaykin. Combination of systems for recognition and tracking of anomalous objects in telecommunication systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(2):116-121. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-2-116-121

Введение. С увеличением объема видеоданных и расширением сфер их применения растет потребность в эффективных методах автоматического распознавания и отслеживания объектов в реальном времени. Возможности человека ограничены при необходимости одновременного контроля множества видеокамер с целью обеспечения безопасности. В таких условиях на первый план выходят автоматизированные системы, способные ускорить процесс мониторинга и обеспечить идентификацию аномальных объектов.

Постановка задачи. Разработка и внедрение таких автоматизированных систем становится сегодня актуальной задачей. Эти системы могут быть внедрены в различные области, такие как контроль безопасности на транспортных узлах (аэропорты, вокзалы), городское видеонаблюдение и периметровая защита критически важных объектов. Внедрение таких технологий позволяет оперативно реагировать на угрозы и обеспечивать высокий уровень безопасности.

Методы исследования. Для разработки системы автоматизированного распознавания и отслеживания объектов были выбраны два алгоритма: алгоритм обнаружения объектов на изображении YOLO (далее YOLO) [1] и алгоритм детектирования CSRT (далее CSRT) [2]. При выборе алгоритма распознавания также рассматривался MobileNet SSD [3], однако предпочтение было отдано YOLO. Особенность алгоритма YOLO заключается в том, что вместо многократного сканирования отдельных областей изображения, как это происходит в большинстве подходов, основанных на свёрточных нейронных сетях (CNN), YOLO анализирует изображение целиком за один проход.

Сравнивая с MobileNet SSD, следует отметить, что алгоритм оптимизирован для работы на мобильных устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами и демонстрирует хорошую производительность при задачах классификации, но его архитектура менее эффективна для обнаружения объектов в реальном времени. YOLO достигает точности 57,9 % (mAP@0.5), в то время как MobileNet SSD – лишь 22,2 % (mAP@0.5). Хотя YOLO обрабатывает меньшее количество кадров в секунду, чем MobileNet SSD, алгоритм значительно превосходит его по точности. Это делает YOLO более предпочтительным для задач, где важна высокая точность распознавания объектов. Кроме того, YOLO позволяет распознавать несколько объектов одновременно, что делает его более подходящим для поставленных задач.

Алгоритм отслеживания CSRT (Channel and Spatial Reliability Tracker) в ходе исследования сравнивался с другими алгоритмами библиотеки OpenCV, такими как KCF, TLD, MIL, Boosting и Median [4], что подтвердило его преимущества в высокой точности и устойчивости при отслеживании объектов, особенно в условиях частичной окклюзии или полного перекрытия объекта. CSRT способен сохранять стабильность при изменении положения или масштаба объекта, что делает его надежным инструментом при долгосрочном трекинге объектов, особенно когда объекты могут исчезать из поля зрения камеры и снова появляться [5]. Для наглядного сравнения эффективности алгоритмов был составлен график

обработки кадров (рис. 1), на котором представлены результаты работы алгоритмов распознавания и отслеживания [6]. Данные на графике демонстрируют время обработки каждого алгоритма, что позволяет визуальнo оценить их производительность.

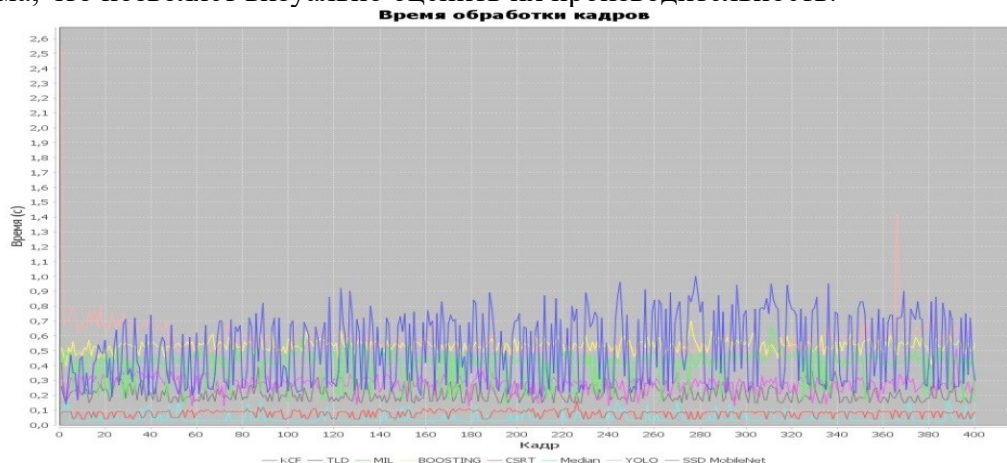


Рис. 1 – График сравнительного анализа обработки кадров алгоритмов распознавания и детектирования

Fig. 1 – Graph of comparative analysis of frame processing of recognition and detection algorithms

Интеграция алгоритмов YOLO и CSRT направлена на создание системы, которая минимизирует задержки в процессе обнаружения и отслеживания объектов [7]. Использование YOLO как отдельного алгоритма приводит к более длительному времени обработки, особенно при динамическом видеопотоке. Однако при его сочетании с CSRT общая эффективность системы значительно повышается. В ходе работы системы YOLO отвечает за начальное выявление объекта в кадре, после чего CSRT выполняет его отслеживание [8]. Такой подход исключает необходимость постоянного обращения к YOLO для уточнения положения объекта, что, в свою очередь, сокращает время отклика и снижает нагрузку на вычислительные ресурсы. Интеграция данных алгоритмов не только ускоряет обработку данных, но и делает отслеживание более точным и стабильным. На графике (рис. 2) наглядно видно, что YOLO требует больше времени на обработку кадров по сравнению с CSRT.

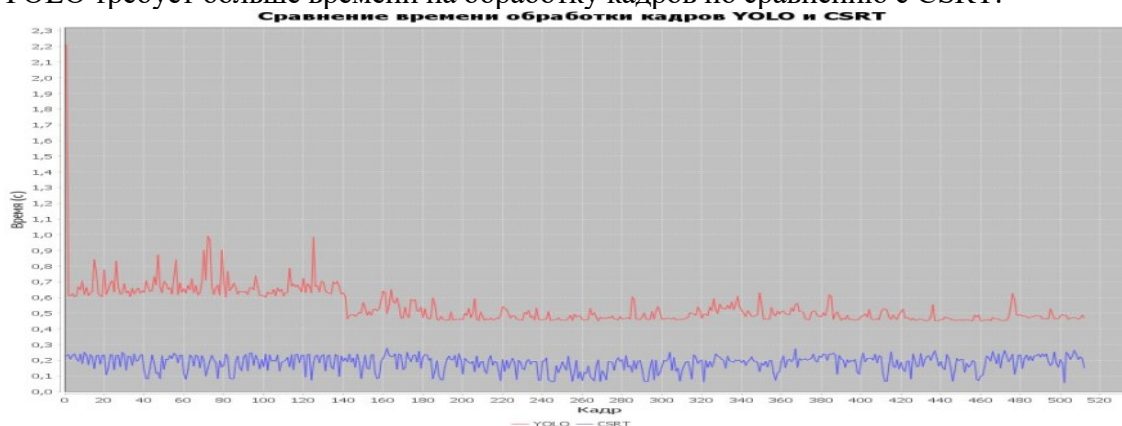


Рис. 2 – График сравнительного анализа обработки кадров алгоритмов YOLO и CSRT

Fig. 2 – Graph of comparative analysis of frame processing of YOLO and CSRT algorithms

Комбинированное использование позволяет системе эффективно использовать преимущества каждого из алгоритмов: YOLO – для первоначального обнаружения, а более быстрого CSRT – для дальнейшего отслеживания, что сокращает общее время отклика системы.

Обсуждение результатов. Для оценки эффективности интегрированной системы была проведена экспериментальная проверка на подготовленном датасете (рис. 3), в ходе которой анализировался видеопоток с разнообразными сценариями движения объекта.

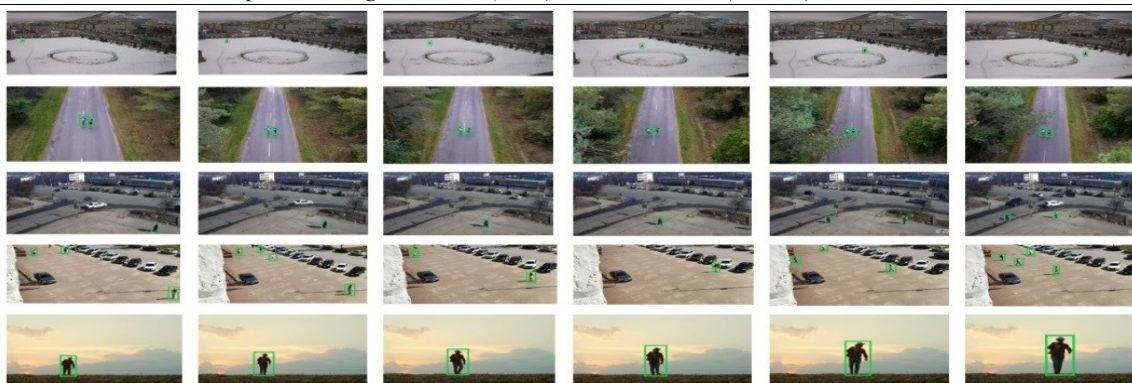


Рис. 3 – Датасет для экспериментальной проверки

Fig. 3 – Dataset for experimental testing

В ходе эксперимента было зафиксировано среднее время обработки кадров для системы с использованием алгоритма YOLO в комбинации с CSRT [9]. Результаты показали, что среднее время обработки одного кадра составило примерно 45 миллисекунд, что обеспечивает возможность обработки до 22 кадров в секунду. В сравнении с использованием только YOLO, где среднее время обработки достигало 70 миллисекунд на кадр, интеграция с CSRT позволила существенно сократить задержки, что важно для задач реального времени. Интегрированная система, которая включает в себя функции определения объектов и их отслеживания, имеет значительный потенциал для дальнейшего улучшения [10]. Одной из ключевых возможностей является добавление функции прогнозирования движения объектов. Это позволит системе не только идентифицировать и отслеживать объекты, но и предсказывать их возможные направления движения.

С использованием алгоритмов машинного обучения и статистических методов, система сможет анализировать предыдущие траектории объектов и на основе полученных данных предсказывать их вероятное поведение в будущем [11]. Например, если человек (рис. 4) или транспортное средство (рис. 5) движется в определённом направлении, система будет способна заранее указывать возможные траектории, что может быть крайне полезно в ситуациях, требующих оперативного реагирования.



Рис. 4 – Прогнозирование движения человека

Fig. 4 – Predicting human movement

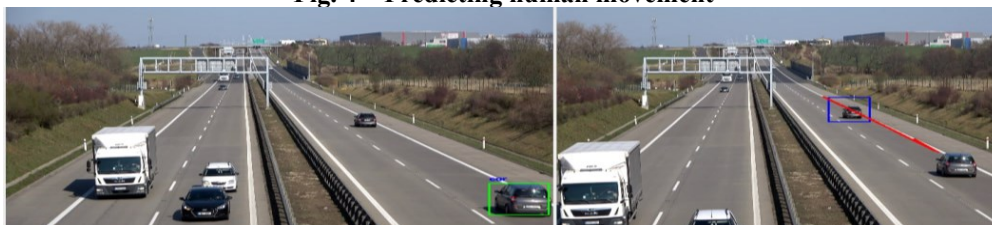


Рис. 5 – Прогнозирование движения транспортного средства

Fig. 5 – Vehicle movement prediction

Вывод. В данной работе представлена интеграция алгоритмов YOLO и CSRT для создания эффективной системы автоматизированного распознавания и отслеживания аномальных объектов в видеопотоке. Экспериментальные результаты подтвердили, что интеграция позволяет достигать значительных улучшений в реальном времени, что особенно важно в контексте видеонаблюдения и обеспечения безопасности. Предложенный подход

открывает новые перспективы для дальнейшего развития системы, включая возможность добавления модуля прогнозирования движения объектов. Это дополнение не только увеличивает функциональность системы, но и делает её более адаптивной к динамичным условиям, что крайне важно для предотвращения потенциальных угроз.

Результаты исследования подчеркивают важность использования комбинированных методов в области компьютерного зрения. Дальнейшие разработки в этом направлении могут привести к созданию более совершенных и надежных систем мониторинга.

Библиографический список:

1. URL:www.researchgate.net/publication/376777967_Pepper_Target_Recognition_and_Detection_Based_on_Improved_YOLO_v4. Tan, Zhiyuan & Chen, Bin & Sun, Liying & Xu, Huimin & Zhang, Kun & Chen, Feng. Pepper Target Recognition and Detection Based on Improved YOLO v4. // Information Technology and Control, 2023, № 12.
2. Farhadov, Xurshedjon & Lee, Suk-Hwan & Kwon, Ki-Ryong. Object Tracking using CSRT Tracker and RCNN// 7th International Conference on Bioimaging. 2020. 209-212.
3. Islam, Shahab & Ferraioli, Giampaolo & Pascasio, Vito & Vitale, Sergio & Amin, Muhammad. Performance Analysis of YOLOv3, YOLOv4 and MobileNet SSD for Real Time Object Detection // ResearchGate, 2024, № 6. – URL: www.researchgate.net/publication/381851712_Performance_Analysis_of_YOLOv3_YOLOv4_and_MobileNet_SSD_for_Real_Time_Object_Detection. 37-49.
4. Fang, Cheng & Huang, Jun duan & Cuan, Kaixuan & Zhang, Xiaolin & Zhang, Tiemin. Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network. // Biosystems Engineering, 2020. – URL: www.sci-hub.ru/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.002 .
5. Шибайкин, С.Д. Проблемы построения оптического потока динамических изображений / С.Д. Шибайкин // Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем : Материалы III международной научно-практической конференции, посвящённой 110-летию со дня рождения академика Н. А. Пилюгина, Елец, 03–05 июня 2019 года. Том Часть I. – Елец: Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2019. – С. 81-88.
6. Guan, X. & Song, B. & Li, Z.. Comparison of the CSRT and the CST parameterization methods. Kongqi Donglixue Xuebao // Acta Aerodynamica Sinica. 32. 2014. 228-234.
7. Geng, Lei & Yang, Wenzhu & Jiao, Yanyan & Zeng, Shuang & Chen, Xinting. A multilayer human motion prediction perceptron by aggregating repetitive motion. // Machine Vision and Applications. 2023. 34.
8. Шибайкин С.Д., Д.А. Крюкова, Д.А. Балыков, М.И. Шепелев, О.Е. Шумаров Исследование применения алгоритмов трекинга для определения и прогнозирования девиантного поведения // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. №12. С. 635 - 638.
9. Mohit Phadtare, Varad Choudhari, Rushal Pedram and Sohan Vartak. Comparison between YOLO and SSD Mobile Net for Object Detection in a Surveillance Drone // IJSREM, 2021. – URL: www.researchgate.net/publication/355336797_Comparison_between_YOLO_and_SSD_MobileNet_for_Object_Detection_in_a_Surveillance_Drone.
10. www.researchgate.net/publication/344247798_Single_Object_Trackers_in_OpenCV_A_Benchmark.Adnan Brdjanin, Amila Akagic, Džemil Džigal, Nadja Dardagan. Single Object Trackers in OpenCV: A Benchmark // ResearchGate, 2020.
11. www.researchgate.net/publication/355222855_Multiple_Object_Trackers_in_OpenCV_A_Benchmark.Nadja Dardagan, Adnan Brdjanin, Džemil Džigal, Amila Akagic. Multiple Object Trackers in OpenCV: A Benchmark // ResearchGate, 2021.

References:

1. URL:www.researchgate.net/publication/376777967_Pepper_Target_Recognition_and_Detection_Based_on_Improved_YOLO_v4. Tan, Zhiyuan & Chen, Bin & Sun, Liying & Xu, Huimin & Zhang, Kun & Chen, Feng. Pepper Target Recognition and Detection Based on Improved YOLO v4. Information Technology and Control, 2023;12.
2. Farhadov, Xurshedjon & Lee, Suk-Hwan & Kwon, Ki-Ryong. Object Tracking using CSRT Tracker and RCNN. 7th International Conference on Bioimaging. 2020:209-212.
3. Islam, Shahab & Ferraioli, Giampaolo & Pascasio, Vito & Vitale, Sergio & Amin, Muhammad. Performance Analysis of YOLOv3, YOLOv4 and MobileNet SSD for Real Time Object Detection // ResearchGate, 2024, № 6. – URL: www.researchgate.net/publication/381851712_Performance_Analysis_of_YOLOv3_YOLOv4_and_MobileNet_SSD_for_Real_Time_Object_Detection. 37-49.
4. Fang, Cheng & Huang, Jun duan & Cuan, Kaixuan & Zhang, Xiaolin & Zhang, Tiemin. Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network. // Biosystems Engineering, 2020. – URL: www.sci-hub.ru/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.002 .
5. Shibaikin, S. D. Problems of constructing an optical flow of dynamic images / S. D. Shibaikin // Fundamental and applied problems of safety, survivability, reliability, stability and efficiency of systems: Proceedings of the III international scientific and practical conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of

- academician N.A. Pilyugin, Yelets, June 03–05, 2019. Volume Part I. – Yelets: Yelets State University named after I.A. Bunin, 2019:81-88 (In Russ)
6. Guan, X. & Song, B. & Li, Z.. Comparison of the CSRT and the CST parameterization methods. Kongqi Donglixue Xuebao. *Acta Aerodynamica Sinica*. 2014;32:228-234.
 7. Geng, Lei & Yang, Wenzhu & Jiao, Yanyan & Zeng, Shuang & Chen, Xinting. A multilayer human motion prediction perceptron by aggregating repetitive motion. // Machine Vision and Applications. 2023. 34.
 8. Shibaikin S.D., D. A. Kryukova, D. A. Balykov, M. I. Shepelev, O. E. Shumarov Study of the application of tracking algorithms for determining and predicting deviant behavior. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2023;12:635 - 638. (In Russ)
 9. Mohit Phadtare, Varad Choudhari, Rushal Pedram and Sohan Vartak. Comparison between YOLO and SSD Mobile Net for Object Detection in a Surveillance Drone//IJSREM, 2021. – URL: www.researchgate.net/publication/355336797_Comparison_between_YOLO_and_SSD_MobileNet_for_Object_Detection_in_a_Surveillance_Drone.
 10. www.researchgate.net/publication/344247798_Single_Object Trackers_in_OpenCV_A_Benchmark.Adnan Brdjanin, Amila Akagic, Džemil Džigal, Nadja Dardagan. Single Object Trackers in OpenCV: A Benchmark // ResearchGate, 2020.
 11. www.researchgate.net/publication/355222855_Multiple_Object Trackers_in_OpenCV_A_Benchmark.Nadja Dardagan, Adnan Brdjanin, Džemil Džigal, Amila Akagic. Multiple Object Trackers in OpenCV: A Benchmark // ResearchGate, 2021.

Сведения об авторах:

Дарья Андреевна Крюкова, магистрант, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи; darya.kryukova.2302@mail.ru

Сергей Дмитриевич Шибайкин, кандидат технических наук, доцент, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи; shibaikinsd@mail.ru

Владимир Валерьевич Никулин, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий и систем связи; nikulinvv@mail.ru

Сабина Робертовна Байбикова, магистрант, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи; sabina.baibikova@yandex.ru

Никита Олегович Сурков, магистрант, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи; nekitsur@mail.ru

Владислав Юрьевич Козыайкин, магистрант, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи; kozyaykin@yandex.ru

Information about authors:

Daria A. Kryukova, Master's student, Department Infocommunication Technologies and Communication Systems; darya.kryukova.2302@mail.ru

Sergei D. Shibaikin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department Infocommunication Technologies and Communication Systems; shibaikinsd@mail.ru

Vladimir.V. Nikulin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Head of the Department of Infocommunication Technologies and Communication Systems; nikulinvv@mail.ru

Sabina R. Baibikova, Master's student, Department Infocommunication Technologies and Communication Systems; sabina.baibikova@yandex.ru

Nikita O. Surkov, Master's student, Department Infocommunication Technologies and Communication Systems; nekitsur@mail.ru

Vladislav Yu. Kozyaykin, Master's student, Department Infocommunication Technologies and Communication Systems; kozyaykin@yandex.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 19.11.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised 12.01.2025.

Принята в печать /Accepted for publication 10.04.2025.