

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ТЕХНИЧЕСКИМ ЗРЕНИЕМ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ

МУЛЛАГАЛИЕВ И.Н. , ХАДЫЕВ Т.Э. , АХМЕТЬЯНОВ И.И. * 

Муллагалиев Ильнур Наилевич – Кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры Электроники и физики наноструктур, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Российская Федерация
E-mail: mullagaliev@uust.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7037-6201>

Хадыев Тимур Эмилович – Студент, факультет физики и технологий, образовательная программа «Электроника и наноэлектроника», Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Российская Федерация
E-mail: t7689010@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8283-5807>

***Ахметьянов Ильнар Ильгизарович** - Студент, факультет физики и технологий, образовательная программа «Электроника и наноэлектроника», Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Российская Федерация
E-mail: kazeinatn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-6753-3120>

Аннотация. В статье рассматривается разработка автономного мобильного робота с системой технического зрения для ориентации в пространстве и интеллектуального управления движением. Актуальность исследования обусловлена активным развитием мобильной робототехники и растущей потребностью в автоматизации процессов в промышленности, транспорте, медицине и других сферах. Основной целью работы является создание робототехнического комплекса, способного осуществлять автономное перемещение, распознавание объектов и предотвращение столкновений в динамической среде.

В работе описаны архитектура и аппаратная структура мобильного робота, включающие мини-компьютер Raspberry Pi 3, веб-камеру, драйвер двигателя L298N, колесную платформу и систему питания. Для реализации интеллектуального управления использованы алгоритмы компьютерного зрения на основе библиотеки OpenCV, позволяющие анализировать видеопоток, определять границы объектов и принимать решения о направлении движения робота в реальном времени.

Результаты исследования показали, что разработанный робот способен эффективно выполнять задачи автономной навигации, распознавания препятствий и адаптации к условиям окружающей среды. Программное обеспечение обеспечивает высокую точность обработки изображений и устойчивость работы системы управления. Разработанный комплекс демонстрирует перспективность применения технологий искусственного интеллекта и технического зрения в мобильной робототехнике и может быть использован в образовательных, исследовательских и прикладных целях.

Ключевые слова: автономный мобильный робот, мобильная робототехника, техническое зрение, интеллектуальное управление, компьютерное зрение.

Введение

Интеллектуальное управление мобильными роботами - это система, основанная на применении методов искусственного интеллекта для управления передвижением робота и решения задач в реальном времени.

Актуальность этой технологии связана с растущим спросом на автоматизацию и роботизацию производственных процессов, а также управление мобильными роботами в различных сферах жизни, таких как медицина, наука, транспорт и др.

Использование методов искусственного интеллекта позволяет мобильным роботам выполнять сложные задачи, требующие принятия решений на основе большого объема информации из различных источников. Интеллектуальное управление роботами позволяет им обучаться и адаптироваться к новым условиям работы, что делает их более гибкими и эффективными в решении различных задач.

Мобильная робототехника представляет собой специализированное направление робототехники, ориентированное на разработку и эксплуатацию автономных систем, способных перемещаться и взаимодействовать с окружающей средой. Такие роботы используют современные технологии, включая сенсоры, системы управления и интеллектуальные алгоритмы, позволяющие воспринимать окружающее пространство, принимать решения и адаптироваться к динамическим и непредсказуемым условиям [1; 2]. В отличие от стационарных роботов, мобильные робототехнические системы способны

функционировать в различных условиях и на разных типах местности, что делает их универсальными и востребованными в современных отраслях [3; 4].

Современные исследования в области мобильной робототехники направлены на решение проблем масштабируемости, энергоэффективности и адаптации в реальном времени. В связи с этим предлагаются новые модульные архитектуры, обеспечивающие гибкую интеграцию различных компонентов, таких как сенсоры и модули искусственного интеллекта, в зависимости от области применения. Особое внимание уделяется использованию технологий периферийных вычислений (edge computing) и возобновляемых источников энергии для снижения энергопотребления и повышения автономности робототехнических систем.

Мобильная робототехника играет важную роль во многих сферах. В промышленной автоматизации мобильные роботы повышают производительность за счет эффективного управления логистикой и складскими процессами [5]. В области здравоохранения они применяются для помощи пациентам, дистанционного мониторинга и доставки медицинских материалов [6]. Развитие технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и объединения сенсорных данных значительно расширило возможности мобильных роботов, улучшив процессы принятия решений и общую эффективность их работы [7; 8; 9]. Благодаря способности функционировать в сложных и динамических условиях мобильные робототехнические системы становятся одним из ключевых направлений инновационного развития современных технологий и промышленности [10].

Цель мобильного автономного робота в данной работе состоит в демонстрации возможностей интеллектуального управления автономными мобильными транспортными системами и практическом применении результатов исследования.

Материалы и методы исследования

Демонстрационный мобильный автономный робот должен продемонстрировать возможности интеллектуального управления автономными мобильными транспортными системами и практическое применение результатов исследования, выполненного в рамках работы.

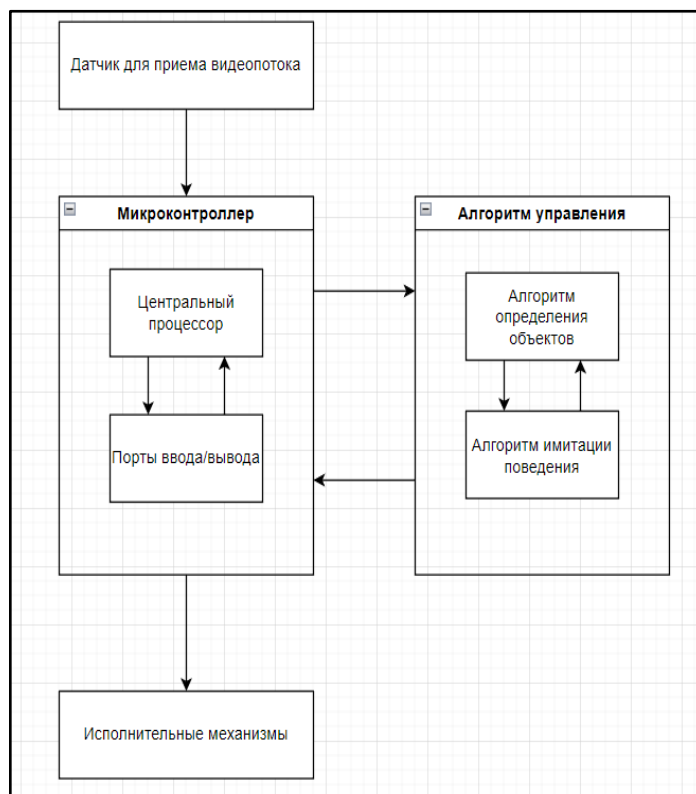


Рисунок 1. Структура управления автономного мобильного робота

Автономный мобильный робот состоит из различных компонентов, включая микроконтроллер, датчики, алгоритмы управления и исполнительные механизмы (рисунок 1).

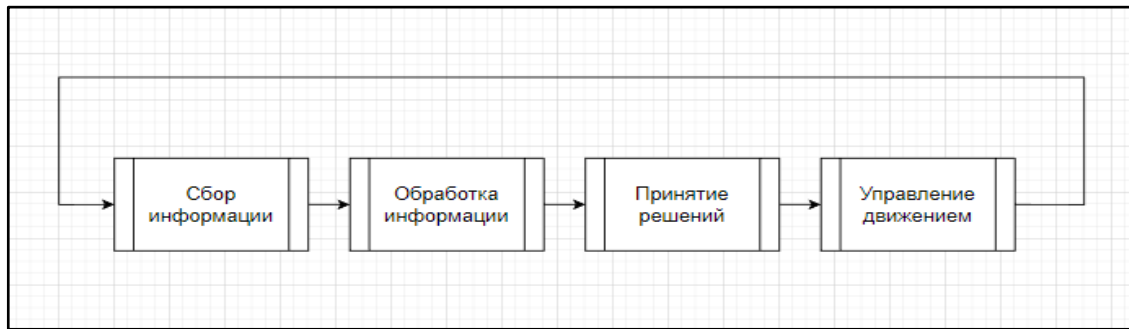


Рисунок 2. Структура управления автономного мобильного робота

Для выбора инструментария для создания АМР необходимо определиться с использованием конкретных компонентов. Рассмотрим составляющие аппаратного обеспечения робота:

- Плата управления
- Охлаждение для платы
- Источник питания платы
- Веб-камера для робота
- Колесная база
- Источник питания колесной базы
- Драйвер двигателей

Платой управления выбрана Raspberry Pi 3 (рисунок 3).



Рисунок 3. Мини-компьютер Raspberry Pi 3

Системой охлаждения для платы управления выбран корпус радиатор для с 2 алюминиевыми вентиляторами (см. рисунок 4).



Рисунок 4. Мини-компьютер Raspberry Pi 3 с установленной системой охлаждения

Источником питания платы управления Raspberry Pi 3 выбрано портативное зарядное устройство с емкостью 15000 мАч. и Камера для получения видеосигнала, подключаемая к плате управления Raspberry Pi 3 выбрана веб-камера HP Webcam HD 3300. (см. рисунок 5).



Рисунок 5. Веб-камера HP Webcam HD 3300

Для колесной базы с двумя передними ведущими колесами и одним задним ведомым выбраны 2 мотора постоянного тока DC 6V 620RPM 25GA (см. рисунок 6) и мебельное колесо резиновое на поворотной пластине с подшипником.



Рисунок 6. Мотор постоянного тока DC 6V 620RPM 25GA с колесом

Источником питания для колесной базы выбраны 2 аккумуляторные батареи 18650 емкостью 3700 мАч.

Для управления моторами постоянного тока через мини-компьютер Raspberry Pi 3 был выбран драйвер двигателя L298N (см. рисунок 7).

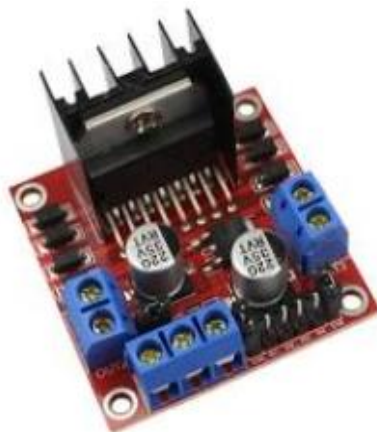


Рисунок 7. драйвер двигателя L298N

Результаты и их обсуждение

Робот будет собран на основе архитектуры (рисунок 8), которая состоит из следующих составляющих:

- Блок управления;
- Сенсорная часть;
- Драйвер двигателя;
- Блока источников питания;
- Колесная база.

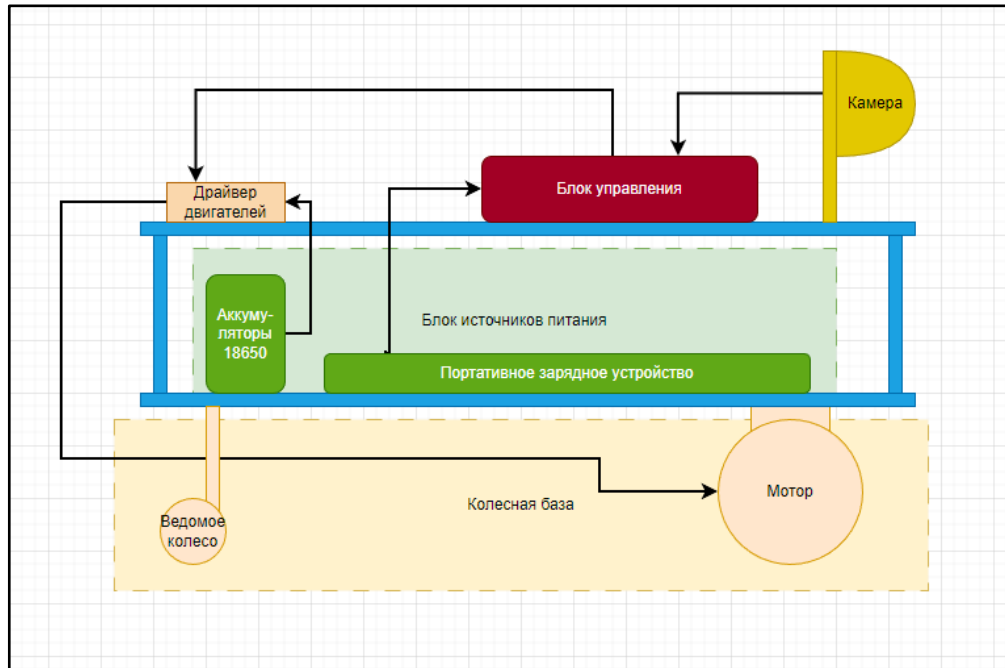


Рисунок 8. Архитектура автономного мобильного робота

Платформой для робота выбрана двухпалубная пластиковая платформа (рисунок 9).

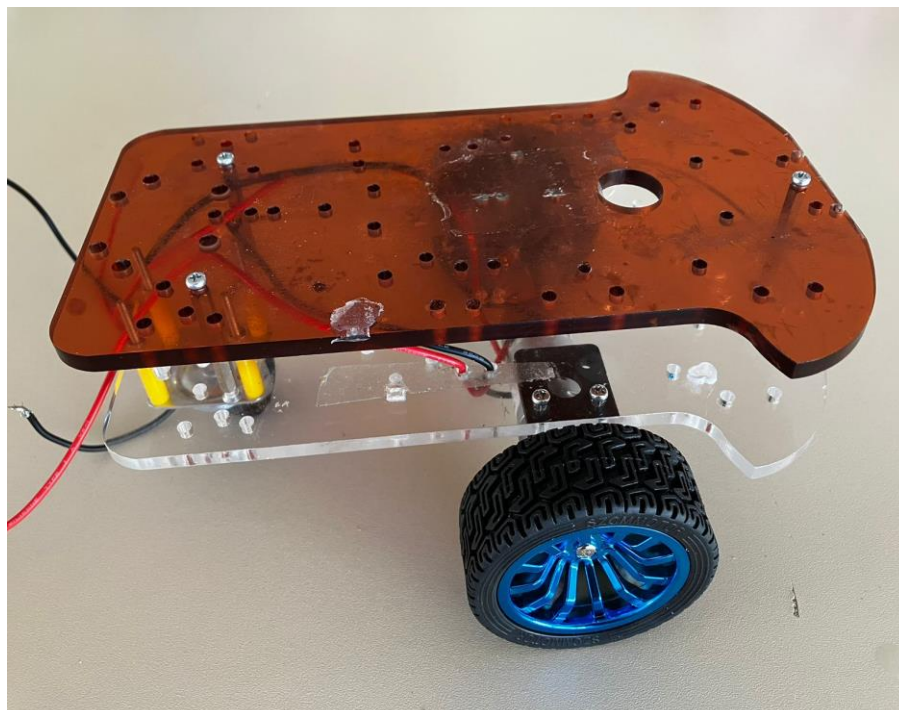


Рисунок 9. Платформа робота

Сборка робота началась с установки шасси из двух моторов постоянного тока и одного ведомого заднего колеса (рисунок 10).

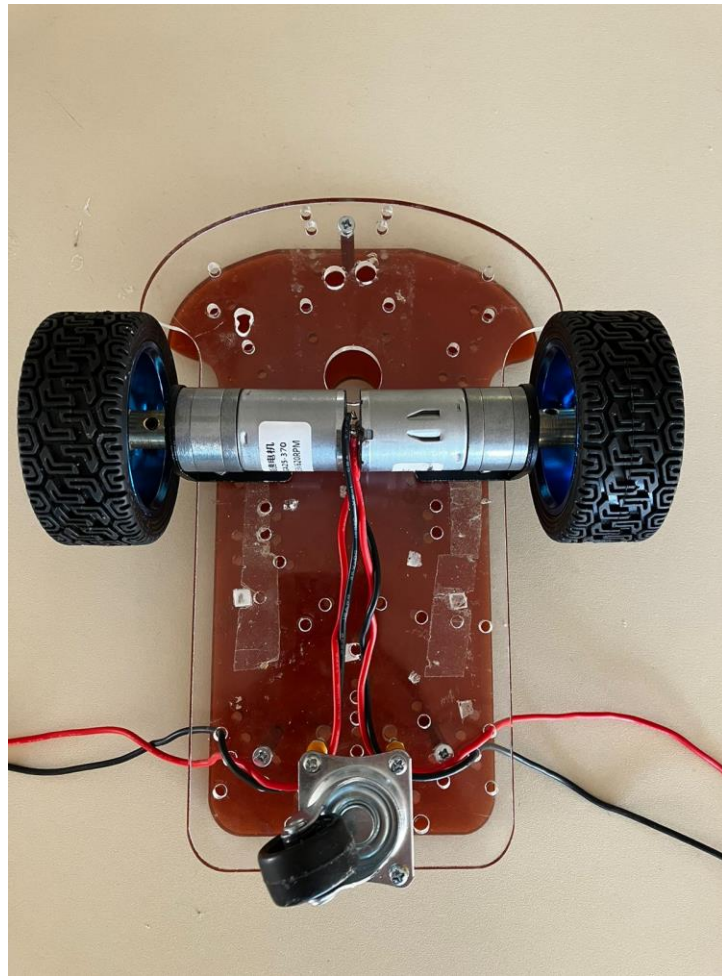


Рисунок 10. Шасси установленные на платформу

Далее были размещены элементы питания: аккумуляторы 18650 для колесной базы и портативное зарядное устройство для питания блока управления (см. рисунок 12).



Рисунок 11. Блоки питания, установленные на платформу

На верхнюю часть были размещены мини-компьютер Raspberry Pi 3, драйвер двигателя и веб-камера (рисунок 12).

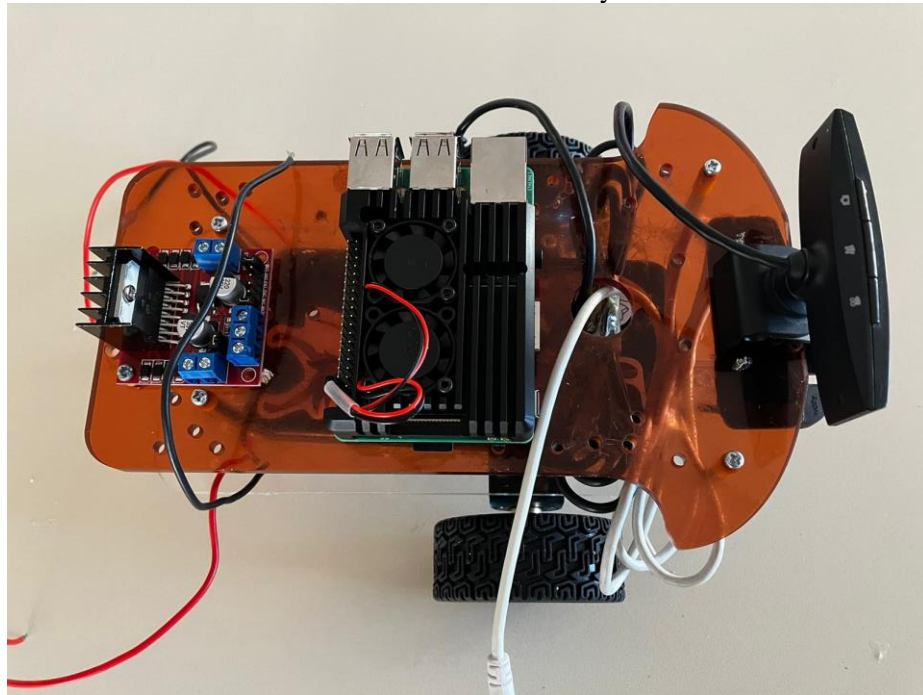


Рисунок 12. Мини-компьютер Raspberry Pi 3, драйвер двигателя и веб-камера, установленные на платформу

Далее необходимо подключить все элементы между собой, для этого мы будем использовать схему (см. рисунок 13). Моторы подключаются к драйверу двигателя к портам OUT1, OUT2, OUT3, OUT4. Драйвер подключается к блоку управления к портам GPIO 17, GPIO 18, GPIO 22, GPIO 23. Веб-камера подключается к Raspberry Pi через интерфейс USB.

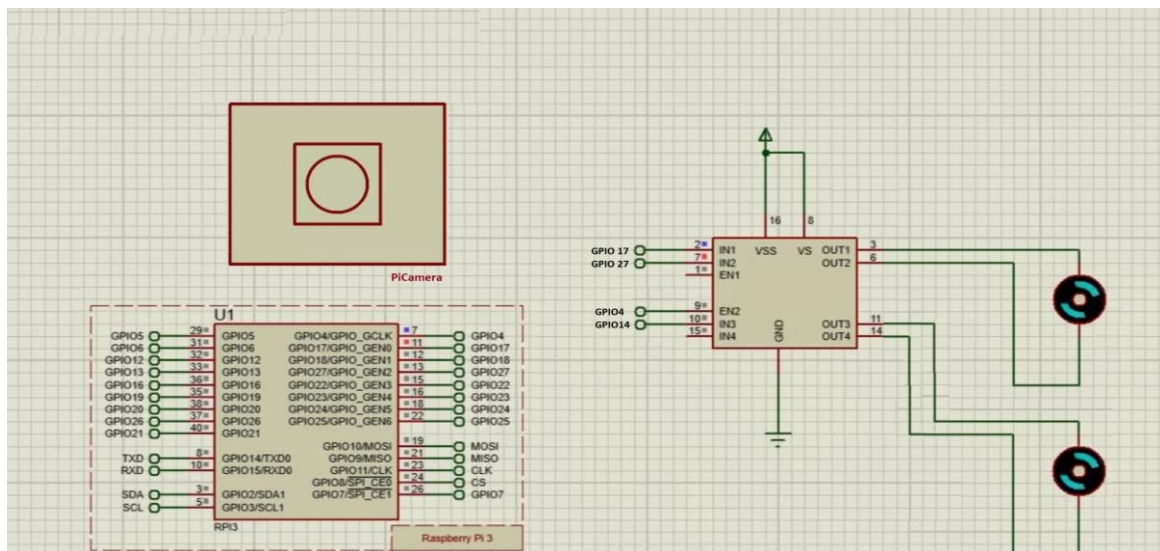


Рисунок 13. Схема соединения компонентов

Заключение

В ходе работы получено разработанный робототехнический комплекс, состоящий из автономного мобильного робота и написанного программного кода для интеллектуального управления им.

Разработанный робот на основе указанной архитектуры показал отличную эффективность в задаче распознавания объектов и избегания их. Благодаря сенсорной части, которая включает в себя камеры и датчики, робот способен быстро обнаруживать объекты в своей окружающей среде и анализировать их характеристики.

Драйвер двигателя позволяет роботу маневрировать и двигаться вокруг объектов с помощью колесной базы, обеспечивая при этом высокую маневренность и точность перемещений. Блок управления роботом позволяет программировать его для выполнения различных задач и определять его поведение в различных ситуациях.

Блок источников питания обеспечивает надежное и стабильное питание всему роботу, что позволяет ему работать продолжительное время без необходимости замены батарей. В целом, разработанный робот является удачным примером использования передовых технологий в робототехнике для решения сложных задач в автономной навигации и управлении в окружающей среде.

Программа для интеллектуального управления роботом, оснащенный камерой, представляет собой отличное решение для задачи распознавания объектов и избегания их. Благодаря использованию библиотек cv2 и griozero, программа обрабатывает изображение с высокой точностью и управляет двигателями робота соответственно.

Алгоритмы обработки изображений, такие как фильтр билатерации и преобразование Canny, позволяют определить границы объектов с высокой точностью. Разбиение границ на 3 части и определение направления движения робота на основе расположения средней части границ является эффективным способом управления движением робота.

Если направление движения робота не направлено вперед, программа автоматически поворачивает робота либо влево, либо вправо, чтобы избежать столкновения с объектами. Также программа может сохранять информацию об изображении и направлении движения робота в текстовый файл для дальнейшего анализа.

Написанная программа является отличным решением для задачи распознавания объектов и управления движением робота, обеспечивая высокую точность и надежность в работе.

Разработанный робот и программа для его интеллектуального управления представляют собой высокотехнологичное решение для решения сложных задач в автономной навигации и управлении в окружающей среде, демонстрирующее отличную эффективность и точность в распознавании объектов и избегании их.

Список литературы

1. Brockhoff K. Technology management as part of strategic planning – some empirical results. R&D Management. 2002. vol. 28, № 3, p. 129–138. DOI: [10.1111/1467-9310.00090](https://doi.org/10.1111/1467-9310.00090).
2. Chester A.N. Aligning Technology with Business Strategy. Research-Technology Management. 1994. Vol. 37, № 1. P. 25–32. Jan.–Feb.
3. Ramakrishnan R. and Gehrke J. Database Management Systems, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003, p. 1065
4. Nashid, Q.H., Al-Ghazi, S.S.J. The role of (RPA) technology in improving the quality of internal audit. Journal of Accounting and Financial Studies (JAFS). 2024. Vol. 19, Special Issue. P. 1259–1275. DOI: [10.34093/e1rkem82](https://doi.org/10.34093/e1rkem82).
5. Pandya P. RPA Implementation in Banking - Strategies and Best Practices. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. 2023. vol. 3, №. 1, March. DOI: [10.48175/IJARSCT-8631](https://doi.org/10.48175/IJARSCT-8631).
6. Xiao L. and Kumar V. Robotics for Customer Service: A Useful Complement or an Ultimate Substitute?. Journal of Service Research. 2021. vol. 24, № 1, p. 9-29, DOI: [10.1177/1094670519878881](https://doi.org/10.1177/1094670519878881)
7. Aydın A. S., Ortaköy S., Özsürünç Z. Employees' perception of value-added activity increase of Robotic Process Automation with time and cost efficiency: a case study. International Journal of Information Systems and Project Management. 2023. vol. 11, №. 1, Art. № 3, P. 30–49. DOI: [10.12821/ijispm110102](https://doi.org/10.12821/ijispm110102).
8. Vashishth T.K., Sharma V., Sharma K.K., Kumar B., Chaudhary S., Panwar R. Enhancing Customer Experience through AI-Enabled Content Personalization in E-Commerce Marketing // Advances in Digital Marketing in the Era of Artificial Intelligence. Boca Raton: CRC Press, 2024. P.

7–32. DOI: [10.1201/9781003450443-2](https://doi.org/10.1201/9781003450443-2).

9. Huang D., Chen Q., Huang J., Kong S., and Li Z., Customer-robot interactions: Understanding customer experience with service robots. *International Journal of Hospitality Management*. 2021. vol. 99, Art. № 103078. DOI: [10.1016/j.ijhm.2021.103078](https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.103078).

10. Zhang L., Howard S., Montpool T., Moore J., Mahajan K., and Miransky A., Automated data validation: An industrial experience report. *Journal of Systems and Software*, 2023. vol. 197, Art. № 111573. DOI: [10.1016/j.jss.2022.111573](https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111573).

References

1. Brockhoff K. Technology management as part of strategic planning – some empirical results. *R&D Management*. 2002. vol. 28, № 3, p. 129–138. DOI: [10.1111/1467-9310.00090](https://doi.org/10.1111/1467-9310.00090).

2. Chester A.N. Aligning Technology with Business Strategy. *Research-Technology Management*. 1994. Vol. 37, № 1. P. 25–32. Jan.–Feb.

3. Ramakrishnan R. and Gehrke J. *Database Management Systems*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003, p. 1065

4. Nashid, Q.H., Al-Ghazi, S.S.J. The role of (RPA) technology in improving the quality of internal audit. *Journal of Accounting and Financial Studies (JAFS)*. 2024. Vol. 19, Special Issue. P. 1259–1275. DOI: [10.34093/e1rkem82](https://doi.org/10.34093/e1rkem82).

5. Pandya P. RPA Implementation in Banking - Strategies and Best Practices. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2023. vol. 3, №. 1, March. DOI: [10.48175/IJARSCT-8631](https://doi.org/10.48175/IJARSCT-8631).

6. Xiao L. and Kumar V. Robotics for Customer Service: A Useful Complement or an Ultimate Substitute?. *Journal of Service Research*. 2021. vol. 24, № 1, p. 9-29, DOI: [10.1177/1094670519878881](https://doi.org/10.1177/1094670519878881)

7. Aydiner A. S., Ortaköy S., Özsürünç Z. Employees' perception of value-added activity increase of Robotic Process Automation with time and cost efficiency: a case study. *International Journal of Information Systems and Project Management*. 2023. vol. 11, №. 1, Art. № 3, P. 30–49. DOI: [10.12821/ijispm110102](https://doi.org/10.12821/ijispm110102).

8. Vashishth T.K., Sharma V., Sharma K.K., Kumar B., Chaudhary S., Panwar R. Enhancing Customer Experience through AI-Enabled Content Personalization in E-Commerce Marketing // *Advances in Digital Marketing in the Era of Artificial Intelligence*. Boca Raton: CRC Press, 2024. P. 7–32. DOI: [10.1201/9781003450443-2](https://doi.org/10.1201/9781003450443-2).

9. Huang D., Chen Q., Huang J., Kong S., and Li Z., Customer-robot interactions: Understanding customer experience with service robots. *International Journal of Hospitality Management*. 2021. vol. 99, Art. № 103078. DOI: [10.1016/j.ijhm.2021.103078](https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2021.103078).

10. Zhang L., Howard S., Montpool T., Moore J., Mahajan K., and Miransky A., Automated data validation: An industrial experience report. *Journal of Systems and Software*, 2023. vol. 197, Art. № 111573. DOI: [10.1016/j.jss.2022.111573](https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111573).

КЕҢІСТІКТЕ БАҒДАРЛАНУҒА АРНАЛҒАН ТЕХНИКАЛЫҚ КӨРУ ЖҮЙЕСІ БАР АВТОНОМДЫ МОБИЛЬДІ РОБОТТЫ ӘЗІРЛЕУ

МУЛЛАГАЛИЕВ И.Н. , ХАДЫЕВ Т.Э. , АХМЕТЬЯНОВ И.И. * 

Муллагалиев Ильнур Наилевич - Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Электроника және наноқұрылымдар физикасы кафедрасының аға оқытушысы, Уфа ғылым және технологиялар университеті, Уфа қ., Ресей Федерациясы

E-mail: mullagaliev@uust.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7037-6201>

Хадыев Тимур Эмилович – Студент, физика және технология факультеті, электроника және наноэлектроника білім бағдарламасы, Уфа ғылым және технологиялар университеті, Уфа қ., Ресей Федерациясы

E-mail: t7689010@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8283-5807>

*Ахметьянов Ильнар Ильгизарович - Студент, физика және технология факультеті, электроника және наноэлектроника білім бағдарламасы, Уфа ғылым және технологиялар университеті, Уфа қ., Ресей Федерациясы

E-mail: kazeinatn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-6753-3120>

Аңдатпа. Мақалада кеңістікте бағдарлануға және қозғалысты интеллектуалды басқаруға арналған техникалық көру жүйесі бар автономды мобильді роботты әзірлеу қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі мобильді робототехниканың қарқынды дамуымен және өнеркәсіп, көлік, медицина және басқа салалардағы процестерді автоматтандыру қажеттілігінің артуымен түсіндіріледі. Жұмыстың негізгі мақсаты – динамикалық ортада автономды қозғалу, нысандарды тану және кедергілерден айналып өту қабілетіне ие робототехникалық кешен құру.

Жұмыста Raspberry Pi 3 мини-компьютері, веб-камера, L298N қозғалтқыш драйвері, доңғалақты платформа және қоректендіру жүйесінен тұратын мобильді роботтың архитектурасы мен аппараттық құрылымы сипатталған. Интеллектуалды басқаруды жүзеге асыру үшін OpenCV кітапханасына негізделген компьютерлік көру алгоритмдері қолданылды. Бұл алгоритмдер бейнебағынды талдауға, нысандардың шекараларын анықтауға және робот қозғалысының бағыты бойынша нақты уақыт режимінде шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері әзірленген роботтың автономды навигация, кедергілерді анықтау және қоршаған орта жағдайларына бейімделу міндеттерін тиімді орындай алатынын көрсетті. Бағдарламалық қамтамасыз ету кескіндерді өңдеудің жоғары дәлдігін және басқару жүйесінің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Әзірленген кешен мобильді робототехникада жасанды интеллект пен техникалық көру технологияларын қолданудың болашағы зор екенін көрсетеді және білім беру, зерттеу және қолданбалы мақсаттарда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: автономды мобильді робот, мобильді робототехника, техникалық көру, интеллектуалды басқару, компьютерлік көру.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT WITH COMPUTER VISION FOR SPATIAL ORIENTATION

MULLAGALIEV I.N. , KHADYEV T.E. , AKHMETYANOV I.I. 

Mullagaliev Ilnur Nailevich – Candidate of physical and mathematical sciences, senior lecturer at the department of electronics and nanostructure physics, Ufa university of science and technology, Ufa, Russian Federation

E-mail: mullagaliev@uust.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7037-6201>

Khadyev Timur Emilievich – Student, faculty of physics and technology, educational program in electronics and nanoelectronics, Ufa university of science and technology, Ufa, Russian Federation

E-mail: t7689010@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8283-5807>

***Akhmetyanov Ilnar Ilgizarovich** – Student, faculty of physics and technology, educational program in electronics and nanoelectronics, Ufa university of science and technology, Ufa, Russian Federation

E-mail: kazeinatn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-6753-3120>

Abstract. This article discusses the development of an autonomous mobile robot equipped with a computer vision system for spatial orientation and intelligent motion control. The relevance of the study is associated with the rapid development of mobile robotics and the increasing demand for automation in industry, transportation, healthcare, and other fields. The main objective of the work is to create a robotic system capable of autonomous movement, object recognition, and collision avoidance in a dynamic environment.

The paper describes the architecture and hardware structure of the mobile robot, including a Raspberry Pi 3 single-board computer, a web camera, an L298N motor driver, a wheeled platform, and a power supply system. Intelligent control is implemented using computer vision algorithms based on the OpenCV library, which enable video stream analysis, object boundary detection, and real-time decision-making for robot navigation.

The results of the study demonstrated that the developed robot can effectively perform autonomous navigation, obstacle detection, and adaptation to environmental conditions. The software provides high image-processing accuracy and stable operation of the control system. The developed robotic platform demonstrates the перспективность of applying artificial intelligence and computer vision technologies in mobile robotics and can be used for educational, research, and practical applications.

Key words: autonomous mobile robot, mobile robotics, technical vision, intelligent control, computer vision.