

МАШИНОСТРОЕНИЕ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ТРАНСПОРТ

doi: 10.51639/2713-0576_2025_5_4_56

Научная статья

УДК 004.896, 519.713

ГРНТИ 55.30.01

ВАК 2.5.4

Обзор теоретических основ универсальной аппаратной надстройки автономного управления для мобильных робототехнических комплексов: описание, принципы работы и применение.Иван Александрович Лисютин*, Михаил Сергеевич Смирнов,
Олекия Валерьевна Гречкина*ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»,
Анапа, Россия
era_otd1@mil.ru***Аннотация**

В статье рассматриваются современные тенденции в развитии автономных мобильных роботов, которые становятся важными инструментами в различных отраслях человеческой жизнедеятельности. Основное внимание уделено обзору эффективных методов автономного управления, позволяющих роботам самостоятельно принимать решения и выполнять задачи без постоянного контроля человека, что способствует повышению эффективности и безопасности. Рассматривается возможность разработки универсальной надстройки автономного управления для разных мобильных роботов и платформ и ее практическая реализуемость. Также обсуждается популярность фреймворка Robot Operating System (ROS). Статья исследует ключевые аспекты существующих подходов к автономному управлению в мобильных робототехнических комплексах.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, алгоритм; построение карт; маршрут движения робота; сенсор; навигация.

Введение

Современные технологии быстро развиваются, и автономные мобильные роботы становятся все более важными инструментами в различных отраслях. Они применяются в охране, логистике, сельском хозяйстве, медицине и многих других сферах человеческой жизнедеятельности. Одной из ключевых задач, стоящих перед разработчиками таких систем, является создание эффективных методов автономного управления, которые позволяют роботам самостоятельно принимать решения и выполнять задачи без постоянного контроля со стороны человека. Автономное управление обеспечивает не только повышение эффективности работы, но и безопасность, так как позволяет минимизировать человеческий фактор.

В наше время активно набирает популярность фреймворк для разработки автономных роботов – Robot Operating System (ROS). Его активно используют в разработке мобильных, летающих и др. роботах по всему миру.

Основные программные компоненты автономного управления в ROS

Настройка для автономного управления предполагает универсальность системы. Независимо от подготовленности аппарата, на который будет устанавливаться система управления, автономное управление будет включать в себя несколько ключевых компонентов:

- локализация;
- картографирование;
- планирование пути;
- управление движением;
- избегание препятствий.

ROS предлагает множество пакетов, которые охватывают каждый из этих компонентов. Рассмотрим наиболее подходящие пакеты для задач автономной работы.

Локализация

Для локализации в ROS используются следующие пакеты:

AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization): этот пакет реализует алгоритм локализации на основе метода частиц, позволяя роботу определять свое местоположение на заранее созданной карте, используя данные от сенсоров, таких как лазерные дальнометры. AMCL адаптирует количество частиц в зависимости от уверенности в локализации, что делает его высокоэффективным в динамических условиях.

Gmapping: используется для создания карт в реальном времени на основе данных от лазерных дальнометров и алгоритма SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Gmapping позволяет роботу одновременно строить карту окружающей среды и определять свое положение на ней, что особенно полезно в незнакомых пространствах.

Картографирование

Cartographer: это современный пакет от Google, который поддерживает как 2D, так и 3D картографирование и локализацию. Cartographer использует алгоритмы SLAM и предлагает высокую точность и скорость обработки, что делает его идеальным для сложных и динамичных пространств.

OctoMap: пакет, создающий трехмерные карты окружающей среды. Он хорошо подходит для работы с 3D-данными и может использоваться для визуализации и планирования в трехмерном пространстве, что позволяет роботам лучше понимать свое окружение.

Планирование пути

Для планирования пути в ROS доступны несколько подходов:

Move Base: Один из самых популярных пакетов для планирования пути и управления движением. Move Base объединяет локализацию, создание карт и планирование пути. Он использует как глобальные, так и локальные планировщики, чтобы обеспечить безопасное перемещение робота, учитывая статические и динамические препятствия.

Navfn: Пакет, который использует алгоритм A* для поиска пути на основе созданной карты. Navfn позволяет находить оптимальные маршруты для роботов в статических средах, что особенно полезно для простых задач навигации.

Dijkstra: Этот алгоритм также может быть использован в ROS для поиска кратчайших путей в графах, что позволяет эффективно планировать движения в заранее известных условиях.

Избегание препятствий

Dynamic Window Approach (DWA): DWA позволяет роботу динамически выбирать безопасные траектории, основываясь на информации от сенсоров и текущих условиях движения. Этот алгоритм учитывает скорость, ускорение и размеры робота, что позволяет ему избегать столкновений в режиме реального времени.

TEB Local Planner: Этот планировщик использует оптимизацию траектории для управления движением робота, учитывая его динамические характеристики и препятствия.

ТЭВ (Timed Elastic Band) обеспечивает плавное движение, минимизируя резкие повороты и ускорения, что делает движение робота более естественным и безопасным.

Одним из основных преимуществ использования ROS является возможность интеграции различных пакетов для создания комплексной системы автономного управления. Например, можно использовать Gmapping для картографирования, AMCL для локализации и Move Base для планирования пути и управления движением. Это позволит создавать сложные системы, которые могут эффективно работать в динамических и изменяющихся условиях, обеспечивая высокую степень автономности.

Описание работы автономного робота на аппаратном уровне

Автономный робот представляет собой интегрированную систему, состоящую из множества компонентов, каждый из которых выполняет определенные функции для обеспечения эффективной работы устройства. В данном описании рассматриваются ключевые аппаратные компоненты автономного робота и их взаимодействие. На рис. 1 представлена блок-схема: «Взаимосвязь аппаратных компонентов системы на разных уровнях управления».

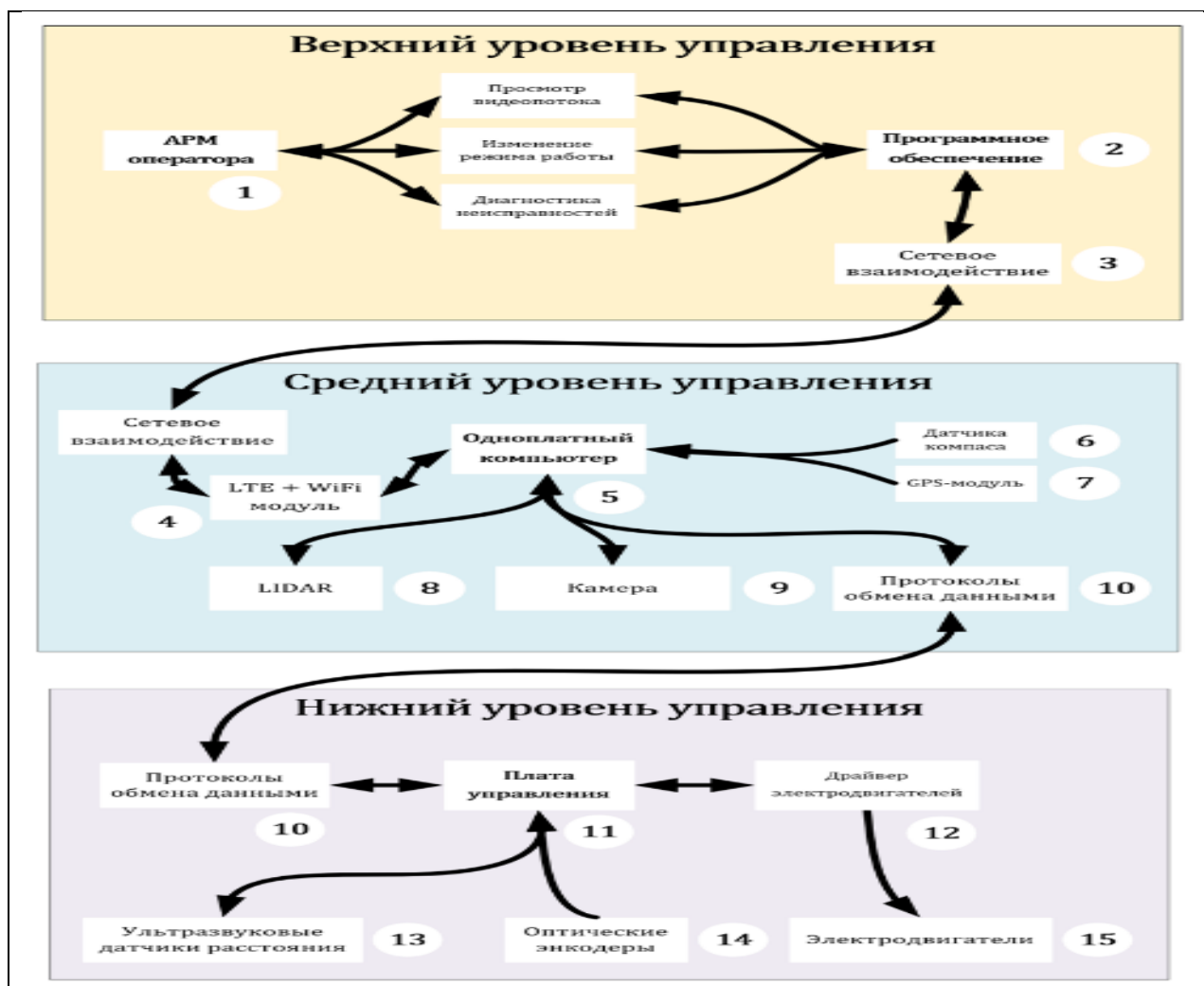


Рисунок 1 – Блок-схема: «Взаимосвязь аппаратных компонентов системы на разных уровнях управления»

1. АРМ-оператора

АРМ (Автоматизированное рабочее место) оператора служит интерфейсом для взаимодействия человека с роботом. Оно включает в себя дисплей, средства управления (клавиатура, мышь или джойстик) и программное обеспечение для мониторинга состояния робота, управления его действиями и получения данных о его работе. АРМ позволяет оператору задавать команды, получать информацию о текущем состоянии системы и реагировать на изменения в окружающей среде.

2. Программное обеспечение

Программный комплекс с графическим интерфейсом, для мониторинга и управления поведением робота в нестандартных ситуациях.

3. Сетевое взаимодействие

Сетевое взаимодействие обеспечивает обмен данными между роботом и АРМ операторов, а также с другими системами. Оно может осуществляться через различные протоколы, обеспечивающие надежную и быструю передачу данных, что критически важно для автономной работы робота.

4. LTE + WiFi модуль

Модуль LTE + WiFi обеспечивает беспроводное соединение с интернетом и локальными сетями. Он позволяет роботу передавать данные в реальном времени, получать обновления и команды от оператора, а также взаимодействовать с облачными сервисами для обработки данных и анализа.

5. Одноплатный компьютер

Одноплатный компьютер (например, Raspberry Pi или NVIDIA Jetson) служит центральным вычислительным узлом робота. На нем выполняется программное обеспечение, обрабатываются данные от сенсоров, осуществляется управление движением и выполняются алгоритмы навигации. Такой подход обеспечивает высокую производительность и гибкость в обработке задач.

6. Датчик компаса

Датчик компаса предоставляет информацию о направлении движения робота относительно магнитного поля Земли. Он используется в сочетании с другими сенсорами для определения ориентации робота, что позволяет улучшить точность навигации и предотвращать ошибки при движении.

7. GNSS-модуль

GNSS (Глобальная навигационная спутниковая система) модуль обеспечивает определение местоположения робота с высокой точностью. Он позволяет получать координаты и использовать их для навигации, планирования маршрута и отслеживания перемещений в реальном времени.

8. LIDAR

LIDAR (Light Detection and Ranging) является ключевым сенсором для восприятия окружающей среды. Он используется для создания трехмерной карты местности, обнаружения и распознавания объектов. LIDAR работает, излучая лазерные импульсы и измеряя время, необходимое для их отражения от объектов, что позволяет вычислить расстояние до них.

9. Камера

Камера используется для визуального восприятия окружающей среды. Она может выполнять функции распознавания объектов, мониторинга состояния и анализа визуальной информации. Данные с камеры обрабатываются с помощью алгоритмов компьютерного зрения, что позволяет роботу реагировать на изменения в окружении.

10. Протоколы обмена данными

Протоколы обмена данными обеспечивают структурированную и безопасную передачу информации между компонентами системы. Использование стандартных

протоколов (например, MQTT, TCP/IP, ROS) позволяет интегрировать различные устройства и системы, обеспечивая эффективное взаимодействие.

11. Плата управления

Плата управления выполняет функции управления всеми компонентами робота. Она обрабатывает команды от одноплатного компьютера и отправляет управляющие сигналы на драйверы электродвигателей, а также получает данные от сенсоров. Плата управления обеспечивает синхронизацию работы всех систем и компонентов.

12. Драйвер электродвигателей

Драйвер электродвигателей отвечает за управление движением робота, преобразуя управляющие сигналы от платы управления в команды для электродвигателей. Он позволяет регулировать скорость и направление движения, обеспечивая маневренность и точность перемещения.

13. Ультразвуковые датчики расстояния

Ультразвуковые датчики расстояния используются для определения расстояния до объектов с помощью звуковых волн. Они обеспечивают дополнительное восприятие окружающей среды и помогают избегать столкновений, улучшая безопасность робота при движении.

14. Оптические энкодеры

Оптические энкодеры фиксируют вращение колес робота и измеряют пройденное расстояние. Эти данные необходимы для контроля скорости и направления движения, а также для обеспечения точной навигации.

15. Электродвигатели

Электродвигатели обеспечивают привод роботизированной платформы. Различные типы двигателей (например, шаговые или мотор-колесо) могут использоваться в зависимости от требований к скорости, мощности и маневренности. Они работают под управлением драйверов, что позволяет точно контролировать движение робота.

Зоны работы сенсоров робота

Трехзонная система сенсоров, состоящая из камеры, однолучевого лидар-сканера и ультразвуковых датчиков, обеспечивает мобильному роботу высокую степень автономности и безопасности. Каждая из зон работы сенсоров выполняет свои уникальные функции, что в совокупности позволяет роботу эффективно взаимодействовать с окружающей средой и выполнять поставленные задачи. Интеграция данных от различных сенсоров способствует созданию надежной системы восприятия, что является необходимым условием для успешного функционирования мобильных роботов в реальных условиях. См. Рис. 2. «Схема зон работы сенсоров робота. Вид сверху» и Рис. 3. «Схема зон работы сенсоров робота. Вид сбоку».

1. Зона работы камеры

Первая зона работы сенсоров представлена камерой, установленной на мобильном роботе. Основная функция камеры заключается в распознавании объектов и анализе визуальной информации. С помощью алгоритмов компьютерного зрения, камера идентифицирует различные объекты в поле зрения, такие как люди, препятствия и ориентиры. Полученные данные об объектах передаются на управляющий одноплатный компьютер, который обрабатывает информацию для принятия решений о движении робота. Эта зона обеспечивает высокую степень детализации в восприятии окружающей среды, что важно для выполнения сложных задач, таких как навигация в условиях плотной застройки или взаимодействие с людьми.

2. Зона работы однолучевого лидар-сканера

Вторая зона работы сенсоров представлена однолучевым лидаром, установленным на крыше робота.

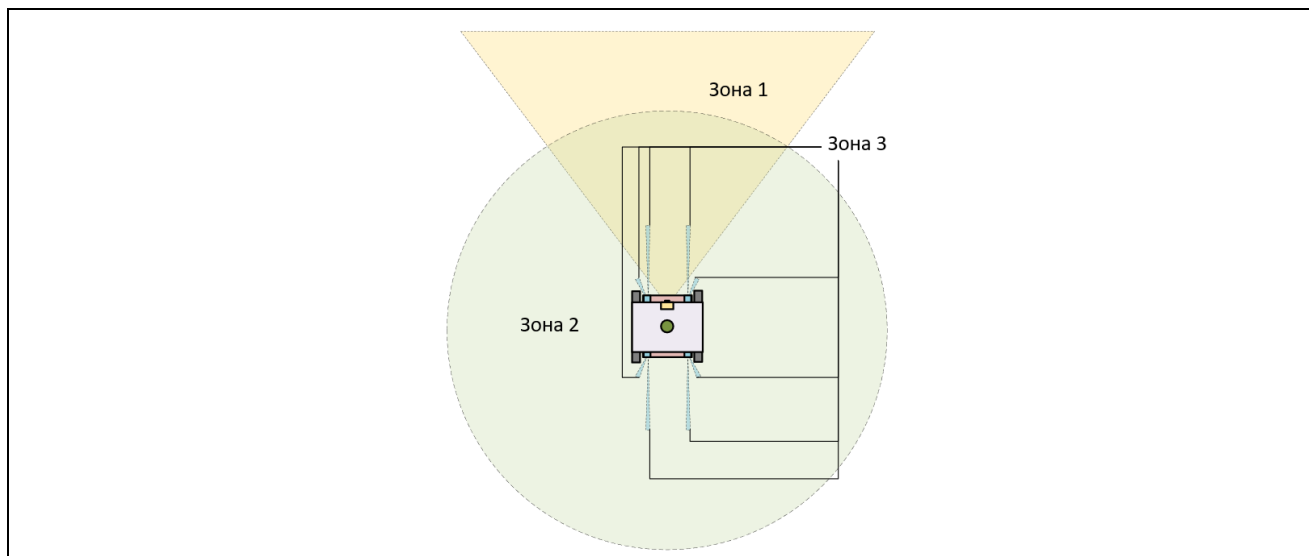


Рисунок 2 – Схема зон работы сенсоров робота. Вид сверху

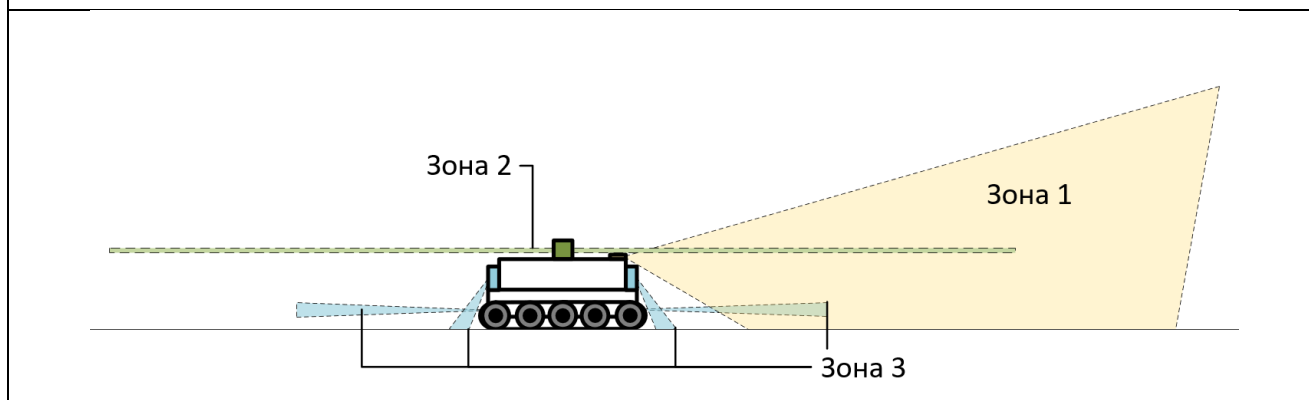


Рисунок 3 – Схема зон работы сенсоров робота. Вид сбоку

Лидар сканирует окружающую местность, создавая 2D-карту, которая позволяет роботу понимать свою позицию в пространстве и ориентироваться в сложных условиях. С помощью лазерного луча лидар измеряет расстояние до объектов, что позволяет точно определять их местоположение и форму. Полученные данные помогают в построении карты местности, а также в обнаружении и избегании препятствий. Эта зона является ключевой для автономной навигации, так как обеспечивает робота важной информацией о расстояниях и конфигурации окружающей среды.

3. Зона работы ультразвуковых датчиков

Третья зона работы сенсоров включает в себя набор ультразвуковых датчиков, расположенных по всему периметру мобильного робота. Эти датчики играют важную роль в обеспечении безопасности и маневренности робота. В данной конфигурации предусмотрено несколько датчиков.

Два ультразвуковых датчика спереди: расположенные снизу рядом с гусеницами, эти датчики предназначены для сканирования препятствий, которые могут находиться на пути робота. Они помогают предотвратить столкновения с низко расположенными объектами, такими как камни или другие препятствия.

Два ультразвуковых датчика сзади: установленные снизу, эти датчики отслеживают задний ход робота, обеспечивая безопасность при движении назад. Они помогают выявить

препятствия, находящиеся за роботом, что особенно важно в ограниченных пространствах.

Четыре ультразвуковых датчика под гусеницами: каждый из этих датчиков сканирует расстояние непосредственно перед гусеницами. Они обеспечивают дополнительные данные о высоте и расстоянии до поверхности, что позволяет роботу адаптировать свое поведение в зависимости от рельефа местности и избегать застревания.

Возможность реализации аппаратной надстройки для автономного управления мобильным роботом

Разработка такой системы требует тщательного подхода к архитектуре, которая будет включать в себя несколько уровней обработки данных и управления. На первом уровне расположатся базовые сенсоры, такие как камеры и ультразвуковые датчики, обеспечивающие первичное восприятие окружающей среды. На втором уровне будут находиться алгоритмы обработки данных, которые обеспечивают анализ полученной информации и принятие решений на основе заданных критериев. Наконец, на высшем уровне управления будут находиться модули, ответственные за стратегическое планирование маршрутов и взаимодействие с другими системами или людьми.

Система будет иметь возможность динамически адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Это предполагает не только изменение стратегий навигации в зависимости от обнаруженных препятствий, но и возможность переобучения на основе новых данных, что позволит роботу улучшать свои навыки в процессе эксплуатации. Такой подход обеспечивает высокую степень автономности и безопасность при выполнении задач в неопределенных условиях.

При проектировании надстройки для системы автономного управления необходимо учитывать несколько ключевых аспектов. Во-первых, это надежность и устойчивость к сбоям, что позволит системе продолжать функционировать даже в случае выхода из строя отдельных модулей. Во-вторых, важным аспектом является интеграция различных типов сенсоров и модулей, что обеспечит комплексное восприятие среды и более точные результаты анализа. В-третьих, необходимо предусмотреть возможность масштабируемости системы, что позволит в будущем добавлять новые сенсоры и модули управления без необходимости полной переработки архитектуры.

Заключение

Таким образом, разработка аппаратной надстройки автономного управления мобильного робота, состоящей из распределенной сети датчиков и модулей управления для автономного мобильного робота, представляет собой многообещающий подход к решению задач автономной навигации и взаимодействия РТК с окружающей средой. Мы обозначили основные аспекты, которые должны присутствовать на роботе, чтобы обеспечить его эффективное функционирование и адаптацию к различным условиям. Дальнейшие исследования и разработки в этой области позволят создать более совершенные системы управления, которые смогут реализовать потенциал мобильных роботов в широком спектре приложений, от промышленности до бытовых нужд.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что на момент подачи статьи в редакцию, у них нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics / Siciliano, B., Khatib, O. – Berlin: Springer, 2016. – 1264 с.
2. Mataric M. The Robotics Primer / Mataric, M. – Cambridge, MA: MIT Press, 2007. – 360 с.
3. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control / Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G. – Springer, 2009. – 738 с.
4. Дьяков А. В., Федотов В. Г. Современные подходы к управлению мобильными роботами: методы и алгоритмы / Дьяков, А. В., Федотов, В. Г. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2019. – 208 с.
5. Лебедев А. В., Громов А. С. Основы робототехники: Учебное пособие / Лебедев, А. В., Громов, А. С. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2020. – 320 с.

A review of the theoretical foundations of a universal hardware add-on for autonomous control of mobile robotic systems: description, operating principles, and applications

Ivan Aleksandrovich Lisutin*, Mikhail Sergeevich Smirnov,
Oleksiy Valerievna Grechkina
Military innovation technopolis «ERA»,
Anapa, Russia
era_otd1@mil.ru

Abstract

This article examines current trends in the development of autonomous mobile robots, which are becoming important tools in various sectors of human activity. The main focus is on a review of effective methods for autonomous control that allow robots to make decisions and perform tasks independently without constant human supervision, thereby enhancing efficiency and safety. The feasibility of developing a universal autonomous control add-on for different mobile robots and platforms is considered, along with its practical implementability. The popularity of the Robot Operating System (ROS) framework is also discussed. The article investigates key aspects of existing approaches to autonomous control in mobile robotic systems.

Keywords: robotic complex, algorithm, mapping, robot route, sensor, navigation.