

УДК 629.056

Сравнительный анализ методов навигации для автономных мобильных роботов

Корлякова Мария Олеговна

mkorlyakova@yandex.ru

Воробьев Виктор Сергеевич

v20030721@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены методы по автономной навигации мобильного робота, основанные на использовании трех ключевых поведений: одометрия, отслеживание цели и избегание препятствий. Проведены эксперименты в симуляторе Aria для предварительной проверки алгоритмов, а также проводены эксперименты с реальными роботами: Pioneer и Elegoo Smart Robot Car, Raicart, BeetleBot и Droom. Представлены детальные описания методов навигации, результаты экспериментальной проверки каждого метода на разных платформах. Проведен сравнительный анализ их эффективности.

Ключевые слова: навигация, одометрия, отслеживание цели, избегание препятствий

Развитие робототехники и стремление к созданию автономных систем, способных выполнять задачи в различных средах, приводит к постоянному поиску новых решений в области навигации. Автономная навигация мобильного робота — это сложная задача, требующая интеграции разнообразных алгоритмов, сенсоров и вычислительных мощностей. Решением данной задачи являются три ключевых поведения: одометрия, отслеживание цели и избегание препятствий [1].

Одометрия позволяет роботу определять свое положение, измеряя пройденное расстояние. Одометрия с энкодерами: Pioneer использует энкодеры для точного измерения пройденного пути, но этот метод чувствителен к проскальзыванию колес. Одометрия без энкодеров: Elegoo, Raicart, BeetleBot и DRoom используют альтернативные методы, такие как визуальная одометрия и данные с IMU, которые менее точны, но не требуют специальных датчиков.

Отслеживание цели основано на использовании визуальных алгоритмов для отслеживания целевой точки в кадре камеры робота. Отслеживание по цвету: Pioneer использует этот простой метод для слежения за цветными объектами. YOLO: Elegoo применяет нейронную сеть YOLOv8 для распознавания и отслеживания широкого спектра объектов. DRoom использует облегченную версию YOLO (tiny-YOLOv3) для распознавания лиц, что способствует социальному взаимодействию [2].

Избегание препятствий использует ультразвуковые сенсоры для обнаружения препятствий на пути робота. Ультразвуковые датчики: Elegoo использует один ультразвуковой датчик, Pioneer — кольцевой сонар. Также исполь-

зуют другие методы: LiDAR, компьютерное зрение, метод потенциальных полей, алгоритм A*. BeetleBot использует слияние данных с нескольких сенсоров (RGB-D, LiDAR, и др.) для повышения надежности [3]. DRoom использует RGB-D камеру и алгоритм MORP для сегментации проходимой области и избегания препятствий [4]. Raicart использует Crop-LSTM для косвенного избегания препятствий путем выбора более «гладких» траекторий [5].

Raicart использует Crop-LSTM, метод на основе обучения для предсказания траектории, ориентации и «неровности» местности, что позволяет ему выбирать оптимальные маршруты.

Эффективная навигация требует согласованной работы всех компонентов. DRoom, например, комбинирует визуальную одометрию, алгоритм MORP и данные с tiny-YOLOv3 для навигации в присутствии людей.

Для оценки эффективности рассмотренных методов навигации рассмотрим результаты проведенных экспериментов как в симулированных [4], так и в реальных условиях [1].

Pioneer: эксперименты с роботом Pioneer, оснащенным энкодерами и кольцевым сонаром, были сосредоточены на точности одометрии и эффективности избегания препятствий в контролируемой лабораторной среде. Результаты показали высокую точность одометрии на ровных поверхностях, однако при проскальзывании колес наблюдалось накопление ошибок. Система избегания препятствий на основе сонара успешно предотвращала столкновения, но показала ограничения в узких проходах.

Elegoo: эксперименты с Elegoo Smart Robot Car, использующим визуальную одометрию, YOLOv8 для отслеживания целей и один ультразвуковой датчик для избегания препятствий, проводились в более сложной среде с различными объектами. Результаты подтвердили возможность использования YOLOv8 для надежного отслеживания целей, однако точность визуальной одометрии оказалась ниже, чем у Pioneer. Простота системы избегания препятствий на основе одного ультразвукового датчика ограничивала ее эффективность в сложных ситуациях.

Raicart: этот робот был протестирован в реальных условиях бездорожья с использованием Crop-LSTM для навигации. Результаты показали, что Raicart способен преодолевать неровный ландшафт и избегать препятствий, однако требуется дальнейшая работа по повышению робастности алгоритма к изменениям освещения и типа поверхности.

BeetleBot и DRoom: эти роботы были испытаны в симулированной среде Gazebo. BeetleBot, оснащенный различными сенсорами (RGB-D, LiDAR, и др.), продемонстрировал эффективность слияния данных для повышения надежности навигации. DRoom, ориентированный на социальное взаимодействие, успешно выполнял задачи навигации в присутствии виртуальных людей, демонстрируя потенциал для применения в социальных сценариях. Для подтверждения результатов симуляции DRoom также был протестирован в реальном вестибюле общежития, где он успешно навигировал в динамической среде с присутствием людей.

Одометрия позволяет роботу определять свое положение, измеряя пройденное расстояние. Одометрия с энкодерами: Pioneer использует энкодеры для точного измерения пройденного пути, но этот метод чувствителен к проскальзыванию колес. Одометрия без энкодеров: Elegoo, Raicart, BeetleBot и DPoom используют альтернативные методы, такие как визуальная одометрия и данные с IMU, которые менее точны, но не требуют специальных датчиков (см. сравнительную таблицу).

Сравнительная таблица

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки	Роботы
Одометрия с энкодерами	Измерение пройденного расстояния и поворота колес с помощью энкодеров	Высокая точность, простота	Накопление ошибок, проскальзывание	Pioneer
Одометрия без энкодеров	Оценка движения на основе анализа изображений, IMU и др.	Не требует специальных датчиков	Менее точная	Elegoo, Raicart, BeetleBot, DPoom
Визуальная одометрия	Определение движения на основе анализа последовательных кадров с камеры	Работает без энкодеров	Чувствительна к освещению, накапливает ошибки	Raicart, BeetleBot, DPoom
Crop-LSTM	Предсказание траектории на основе изображений	Учитывает локальные особенности, минимизирует тряску	Требуется обучения, чувствителен к изменениям среды	Raicart
Отслеживание цели (цвет)	Определение и слежение за объектом определенного цвета	Простота, быстрая обработка	Чувствительность к освещению, ограниченная применимость	Pioneer
Отслеживание цели (YOLO/tiny-YOLO)	Детектирование и слежение за объектом с помощью нейронной сети YOLO	Распознавание широкого спектра объектов, высокая точность	Высокая вычислительная сложность	Elegoo, DPoom

Окончание таблицы

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки	Роботы
Избегание (сонар)	Обнаружение препятствий с помощью нескольких ультразвуковых датчиков	Точное определение расстояния	Стоимость, сложность установки	Pioneer
Избегание (УЗ датчик)	Обнаружение препятствий с помощью одного ультразвукового датчика	Простота, низкая стоимость	Менее точное определение	Elegoo
Избегание (LiDAR)	Обнаружение препятствий с помощью лазерного сканера	Высокая точность, детальные карты	Высокая стоимость, энергопотребление	BeetleBot (в симуляции)
Избегание (компьютерное зрение/MORP)	Обнаружение препятствий на основе анализа изображений	Распознавание разных типов препятствий	Высокая вычислительная сложность, зависимость от освещения	Raicart, DPoom, BeetleBot
Избегание (слияние данных)	Комбинация данных с нескольких сенсоров для повышения надежности	Повышенная надежность, адаптивность	Сложность реализации и настройки	BeetleBot
Низкобюджетная платформа	Использование доступных компонентов	Доступность, широкое применение	Ограниченные возможности	DPoom
Социальное взаимодействие	Акцент на взаимодействие с людьми	Важность для сервисных роботов	Дополнительные требования к безопасности	DPoom

Проведенный анализ показал значительный прогресс в разработке автономных систем навигации для мобильных роботов. Выбор метода навигации зависит от конкретных требований задачи. Для высокой точности позиционирования предпочтительна одометрия с энкодерами. В условиях ограниченного бюджета или при отсутствии энкодеров можно использовать визуальную/инерциальную одометрию. Для слежения за объектами в сложных

условиях предпочтительнее YOLOv8, а для простых сценариев достаточно цветового слежения. Аналогично кольцевой сонар обеспечивает более надежное избегание препятствий, но для простых задач подойдет и одиночный ультразвуковой датчик. Подходы на основе обучения, такие как Crop-LSTM, и методы, ориентированные на социальное взаимодействие и низкобюджетные платформы, представляют собой перспективные направления для будущих исследований. Разрабатываемая система навигации для автономной мобильной платформы предполагает использование системы технического зрения, комплекта акселерометров, датчиков оценки дальности (ультразвуковых) и фиксации поворотов колес. Использование всех средств оценки среды и пройденного пути позволит формировать на основе методов vSLAM представление о текущей позиции и планировать дальнейший маршрут.

Литература

- [1] Husan F. Vokhidov S.A. Autonomous mobile robot navigation: tracking problem. URL: <https://arxiv.org/pdf/2407.06118v1.pdf> (accessed November 03, 2024).
- [2] Torres J. How to run yolov8? URL: <https://yolov8.org/> (accessed November 04, 2024).
- [3] Nguyen A., Quang D.T. Autonomous navigation with mobile robots using deep learning and the robot operating system. URL: <https://arxiv.org/pdf/2012.02417v2.pdf> (accessed November 05, 2024).
- [4] Kim T., Lim S., Shin G., Sim G., Yun D. An Open-Source Low-Cost Mobile Robot System with an RGB-D Camera and Efficient Real-Time Navigation Algorithm. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.03054v4.pdf> (accessed November 06, 2024).
- [5] Hyun Lee J., Choi J., Ryu S., Oh H., Choi S., Hwangbo J. Learning vehicle dynamics from cropped image patches for robot navigation in unpaved outdoor terrains. URL: <https://arxiv.org/pdf/2309.02745v1.pdf> (accessed November 06, 2024).

Comparative analysis of navigation methods for autonomous mobile robots

Korlyakova M.O. mkorlyakova@yandex.ru

Vorobev V.S. v20030721@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Methods for autonomous navigation of a mobile robot based on the use of three key behaviors are considered: odometry, target tracking and obstacle avoidance. Experiments were conducted in the Aria simulator to pre-test the algorithms, as well as experiments with real robots: Pioneer and Elegoo Smart Robot Car, Raicart, BeetleBot and Dpoom. Detailed descriptions of navigation methods are presented, as well as the results of experimental testing of each method on different platforms. A comparative analysis of their effectiveness has been carried out.

Keywords: navigation, odometry, target tracking, obstacle avoidance