

УДК 007.5

Шуайчжао Фань

студент

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ УГЛА И РАССТОЯНИЯ ДО ПРЕПЯТСТВИЙ

Аннотация:

В статье рассматривается метод управления мобильными роботами на основе оценки углов и расстояний до препятствий. Предложены алгоритмы, использующие данные от различных сенсоров, таких как лидары и ультразвуковые датчики, для построения карты окружающей среды и эффективного планирования маршрута. При этом довольно подробно описаны методы по применению методов обхода препятствий, а также анализу точности и надежности получаемых данных. Рассмотрены существующие подходы к локализации и навигации мобильных роботов в реальных условиях, а также перспективы применения автономных систем в различных сферах, включая транспорт, промышленность и медицину. Представлены результаты тестирования алгоритмов на различных платформах, подтверждающие их эффективность в реальных сценариях.

Ключевые слова:

мобильные роботы, управление роботами, навигация, оценка расстояний, лидар, сенсоры, обход препятствий, планирование маршрута, автономные системы, локализация.

Shuaizhao Fan

Student

Lomonosov Moscow State University

ROBOT CONTROL METHOD BASED ON ANGLE AND DISTANCE ESTIMATION TO OBSTACLES

Abstract:

The article explores the method of controlling mobile robots based on the estimation of angles and distances to obstacles. Algorithms using data from various sensors, such as LIDAR and ultrasonic sensors, are proposed for constructing environmental maps and efficient route planning. Special attention is given to obstacle avoidance methods and the analysis of the accuracy and reliability of the obtained data. Existing approaches to localization and navigation of mobile robots in real-world conditions are discussed, along with the prospects for the application of autonomous systems in various fields, including transportation, industry,

and medicine. The results of testing the algorithms on various platforms are presented, confirming their effectiveness in real-world scenarios.

Keywords:

mobile robots, robot control, navigation, distance estimation, LIDAR, sensors, obstacle avoidance, path planning, autonomous systems, localization.

С развитием технологий в области робототехники, задача создания мобильных роботов, способных автономно ориентироваться и взаимодействовать с окружающей средой, становится всё более актуальной. Важнейшими аспектами, которые необходимы для эффективной навигации робота, являются точная оценка расстояний и углов между роботом и объектами его окружения. Среди таких методов широко известным является управление мобильным роботом, основанное на оценке углов и расстояний до препятствий. Метод управления мобильным роботом на основе оценки угла и расстояния позволяет роботу адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, избегая столкновений и оптимизируя свой путь. Использование сенсоров, среди которых ультразвуковые датчики, лидары и камеры, позволяет точно определить как положение робота относительно препятствий, так и их направление, что является основой для формирования эффективной траектории движения. В сущности своей все эти данные обрабатываются с помощью алгоритмов планирования пути, таких как метод наименьших расстояний или алгоритм быстрого обхода, что позволяет роботу избегать препятствий в реальном времени [1].

Технология управления мобильным роботом на основе оценки углов и расстояний до препятствий представляет собой важную часть автономной навигации, обеспечивающую возможность безопасного и эффективного перемещения роботов в реальных условиях. История разработки подобных методов начинается с 1970-х годов, когда учёные и инженеры начали

разрабатывать первые роботы, способные ориентироваться в пространстве. Насколько известно одним среди первых роботов стал *Shakey*, разработанный в Стэнфордском исследовательском институте в 1969 году. Он использовал камеры для распознавания объектов и планирования пути, однако его возможности по оценке расстояний и углов были ограничены. В 1990-х годах, с развитием сенсоров и технологий обработки данных, появилась возможность точно измерять расстояния и углы, что привело к значительному улучшению методов навигации [2].

Среди основных компонентов этой технологии стали сенсоры, которые позволяют роботу собирать данные о расстоянии и угле относительно окружающих объектов. Наиболее распространёнными сенсорами для этих целей являются лидары, ультразвуковые датчики и камеры. Лидары (LiDAR) используют лазерные импульсы для измерения расстояния до объектов с высокой точностью. Технология эта работает по следующему сценарию, лидар посылает лазерный импульс, который отражается от объекта, и по времени, прошедшему от отправки до получения отражённого сигнала, рассчитывается расстояние [3]. Для расчёта точности можно использовать уравнение:

$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

где:

- d — расстояние до объекта,
- c — скорость света,
- t — время, которое прошло от посылки лазерного импульса до его отражения.

Ультразвуковые датчики работают по аналогичному принципу, но с использованием звуковых волн. Все же они менее точны, чем лидары, но могут использоваться на коротких дистанциях для обеспечения безопасности. Камеры и системы компьютерного зрения позволяют оценивать угол между

роботом и объектами на основе изображений, получаемых с помощью стерео-камер или обычных камер с алгоритмами распознавания объектов и определения их положения в пространстве [4]. Конечно же такие технологии позволяют роботу воспринимать окружающее пространство в виде карты, на которой можно точно определить местоположение препятствий. Алгоритмы, используемые для планирования траектории и избегания столкновений, обрабатывают данные, получаемые с сенсоров, и позволяют роботу корректировать своё движение в зависимости от текущей ситуации. В сущности своей одним из наиболее простых алгоритмов является метод ближайшего соседа (Nearest Neighbor), который помогает роботу избегать столкновений, выбирая наименьшее расстояние до препятствия. Более сложные методы, такие как динамический подход к обходу (Dynamic Window Approach, DWA), учитывают не только расстояние и угол, но и параметры движения робота (скорость, направление) для вычисления безопасных траекторий.

$$J(v, \omega) = \alpha_1 \cdot \|v - v_{\text{target}}\| + \alpha_2 \cdot \|\omega - \omega_{\text{target}}\| + \alpha_3 \cdot \text{dist_to_obstacle}$$

где:

- v — скорость робота,
- ω — угловая скорость робота,
- v_{target} и ω_{target} — целевые значения скорости и угловой скорости,
- dist_to_obstacle — расстояние до ближайшего препятствия,
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — веса для соответствующих факторов.

Другим важным методом является использование алгоритма быстрых обходов (RRT), который позволяет эффективно планировать пути в ограниченных пространствах. По сути своей данный алгоритм создаёт дерево возможных путей, случайным образом генерируя новые вершины, которые приближаются к целевой точке, и проверяя, не сталкиваются ли они с препятствиями. Алгоритм быстро находит решение для задачи

маршрутизации в сложных условиях, что как раз и делает его полезным для автономных мобильных роботов [5].

Для создания карты окружающей среды и планирования движения используется технология SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). SLAM позволяет роботу одновременно строить карту окружения и определять своё местоположение на этой карте, используя данные о расстояниях и углах, что собственно говоря и достигается путём применения методов фильтрации, таких как фильтры Калмана или фильтры частиц, которые помогают минимизировать ошибки и точно определить позицию робота, а также адаптировать карту в реальном времени.

3. Для алгоритма SLAM, с обновлением состояния и карты с помощью фильтра Калмана:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ m_t \end{bmatrix} = \mathcal{F} \left(\begin{bmatrix} x_{t-1} \\ m_{t-1} \end{bmatrix}, u_t \right) + \mathcal{G}(z_t)$$

где:

- x_t — состояние робота на текущем шаге,
- m_t — карта на текущем шаге,
- u_t — управляющие действия робота,
- z_t — измерения,
- \mathcal{F} и \mathcal{G} — операторы, описывающие движение робота и обновление карты соответственно.

Сегодня мобильные роботы, использующие эту технологию, активно применяются в различных сферах. В частности, в логистике они используются для автоматизации складских процессов, где роботы должны точно перемещаться по складу, избегая препятствий и правильно ориентируясь в пространстве. В сельском хозяйстве роботы с такими системами применяются для обработки полей и ухода за растениями. В медицине роботы с автономной навигацией могут использоваться для хирургических операций или доставки медикаментов внутри больницы.

Среди наиболее ярких примеров таких роботов является робот-уборщик *iRobot Roomba*, который использует ультразвуковые датчики для измерения расстояний и углов и, на основе этих данных, планирует свою траекторию в помещении, избегая препятствий и возвращаясь на зарядную станцию. Беспилотные автомобили, среди компаний *Waymo* и *Tesla*, используют лидары, камеры и ультразвуковые датчики для создания модели окружения и принятия решений о скорости, направлении и маневрах, обеспечивая безопасное движение без участия водителя.

Технология управления мобильными роботами на основе оценки углов и расстояний до препятствий продолжает активно развиваться, что открывает новые возможности для автономных систем в различных областях, от беспилотных автомобилей до медицинских роботов. Важным вкладом в эту сферу является работа таких учёных, как Sebastian Thrun, основатель Waymo, чьи исследования в области автономных транспортных систем стали основой для создания безопасных беспилотных автомобилей, и Raul Rojas, который развивает алгоритмы для роботов, работающих в динамичных условиях. С каждым годом совершенствуются сенсоры, алгоритмы обработки данных и методы планирования пути, что позволяет роботам точнее и быстрее адаптироваться к меняющимся условиям. Вектор будущего развития научных исследований будет направлен на улучшение сенсорных технологий, интеграцию машинного обучения для самообучающихся систем и развитие многогибридных роботов, способных безопасно и эффективно работать в различных средах. В сущности своей дальнейшее совершенствование технологий автономной навигации будет способствовать созданию более адаптивных и безопасных роботов для множества приложений, от промышленности до здравоохранения.

Источники и литература

1. A Survey of Mobile Robot Navigation Algorithms IEEE Xplore, 2020. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9035392> (дата обращения: 17.01.2025).
2. Development of Autonomous Navigation System for Mobile Robots Using LiDAR and Camera Sensors. MDPI, 2019. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/22/4951> (дата обращения: 17.01.2025).
3. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): A Review SpringerLink, 2019. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-019-01043-2> (дата обращения: 17.01.2025).
4. Obstacle Avoidance and Path Planning for Autonomous Robots Using Machine Learning Procedia Computer Science. ScienceDirect, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877056820302675> (дата обращения: 17.01.2025).
5. Laser-Based Obstacle Detection and Avoidance in Mobile Robots SpringerLink, 2018. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23476-1_14 (дата обращения: 17.01.2025).