

## МЕТОД КАЛИБРОВКИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ

Савриновский С.М. (Университет ИТМО)  
Научный руководитель – к.т.н., Бжихатлов И.А.  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Мобильная робототехника становится всё более популярной как в научной, так и в коммерческой сфере. Роботизированные системы, способные свободно перемещаться по местности, решают огромный спектр задач, выполняют сложные и подчас опасные работы практически без участия человека. Например, мобильные наземные платформы получили широкое распространение в складской логистике, также развивается их применение в городской среде. В летающей робототехнике востребовано направление технического диагностирования производственных структур предприятий.

Определение роботом своего местоположения в пространстве – одна из приоритетных задач в сфере мобильной робототехники. На точность локализации влияет качество управления мобильным роботом, правильность данных, поступающих с различной периферии, и результат их обработки, начиная от датчиков расстояния и инерциальных модулей, заканчивая визуальной одометрией с помощью камер. Калибровка – это процесс, который позволяет определить соответствие параметров модели и функциональную зависимость между считываемыми показаниями измерительных приборов в отношении реального робота и считываемых данных, используемых в программном обеспечении, для позиционирования робота в декартовом пространстве.

Факторы, влияющие на точность позиционирования робота, можно подразделить на две категории: статические и динамические. Произведя калибровку статических параметров мобильного робота, можно сильно улучшить качество позиционирования в пространстве, что существенно повысит уровень автономности мобильного робота.

**Основная часть.** В ходе исследования был проведён анализ различных существующих методов калибровки мобильных роботов, влияющих на качество позиционирования в пространстве.

Подавляющее большинство существующих методов калибровки разработаны для мобильных колёсных роботов, преимущественно с дифференциальной кинематикой. Затем, по популярности, идёт кинематика с геометрией рулевого управления Аккермана. В самом известном методе калибровки для мобильных роботов с дифференциальной кинематикой UMBmark (University of Michigan Benchmark) [1] необходимо дважды производить замеры конечного местоположения и ориентации робота на площадке после прохождения заданной квадратной траектории. Этот и подобные методы, основанные на уравнениях замкнутой траектории, используют данные, получаемые с помощью простых инструментов, таких как линейка или рулетка, что ограничивает количество информации, которую можно использовать для калибровки роботов. Они специфичны для конкретной кинематической модели мобильного робота, зависят от размера траектории и начальной оценки кинематических параметров. Недостатком методов является жёсткая привязка к параметрам самой модели мобильного робота, что не позволяет унифицировать данные решения и применять их к летающим мобильным роботам, таким как мультироторные.

Развитие различных датчиков, сенсоров и алгоритмов обработки изображения позволили разработать такие методы, как, например, основанные на дополненном фильтре Калмана, позволяющие калиброваться роботу в процессе выполнения задач, постоянно компенсируя ошибки локализации в реальном времени без необходимости прохождения роботом определенных траекторий. Недостатком данных методов является необходимость наличия самой

периферии на мобильном роботе для сбора данных.

Развитие технологий способствовало появлению более сложных инструментов, позволяющих определить реальное местоположение мобильных роботов. Например, метод, рассмотренный в статье [3], использует LED-маркер и камеру для отслеживания наземного мобильного робота на площадке и калибровки системы локальной навигации. Недостатком данного метода является инструмент, используемый для отслеживания абсолютных координат робота, т.к. он, во-первых, имеет низкую точность, из-за чего появляется необходимость в постоянном его использовании и калибровке робота в режиме реального времени, во-вторых, ограничен использованием только на плоскости, что не позволяет использовать его в декартовом пространстве для летающих мобильных роботов.

Предлагаемым решением является метод калибровки, использующий систему оптического захвата движения. В качестве инструмента планируется использовать OptiTrack, который позволяет обнаруживать и отслеживать объекты, оснащенные сферами со светоотражающей поверхностью. Преимуществом получаемых данных является их полнота, т.к. результат работы инструмента позволяет получить координаты и ориентацию в декартовом пространстве, и точность, что составляет менее 0,85 мм, что позволяет, во-первых, производить калибровку для различных мобильных роботов, перемещающихся не только по площадке, но и в пространстве, во-вторых, производить данную операцию единожды, и, в-третьих, калибровать мобильных роботов без бортовых датчиков. Метод основан на прохождении различных заданных и рандомных траекторий для получения полной информации о зависимости получаемых абсолютных значений местоположения и ориентации робота в пространстве и сигналов, подаваемых на приводные узлы мобильного робота, будь то колёсный привод дифференциальной платформы или мотор, вращающий винт мультироторного мобильного робота. Опционально в данный метод можно включить дополнительные параметры, поступающие о состоянии мобильного робота с периферии.

**Выводы.** Проведён анализ существующих методов калибровки мобильных роботов. Разработан метод, позволяющий производить калибровку единожды для различных мобильных роботов без бортовых датчиков с использованием системы оптического захвата движения.

Предлагаемый метод повысит точность калибровки, улучшит качество управления и позволит перейти на новый уровень автономности мобильного робота.

#### **Список использованных источников:**

1. Borenstein, J., Feng, L.: Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots. // IEEE Trans. Robot. Autom. 12(6), 869–880. 1996. URL: <https://doi.org/10.1109/70.544770>
2. 22. Sousa R.B., Petry M.R., Costa P.G., Moreira A.P., OPTIODO: A GENERIC APPROACH FOR ODOMETRY CALIBRATION OF WHEELED MOBILE ROBOTS // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2022. Т. 105. № 2. С. 1-22. URL: <https://repositorio.inesctec.pt/server/api/core/bitstreams/dd9f08c7-dc9a-4390-9fb2-c1c3f651e137/content>
3. Климов М.А., Воротников С.А., Выборнов Н.А. СПОСОБ КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. №1 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-kalibrovki-sistem-lokalnoy-navigatsii-mobilnyh-robotov>