

MSU ROVER TEAM

**ОТКРЫТЫЕ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ
ШЕСТИКОЛЕСНОГО ПРОТОТИПА МАРСОХОДА (РОВЕРА) ПО УМЕРЕННО
ПЕРЕСЕЧЁННОЙ НЕЗНАКОМОЙ МЕСТНОСТИ С ВИЗУАЛЬНЫМ
РАСПОЗНАВАНИЕМ ЦЕЛИ НАВИГАЦИИ.**

СОГЛАСОВАНО:

Научный эксперт проекта, к.ф.-м.н.

 В.М. Буданов

05.12.2025

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель проекта

 А.А. Смирнов

05.12.2025

**Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям
движения.**

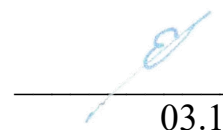
Описание применения.

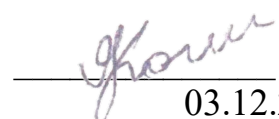
ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

MSUROVERTEAM-SLAM-V1.0.0

(открытая библиотека в сети Интернет)

ИСПОЛНИТЕЛИ:

 В.К. Егоров
03.12.2025

 Я.А. Коломиец
03.12.2025

MSU ROVER TEAM

УТВЕРЖДЕНО

**ОТКРЫТЫЕ БИБЛИОТЕКИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ
ШЕСТИКОЛЕСНОГО ПРОТОТИПА МАРСОХОДА (РОВЕРА) ПО УМЕРЕННО
ПЕРЕСЕЧЁННОЙ НЕЗНАКОМОЙ МЕСТНОСТИ С ВИЗУАЛЬНЫМ
РАСПОЗНАВАНИЕМ ЦЕЛИ НАВИГАЦИИ.**

**Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям
движения.**

Описание применения.

MSUROVERTEAM-SLAM-V1.0.0

(открытая библиотека в сети Интернет)

Листов 7.

АННОТАЦИЯ.

Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения разработана в рамках проекта «Разработки открытых библиотек для автономной навигации шестиколесного прототипа марсохода (ровера) по умеренно пересечённой незнакомой местности с визуальным распознаванием цели навигации». Проект выполнен на средства выделенные «Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) по договору предоставления гранта № 64ГУКодИИС13-D7/102402 от 23 декабря 2024г.

Под полностью автономным режимом навигации (движения) в данном проекте понимается режим, при котором ровер с Аккермановой геометрией поворота самостоятельно, без команд оператора (человека), передвигается по умеренно пересечённой и незнакомой местности по указателям направления движения до указателя конечной цели, может выполнить заранее запрограммированные действия у каждого указателя и самостоятельно вернуться обратно к месту старта. При этом оператор может просматривать на своем мониторе видеоизображения и телеметрию, передаваемые с ровера. «Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» включает в себя 2D локализацию, картирование, построение маршрута с возможностью работы без использования глобальных систем спутникового позиционирования и управление движением ровера с помощью алгоритмов SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) в реальных условиях по умеренно пересеченной местности.

«Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» разработана на языке программирования C++, для платформы ROS2 Humble (Robot Operating System 2 версии Humble).

СОДЕРЖАНИЕ.

АННОТАЦИЯ.	2
СОДЕРЖАНИЕ.	3
Назначение программы.	4
Условия применения.	5
Описание задачи.	6
Входные и выходные данные.	7

Назначение программы.

«Открытая библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» предназначена для автоматического определения текущей позиции робота (2D локализация), для построения карты местности в режиме реального времени (картирование), для построения маршрута робота с учетом рельефа местности и возможностью работы без использования глобальных систем спутникового позиционирования (навигации), а также для управления движением робота с помощью алгоритмов SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) в реальных условиях по умеренно пересеченной местности.

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИКЛАДНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.

Данная открытая библиотека может быть использована на автономных мобильных платформах на земле и в космосе для геологической и экологической разведки, изучения и освоения труднодоступных территорий, мониторинга состояния энергетического оборудования (в т.ч. на АЭС) без вывода его из эксплуатации в условиях плохой связи и отсутствия актуальных карт местности. Дополнительными вариантами использования данной библиотеки могут быть:

- сельскохозяйственные беспилотные технологии, которые используют визуальные маркеры для ориентирования, например, при вспахивании поля;
- строительные автономные роботы способные работать в постоянно меняющейся местности.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Платформа: ROS2 Humble (Robot Operating System 2 версии Humble).

Язык программирования: C++.

Зависимости:

- robot_localization,
- Nav2,
- Rtabmap,
- BehaviorTree.CPP,
- BehaviorTree.ROS2,
- ROS2 (интеграция с роботом).

МИНИМАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ:

- Операционная система: Ubuntu 22.04.6,
- Процессор: AMD Ryzen R7 6800U,
- ОЗУ: 16Гб,
- Объем диска: 16 Гб,
- Наличие камеры глубины,
- Наличие IMU WITMOTION WT901BLECL BLE5.0,
- Наличие колесной базы с энкодерами на моторах.

Ограничения, накладываемые на область применения программы.

«Библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» без дополнительных доработок применима только на 4-х, или 6-ти колесном транспортном средстве (ровере), с 4-мя поворотными и всеми ведущими колесами. На данном транспортном средстве должна использоваться Аккерманова геометрия поворота.

Кроме ограничений по типу транспортного средства, при автономном движении ровер останавливается в воображаемом круге радиусом 2 м от указателя направления движения, как минимум на 10 секунд, прежде чем начинает перемещаться к следующему указателю. По крайней мере половина ровера будет находиться внутри этого круга в течение минимум 10 секунд. Столкновения ровера с указателями не допускаются. Установленная пауза 10 секунд у каждого указателя предоставляет возможность дополнить код автономной навигации ровера дополнительными заранее запрограммированными действиями у каждого указателя (например, взятие проб грунта, или измерение параметров атмосферы).

Условия применения.

«Библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» ровера должна быть совместима с установленными на ровере видеокамерами (в т.ч. с камерой глубины) и сенсорами, контролирующими его движение, и должна работать с учетом их показаний.

Для автоматизированного построения карты местности во время движения ровера «Библиотека автономной навигации по распознанным указателям движения» использует только камеру глубины INTEL RealSense D435i. Технологии дистанционного зондирования (Лидары) в данном проекте не используются.

В качестве сенсоров, контролирующих движение ровера используются магнитные инкрементальные энкодеры и инерциальный блок WitMotion wt901. Магнитные инкрементальные энкодеры установлены

на валах приводов поступательного движения робота. Их разрешение, с учётом редукторов, 34*100 "щелчков" на оборот колеса. Калибровка энкодеров производилась экспериментально, для этого в модуле «управления движения роботом на низком уровне» предусмотрен настраиваемый коэффициент.

Кроме работы с конкретными камерами и сенсорами в коде «библиотеки автономной навигации по распознанным указателям движения» учтены следующие габаритные размеры робота:

- длина робота 1,2+0,2м;
- ширина робота 1,2+0,2м;
- высота робота с мачтой и антеннами связи 1,3+0,3м;
- диаметр шин 295мм;
- клиренс 290мм.

Работа программной «библиотеки автономной навигации по распознанным указателям движения» гарантируется при запуске на платформах с аппаратным CPU на скорости движения робота не более 5км/ч. При этом, робот должен быть оснащен второй аппаратной платформой с аппаратным GPU, на которой исполняется модуль распознавания указателей движения.

Тестирование данной библиотеки проводилось на платформе «Мини ПК Beelink SER5 Max (AMD Ryzen 5 5500U)». В качестве второй платформы, для запуска модуля распознавания указателей движения использовалась Nvidia Jetson Orin NX Super. На роботе обе аппаратные платформы объединены в единый аппаратный стек под управлением ROS2 Humble (Robot Operating System 2 версии Humble).

Описание задачи.

При автономном движении робота колесная одометрия и показания с IMU датчика локализуют положение робота в пространстве. Акерманова геометрия поворота обеспечивает перемещение робота с минимальным проскальзыванием колес, а инкрементальные энкодеры на каждом колесе позволяют точно измерять пройденную дистанцию. При работе модуля автономной навигации по распознанным указателям используется метод одновременной навигации, построения карты и движения, который увязывает независимые процессы в непрерывный цикл последовательных вычислений, при этом результаты одного процесса участвуют в вычислениях другого процесса. Это позволяет добиться полной автономности в движении робота по незнакомой местности без предварительно загруженных карт, лидаров и спутниковой навигации.

Входные и выходные данные.

Программная библиотека «автономной навигации по распознанным указателям движения» предоставляет минимальный и достаточный набор объектов для передачи данных в пакет управления нижним уровнем:

- Входные данные: `wheel_states` - угловые скорости колёс для расчета колесной одометрии.
- Выходные данные: `cmd_vel` - линейные скорости по осям X и Y и угловая скорость ровера по оси Z в формате `[vel_x, vel_y, ang_z]`.