

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ УЧЕБНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

А.В. Мальцев

alexmaltsevvik@gmail.com

SPIN-код: 9537-4461

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен процесс разработки системы навигации для учебного мобильного робота. Выполнен анализ существующих систем навигации мобильных роботов, представлен аппаратный состав навигационных систем, показаны их достоинства и недостатки. Приведена схема взаимодействия бортовых подсистем при автономном движении мобильного робота. Описана конструкция базового шасси учебного мобильного робота и его технические характеристики. Разработана структурная схема взаимодействия пакетов ROS (robotic operating system — роботизированная операционная система) для создания карты местности с использованием лазерного дальномера, а также структурная схема взаимодействия пакетов ROS для локализации учебного мобильного робота. На основании проведенных исследований сделаны выводы о применимости предложенной реализации системы навигации на базе лазерного дальномера для учебного мобильного робота.

Ключевые слова

Мобильный робот, фреймворк, роботизированная операционная система, система навигации, автономное управление, лазерный дальномер, шасси, обнаружение локальных препятствий, параметры движения

Поступила в редакцию 02.07.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Успешное развитие робототехники требует прочной и глубокой научной базы, которая создается объединенными усилиями ученых в области механики, прикладной математики, теории управления, информатики. Мобильные роботы — весьма удобный объект для постановки, изучения и нахождения решений современных проблем мехатроники. Эти роботы уже покинули лабораторные стенды и широко используются в повседневной жизни. Промышленные мобильные роботы давно стали привычным средством оптимизации циклов производства на предприятиях автомобилестроения, авиастроения, судостроения, приборостроения. Они доставляют материалы, технологическое или иное оборудование к месту проведения работ. Роботы используются работниками спецслужб для обнаружения и уничтожения взрывных устройств. Робототехнические системы интенсивно внедряются в медицинскую практику в качестве оборудования для доставки необходимых вещей пациентам. Активно ведутся разработка и выпуск на рынок роботов широкого потребления для использования в быту [1].

Мобильные роботы включают в себя целый спектр устройств: чувствительные элементы, исполнительные механизмы, компьютеры или элементы искусственного интеллекта. Для их проектирования и управления ими нужны квалифицированные специалисты, на подготовку которых требуются учебные роботы. Поэтому привлечение студентов и аспирантов к исследованиям мобильных роботов позволит добиться качественного улучшения подготовки высококвалифицированных специалистов [2].

Система автономного управления движением мобильного робота является сложной структурой и требует создания ряда взаимосвязанных бортовых систем, таких как СФМВС — система формирования модели внешней среды; СПД — система планирования движения; ИС — исполнительная система; НС — навигационная система; СП — следящие приводы; СТЗ — система технического зрения; КБД — картографическая база данных. Взаимодействие этих систем в совокупности представляет собой схему автономной системы управления движением мобильного робота (рис. 1). Первым этапом реализации системы управления движением учебного мобильного робота является разработка системы навигации [3].

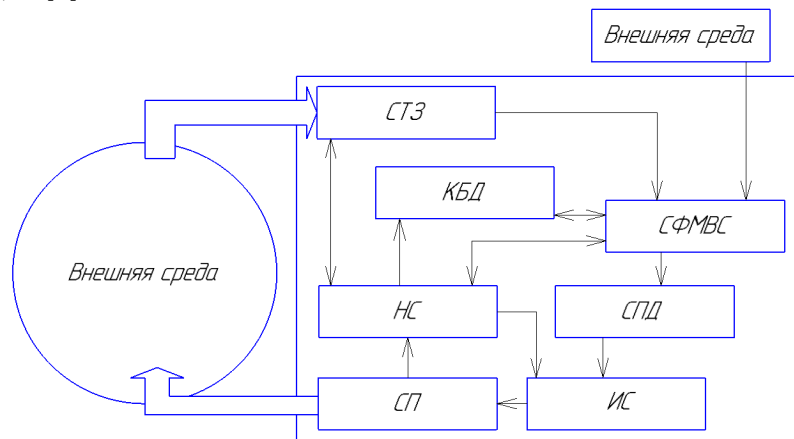


Рис. 1. Структурная схема АСУД

В качестве базы для учебного робота предложено использовать радиоуправляемую машину, для которой разработана конструкция электромеханических модулей управления движением камеры и колес учебного мобильного робота, а также платформа для размещения бортового компьютера, датчиков и системы технического зрения.

Задачей данной статьи является разработка системы навигации для учебного мобильного робота.

Конструкция учебного мобильного робота. Перед разработкой системы навигации учебного мобильного робота целесообразно рассмотреть состав и конструкцию базового шасси.

В качестве базовой платформы для учебного мобильного робота выбрана серийно выпускаемая радиоуправляемая автомоделль полупрофессионального

уровня Kyosho EP Inferno VE Race Spec (рис. 2). Модель обладает симметричным полным приводом и полностью независимой подвеской, ее скорость достигает до 70...80 км/ч. Шасси выполнено из прочных видов пластика, что позволяет выдерживать столкновения на довольно больших скоростях [4].

Учебный мобильный робот служит для отработки принципов конструирования и реализации основных систем мобильных роботов с базовым набором задач. Пользователь должен иметь возможность быстро устранить или заменить неисправные элементы, а значит, должен легко получать к ним доступ.

С учетом конструкции базового шасси использование типов датчиков, которые необходимо закреплять непосредственно на механической части или внутри конструкции, будет нецелесообразным.

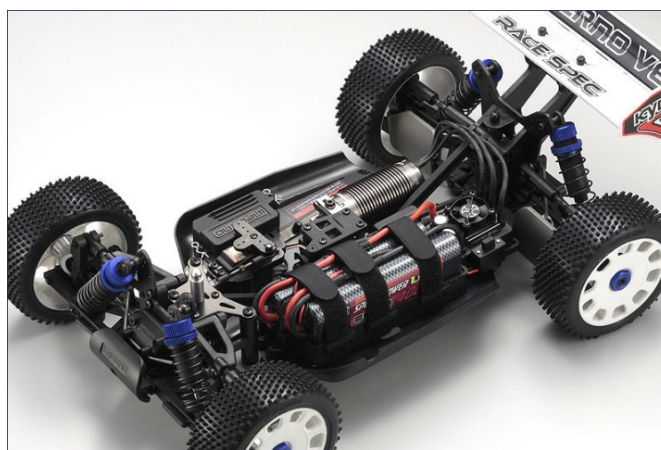


Рис. 2. Базовая радиоуправляемая автомодел

Анализ вариантов построения системы навигации учебного мобильного робота. Для выбора системы навигации учебного мобильного робота был проведен обзор литературы [5–7]. В процессе анализа литературных источников стало ясно, что при построении системы навигации возникают значительные трудности. Во-первых, необходимо определить минимальный аппаратный состав, который используется в большинстве существующих мобильных роботов. Это делается для того, чтобы учебный робот включал в себя наиболее доступный, но необходимый набор элементов. Во-вторых, при работе с учебным мобильным роботом студенты могут вывести из строя основные узлы системы навигации, поэтому недопустимо использовать аппаратное обеспечение, которое требует вмешательства в конструкцию робота, потому что в таком случае замена неисправных элементов будет очень трудоемким процессом. В-третьих, после выбора аппаратной части необходимо заранее выбрать тип системы навигации и алгоритм, подходящий для ее реализации. В-четвертых, для того чтобы система навигации выполняла требуемый алгоритм, необходимо его запрограммировать. Для этого целесообразно выбрать программное обеспечение или среду разработки, которые позволяют работать с выбранными аппаратными элементами.

Для успешной навигации в пространстве бортовая система робота должна уметь строить маршрут, управлять параметрами движения, например углом поворота колес и скоростью их вращения. Необходимо правильно интерпретировать сведения об окружающем мире, получаемые от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты. Принцип работы системы навигации также зависит от типа, который выберет разработчик, а тип системы навигации определяется аппаратным составом. Рассмотрим основные типы систем навигации мобильных роботов [8]:

1) пассивная система навигации — прием информации о собственных координатах и других характеристиках своего движения от внешних источников, например: GPS или радиомаяки;

2) активная система навигации — прием информации о собственных координатах и других характеристиках своего движения от источников расположенных на корпусе или в конструкции мобильного робота, например: энкодеры, акселерометры, лазерные дальнометры и т. д.

Выбор аппаратной части системы навигации учебного мобильного робота.

Исходя из того что учебный мобильный робот разрабатывается на базе радиоуправляемой модели *kyosho inferno* для работы в структурированной среде, на его аппаратную часть системы навигации накладываются некоторые ограничения. Поскольку габариты учебного мобильного робота менее одного метра, а GPS имеет точность измерений в пределах нескольких метров, использование данной системы может привести к неточному определению местоположения и робот поедет по неправильной траектории. Радиомаяки располагаются в фиксированных точках некоторого маршрута, и учебный мобильный робот теряет возможность выбирать альтернативный путь и распознавать местонахождение локальных препятствий. Таким образом, использование пассивной системы навигации нецелесообразно.

К аппаратной части активной системы навигации относят механические и оптические гироскопы и акселерометры. Такие датчики используют для определения скорости, угла поворота, ускорения, но с их помощью нельзя определить наличие препятствий на пути (аналогично одометрам, с помощью которых также невозможно определить наличие препятствий). Но, помимо этого такие датчики необходимо устанавливать в конструкцию учебного робота, следовательно, замена вышедшей из строя детали будет значительно сложнее. Также к активной системе навигации относят стереоскопические системы, для которых необходимо хорошее освещение, они сложны в реализации, а их точность зависит от расстояния до объекта наблюдения.

Анализируя работу некоторых систем навигации и параметры различных датчиков, можно заключить, что для учебного мобильного робота наиболее эффективно и выгодно использовать лазерный дальномер *Lidar neato xv-11*. Данный датчик используется в роботах-пылесосах, имеет небольшую относительно других датчиков этого типа стоимость. Точность лазерных дальномеров порядка десятка миллиметров, а радиус обзора 360° , в отличие от остальных датчиков. Используя лидар, учебный мобильный робот сможет определять свое положение и наличие локальных препятствий одновременно, без использования дру-

гих аппаратных элементов, что позволит ему правильно строить маршрут в зависимости от наличия свободного пути и с требуемой точностью.

Разработка программного обеспечения системы навигации учебного мобильного робота на базе ROS. Когда говорят о планировании автономного перемещения, обычно имеют в виду задачу, состоящую из разработки и реализации метода SLAM (simultaneous localization and mapping — одновременная локализация и отображение), т. е. говорят об одновременной локализации и построении карты, а также о планировании траектории движения. Для решения данной задачи на базе выбранного датчика предложена методика, основанная на фреймворке ROS (robotic operating system — роботизированная операционная система). ROS состоит из двух частей: операционной системы и набора пакетов, которые реализуют различные методы: SLAM, планирование, восприятие, моделирование. Взаимодействие элементов в ROS происходит в узлах, которые могут получать и передавать сообщения между собой. Совокупность нескольких узлов представляет собой пакет.

Для реализации поставленной задачи воспользуемся функционалом, который предоставляет ROS. В ROS существует пакет `gmapping`, реализующий решение задачи по построению карты местности, что является первым этапом реализации системы навигации учебного мобильного робота. Данный пакет принимает на вход сообщения `tf/tfMessage` и `sensor_msgs/LaserScan` с данными с лазерного дальномера в топики (буферы, которые предназначены для односторонней передачи сообщений) `tf` и `scan`, передает данные, необходимые для определения точки отчета, и в топике `map` хранит информацию о карте, которая обновляется с заданной периодичностью (рис. 3) и передается в сообщении `nav_msgs/OccupancyGrid`.

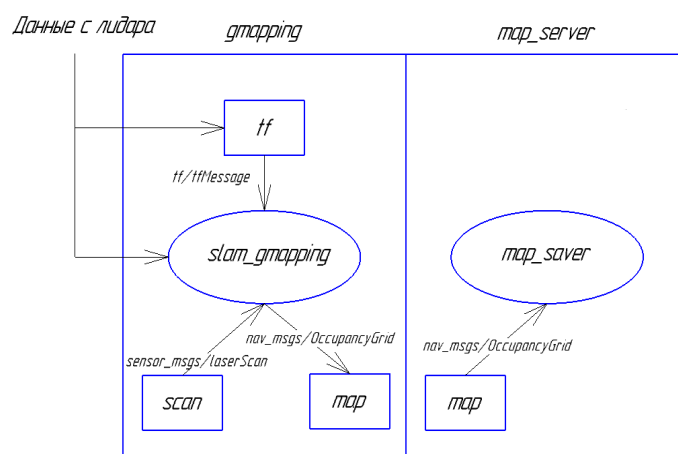


Рис. 3. Структура работы пакетов, реализующих построение карты местности

Для решения задачи локализации учебного мобильного робота в ROS существует пакет `amcl`, который использует алгоритм на основе фильтра частиц, представляющий собой адаптивную локализацию метода Монте-Карло. Данный

алгоритм представляет собой вероятностную систему локализации для робота, движущегося в плоскости по известной карте. Узлы данного пакета принимают на вход карту местности, информацию о координатах и данные с датчика, а публикуют информацию с сообщением об оценочном положении мобильного робота и выборку оценок положения мобильного робота (рис. 4).

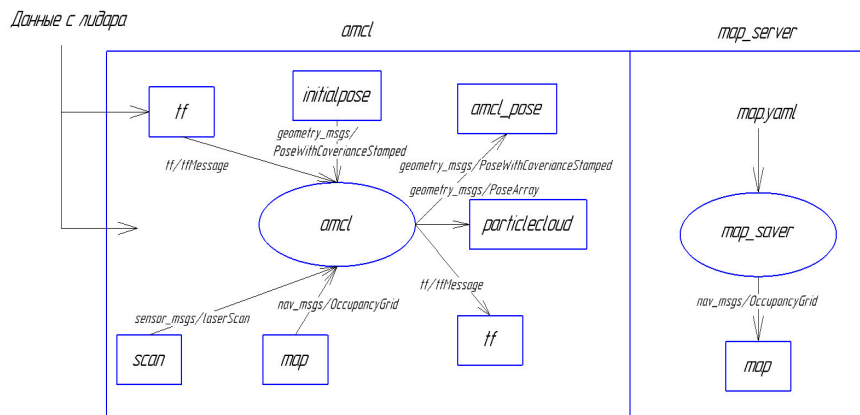


Рис. 4. Структура работы пакетов, реализующих локализацию учебного мобильного робота

Заключение. Анализ конструкции базового шасси учебного мобильного робота и структуры системы управления мобильными роботами позволил выбрать элементы системы навигации и сформировать ее структуру. Предложенный аппаратный состав не требует существенной переработки конструкции робота и позволяет легко перестраивать систему управления роботом в зависимости от требуемой реализации.

Разработанное программное обеспечение для обработки данных, получаемых при работе лазерного дальномера, показало возможность определения положения учебного робота в пространстве. Используемый состав пакетов ROS, а именно: `amcl`, `map_server` и `gmapping`, позволяет определять положение учебного мобильного робота в помещениях и учебных лабораториях с использованием лазерного дальномера на основе вероятностной системы локализации.

В дальнейшем планируется доработка программного обеспечения, которое позволит определять пространственное положение робота с точностью до сантиметра.

Литература

- [1] Михайлов Б.Б., Назаров А.В., Ющенко А.С. Автономные мобильные роботы — навигация и управление. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2016, № 2, с. 48–67.
- [2] Лапшов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В. Опыт создания автономных мобильных робототехнических комплексов специального назначения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2011, сп. вып. «Специальная робототехника и мехатроника», с. 7–24.

- [3] Носков В.П., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Математические модели движения и системы технического зрения мобильных робототехнических комплексов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
- [4] Радиоуправляемая машина с электродвигателем KYOSHO 1:8 EP 4WD Inferno VE RTR. *hobbycenter.ru: веб-сайт*. URL: https://hobbycenter.ru/kyosho/1_8_ep_4wd_inferno_ve_rtr.html (дата обращения: 15.08.2019).
- [5] Ткачев А.В., Шаныгин С.В. Обзор мобильных роботов, использующих бортовые системы навигации для автономного планирования пути к заданной цели. *Молодой ученый*, 2015, № 19, с. 215–219.
- [6] Минин А.А. Определение параметров собственного движения мобильного робота, оснащенного лазерным дальномером. *Экстремальная робототехника. Тр. Всерос. науч.-тех. конф.* СПб., 2007, с. 205–213.
- [7] Герасимов В.Н. Система навигации сервисного робота в среде с динамическими препятствиями. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
- [8] Калач Г.П., Калач Г.Г., Травников С.А. Перспективы применения робототехнических комплексов в интересах обеспечения военной безопасности государства. *Наука. Общество. Оборона*, 2016, № 1(6). DOI: 10.24411/2311-1763-2016-00005 URL: <https://www.noo-journal.ru/nauka-obshchestvo-oborona/2016-1-6/article-0060/>

Мальцев Александр Викторович — студент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Бошляков Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мальцев А.В. Разработка системы навигации учебного мобильного робота. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-541>

DEVELOPMENT OF A NAVIGATION SYSTEM FOR A TRAINING MOBILE ROBOT

A.V. Maltsev

alexmaltsevvik@gmail.com

SPIN-code: 9537-4461

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The process of developing a navigation system for a training mobile robot is considered. The analysis of the existing navigation systems of mobile robots is carried out, the hardware of navigation systems is presented, their advantages and disadvantages are shown. The scheme of interaction of airborne subsystems with autonomous movement of a mobile robot is given. The design of the basic chassis of the training mobile robot and its technical characteristics are described. A block diagram of the interaction of ROS packages (robotic operating system) for creating a terrain map using a laser rangefinder is developed, as well as a block diagram of the interaction of ROS packets for the localization of a training mobile robot. Based on the studies, conclusions are drawn on the applicability of the proposed implementation of a navigation system based on a laser rangefinder for a training mobile robot.

Keywords

Mobile robot, framework, robotic operating system, navigation system, autonomous control, laser rangefinder, chassis, detection of local obstacles, motion parameters

Received 02.07.2019

© Bauman Moscow State Technical
University, 2019

References

- [1] Mikhaylov B.B., Nazarov A.V., Yushchenko A.S. Autonomous mobile robots- navigation and control. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, no. 2, pp. 48–67 (in Russ.).
- [2] Lapshov V.S., Noskov V.P., Rubtsov I.V. Experience of development special-purpose autonomous mobile robotic complexes. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2011, spec. iss. “Special robotics and mechatronics”, pp. 7–24 (in Russ.).
- [3] Noskov V.P., Rubtsov V.I., Rubtsov I.V. Matematicheskie modeli dvizheniya i sistemy tekhnicheskogo zreniya mobil'nykh robototekhnicheskikh kompleksov [Mathematical motion models and technical vision systems of mobile robotic complexes]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2015 (in Russ.).
- [4] Radioupravlyаемая машина с электродвигателем KYOSHO 1:8 EP 4WD Inferno VE RTR [Radio-guided machine with KYOSHO 1:8 EP 4WD Inferno VE RTR electro engine]. *hobbycenter.ru: website* (in Russ.). URL: https://hobbycenter.ru/kyosho/1_8_ep_4wd_inferno_ve_rtr.html (accessed: 15.08.2019).
- [5] Tkachev A.V., Shanygin S.V. Overview of the mobile robots that use the on-board navigation system for offline path planning to a specified target. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2015, no. 19, pp. 215–219 (in Russ.).
- [6] Minin A.A. [Parameter estimation of mobile robot self-motion equipped with laser range sensor]. *Ekstremal'naya robototekhnika. Tr. Vseros. nauch.-tekh. konf.* [Extremal robotics. Proc. Russ. Sci.-Tech. Conf.]. Sankt-Petersburg, 2007, pp. 205–213 (in Russ.).

- [7] Gerasimov V.N. Sistema navigatsii servisnogo robota v srede s dinamicheskimi prepyatstviyami. Avtoref. diss. kand. tekh. nauk [Navigation system of service robot in environment with dynamic obstacles]. Moscow, Bauman MSTU publ., 2015. (in Russ.).
- [8] Kalach G.P., Kalach G.G., Travnikov S.A. Perspectives the use of robotic systems in the interests of the military security of the state. *Nauka. Obshchestvo. Oborona*, 2016, no. 1(6). DOI: 10.24411/2311-1763-2016-00005 URL: <https://www.noo-journal.ru/nauka-obshestvo-oborona/2016-1-6/article-0060/> (in Russ.).

Maltsev A.V. — Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Boshlyakov A.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Maltsev A.V. Development of a navigation system for a training mobile robot. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-541.html> (in Russ.).