

УДК 621.865.8

Кершин А.Ж., Ергалиев Д.С.

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

## НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Рассматриваются новые методы управления и навигации роботами, способными к автономному поведению в условиях недетерминированной рабочей среды. Деятельность человека-оператора сводится к наблюдению за функционированием робототехнической системы и к постановке текущих задач. Существенную роль при этом играет система навигации, поскольку робот должен самостоятельно оценивать окружающую обстановку и планировать свой путь, в том числе и при наличии других движущихся объектов в рабочей зоне. Автоматическое решение этих задач существенно облегчает задачу оператора, но требует разработки «интеллектуальной» системы управления автономным роботом. К числу таких задач относится и задача автоматического возвращения робота при потере связи с оператором, решение которой повышает надежность робототехнической системы. Изменение характера деятельности оператора, который теперь не управляет непосредственно движениями робота, приводит к изменению характера системы управления, поскольку она должна учитывать возможности восприятия оператора и характер принимаемых им решений. Одним из путей решения этой задачи является применение нечеткой логики как на этапе восприятия информации, так и на этапах планирования действий и принятия оперативных решений

**Ключевые слова**

автономные мобильные роботы; система навигации; SLAM; нечеткая логика; лингвистические переменные; нечеткий логический вывод

**Введение.** Современные мобильные роботы могут самостоятельно перемещаться в окружающем пространстве и выполнять необходимые действия с помощью манипуляторов. Робот оснащен системой технического зрения и комплексом информационных датчиков, способных сформировать комплексное представление о текущей ситуации. База знаний робота, позволяет ему самостоятельно ориентироваться в окружающей среде и принимать решения о действиях, необходимых для решения поставленной задачи. Таким образом, манипуляционный мобильный робот представляет собой «интеллектуальную» техническую систему, способную к автономному поведению. Тем не менее, в большинстве задач, выполняемых в заранее не определенных условиях и связанных с высокой «ценой» ошибки при неверных действиях, по-прежнему предполагается участие человека-оператора в управлении роботом.

Применение робототехники в различных приложениях, связанных с решением специальных задач, требует максимального упрощения способов взаимодействия человека и робота. Наиболее естественным способом такого взаимодействия является речевое диалоговое управление. Задача управления роботом со стороны оператора в этом случае включает диалог на проблемно-ориентированном языке, близком к естественному, и наблюдение за действиями робота. Постановка задачи об управлении в этом случае видоизменяется, поскольку робот становится уже не объектом управления, а техническим субъектом-партнером, способным самостоятельно определять свои подцели и линию поведения в интересах общей задачи, поставленной оператором. Роль обратной связи в системе диалогового управления выполняют речевые сообщения робота оператору, имеющие целью уточнение команд, информирование оператора о текущей ситуации, или о достижении поставленной цели.

Особая роль в решении задач управления автономными роботами принадлежит информационно-сенсорной системе, которая должна самостоятельно анализировать текущую ситуацию, планировать свои действия и при этом взаимодействовать с человеком-оператором на языке, близком к естественному языку. Она должна самостоятельно искать и обнаруживать опасные предметы, свободно перемещаться в пространстве, в котором могут находиться и другие движущиеся объекты. При потере связи с оператором робот должен самостоятельно, используя полученную и запомненную информацию о внешнем мире, вернуться обратно на исходную позицию.

Управление автономным роботом со стороны оператора приобретает новый характер. Это уже не непосредственное управление движением, а постановка задач. Поскольку условия выполнения задач не всегда соблюдаются, управление приобретает характер диалога между человеком и интеллектуальной системой управления. Последняя принимает равноправное участие в планировании операций и принятии решений. Такого рода робототехнические

системы называют системами кооперативного управления [1].

Область применения автономных роботов очень широка. Это поиск и обезвреживание опасных объектов, задачи радиационной и химической разведки, работа в зоне техногенных и природных катастроф. Такие робототехнические системы находят применение и в гражданской сфере в качестве сервисной робототехники. Сервисные роботы уже появились и успешно выполняют функции обслуживания посетителей в музеях, аэропортах, магазинах. Особенно важно применение сервисных роботов в медицинских учреждениях, в том числе, в качестве средства реабилитации пациентов.

Навигация и перемещение в пространстве с движущимися препятствиями.

Рассматривается работа мобильного робота в помещении, план которого заранее неизвестен. В помещении имеются как статические препятствия (стены, столы, стулья), так и подвижные (люди, другие роботы). Мобильный робот оснащен сканирующим лазерным дальномером, который получает скан рельефа окружающих объектов в плоскости, параллельной подстилающей поверхности. Необходимо в режиме реального времени определять положение мобильного робота в системе координат, связанной с помещением (задача локализации), а также построить карту данного помещения, отображающую рельеф стен и неподвижных объектов. Такого рода системы управления известны как системы SLAM (System of Localization and Mapping).

Функциональная структура навигационной системы мобильного робота [2] показана на рисунке 1. Особенностью предложенной структуры является независимость от типа шасси мобильного робота, а также от наличия и типа датчиков одометрии, что позволяет использовать разрабатываемую навигационную систему на всех типах мобильных роботов, работающих в помещении. Для выполнения своих задач робот должен двигаться по заданному маршруту и при этом соблюдать меры безопасности, в том числе, при наличии движущихся объектов в рабочей зоне. Таким образом, робот перемещается автономно при помощи навигационной системы, при этом оператор выполняет только функцию постановки задачи. Не исключается и полуавтоматический режим, например, режим телеприсутствия, при котором задача оператора существенно упрощается.

На первом этапе работы навигационной системы решается задача фильтрации скана путем удаления ложных измерений с помощью специального фильтра.

Для решения задачи анализа модели рабочей среды вначале исследовался метод нормальных распределений (NDT – Normal Distribution Transform) [3]. В этом случае карта помещения разбивается на ячейки, каждая из которых содержит не сами точки, а параметры нормального распределения всех точек, попавших внутрь. Решая задачу минимизации функции взаимной корреляции скана и карты, можно определить положение робота, из которого был получен текущий скан.

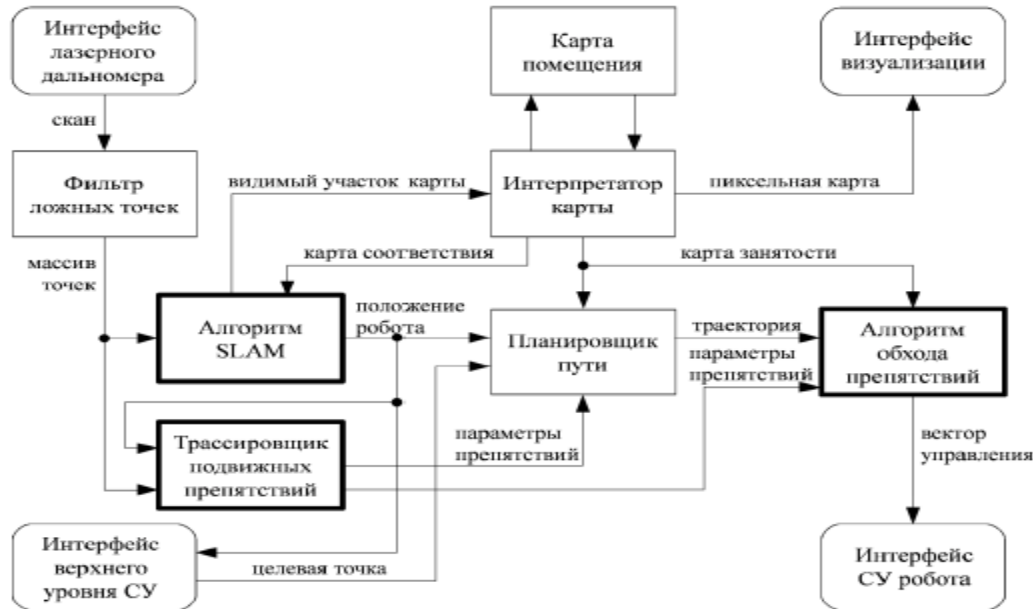


Рисунок 1 – функциональная схема навигационной системы мобильного робота

Анализ этого способа показал, что он существенно ограничивает скорость движения мобильного робота, поскольку все вычисления выполняются в реальном масштабе времени. Поэтому был предложен новый способ, при котором полученный с помощью системы информационных датчиков скан преобразуется в сеточную функцию. При этом каждая точка скана преобразуется в некоторую непрерывную функцию, затем они объединяются при помощи выбранного принципа суперпозиции и накладываются на карту-сетку, тем самым образуя сеточную функцию. Метод сеточных функций, так же как и метод нормальных распределений, основан на сопоставлении скана и полученной карты при помощи взаимной корреляционной функции. Для минимизации этой функции был использован модифицированный метод Ньютона. После решения задачи SLAM положение робота на карте может быть вычислено с использованием преобразование из системы координат лазерного дальномера в систему координат мобильного робота. Сравнительный анализ двух рассмотренных методов локализации показал, что преимущество нового метода сеточных функций заключается в расширенной области сходимости, что позволяет заметно увеличить скорость движения мобильного робота [4].

Специфика управления мобильным роботом в динамической среде состоит в том, что движение препятствий нельзя рассчитать заранее. Чтобы избежать столкновений с движущимися препятствиями, необходимо знать их положение и предсказывать траекторию их движения. Тогда можно двигаться вдоль спланированной траектории, отклоняясь от нее в нужный момент, чтобы совершить маневр и объехать препятствие. Предлагается алгоритм управления роботом в динамической среде, основанный на трассировке подвижных препятствий [5]. На первом этапе решается задача планирования маршрута по построенной методом сеточных функций карте помещения. Для этого используется хорошо

известный алгоритм A\*. Далее решается задача трассировки подвижных препятствий – определения текущего вектора состояния препятствия в каждый момент времени, синхронизированный с получением нового скана. Для построения списка препятствий, сначала проводится классификация и кластеризация точек скана. Кластеризация в данном случае проводится по евклидовому расстоянию между точками скана. Пороговое значение вычисляется исходя из расстояния до точки и углового разрешения лазерного дальномера.

Заключение. Развитие робототехники вступает в новую стадию, когда от задач дистанционного управления мобильными и манипуляционными робототехническими устройствами мы переходим к управлению кооперативного типа, при котором робот становится полноценным участником процесса управления – партнером оператора. При этом существенно упрощается задача оператора, которому практически не требуется предварительной подготовки. Однако усложняется сама робототехническая система, обладающая теперь высокой степенью автономности и обладающая возможностями, которые относятся к искусственному интеллекту.

Благодаря этому становится возможным решать с помощью робототехнических устройств значительно более широкий круг задач, чем раньше. Проблемы теперь упираются, с одной стороны, в возможности вычислительной техники, которая должна оценивать текущую обстановку и управлять мобильными роботами в реальном масштабе времени с учетом достаточно высоких скоростей движения. А с другой – в психофизиологические возможности человека-оператора в сопровождении автономной деятельности мобильных роботов во внешнем мире. Если первая проблема постепенно решается в ходе технического прогресса, то вторая, в силу ограниченности возможностей человека требует постоянного развития интерфейса «человек-робот» с учетом его психологических ограничений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kristensen S, Horstmann S., Klandt J., Lohner F., and Stopp A. Human-friendly interaction for learning and cooperation // Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seoul, Korea, 2001. IEEE. – P. 2590-2595.
2. Герасимов В.Н., Михайлов Б.Б. Решение задачи управления движением мобильного робота при наличии динамических препятствий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. Спецвыпуск "Робототехнические системы". – 2012. – № 6. – С. 83-92.
3. Ulas C., Temeltas H. Multi-Layered Normal Distribution Transform for Fast and Long Range Matching // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2013. – Vol. 71 (1). – P. 85-108.
4. Герасимов В.Н. Алгоритм SLAM на основе корреляционной функции // Экстремальная робототехника: Сборник докладов всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 126-133.
5. Герасимов В.Н. К вопросу управления движением мобильного робота в динамической среде // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 1 (2). – С. 44-51.