

УДК 004.896

АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОБЪЕКТОВ

М.Э.Х.М.М. Саллам*Южно-Уральский государственный университет*

Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76

E-mail: mohamedslam2000@yahoo.com

Т.А. Макаровских*Южно-Уральский государственный университет*

Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76

E-mail: Makarovskikh.T.A@susu.ru

Ключевые слова: задачи управления, мониторинг, маршрутизация, траектория.

Аннотация: В докладе будет рассмотрен алгоритм построения кратчайшего маршрута для робота, проводящего мониторинг с земли. Управление роботом осуществляется при помощи разработанной авторами программы, которая хранит базу данных успешно преодоленных роботом маршрутов для дальнейшего определения траектории движения робота с учетом возникших на пути его движения препятствий как постоянных, так и временных.

1. Введение

Проведение мониторинга и анализа состояния различных наземных объектов является актуальной задачей во многих областях деятельности: от промышленности до сельского хозяйства. Использование человеческих ресурсов при этом зачастую является затруднительным либо невозможным, например, при обследовании нескольких гектар посадок плодовых деревьев либо посевов, при мониторинге внутри помещений большой площади либо с вредными для человека условиями окружающей среды, при охране жилых помещений, обследовании инфекционных отделений больниц и пр.

Во всех рассмотренных выше случаях в обследуемом пространстве имеется ряд препятствий, которые можно подразделить на постоянные (деревья, сооружения, закреплённая мебель) и временные (люди, животные, грузы). Устройство (робот), проводящее мониторинг, должно учитывать эти препятствия при расчете оптимального пути проведения мониторинга, составлять маршрут своего перемещения с учетом этих препятствий.

Поставленная задача имеет общие точки с т.н. *drone-and-truck problem* [1], где также рассматривается устройство, проводящее мониторинг (дрон), и

устройство, выполняющее техническое обслуживание дрона (грузовик). Отличия рассматриваемой задачи заключаются в том, что робот должен уметь преодолевать препятствие, а наличие грузовика в некоторых случаях не требуется.

В докладе будет рассмотрен алгоритм построения кратчайшего маршрута для робота, проводящего мониторинг с земли. Управление роботом осуществляется при помощи разработанной авторами программы, которая хранит базу данных успешно преодоленных роботом маршрутов для дальнейшего определения траектории движения робота с учетом возникших на пути его движения препятствий.

2. Содержательная постановка задачи

Необходимо провести мониторинг группы объектов S_i , $i = 1, \dots, K$, расположенных в некоторой области F . Область F представляет собой многоугольник, в общем случае невыпуклый. Координаты N углов многоугольника (x_j, y_j) , $j = 1, \dots, N$ заданы в виде вектора, координаты указываются по часовой стрелке, начиная с наименьшей. Объекты S_i целиком находятся в области F . Заданы расстояния $L(S_i, S_j)$, $i, j = 1, \dots, K$, $i \neq j$ между всеми парами объектов. Стоит задача провести мониторинг этих объектов, используя минимум ресурсов устройства для мониторинга (робота либо дрона). Под ресурсами в данном случае понимается: расход заряда аккумулятора (в общем случае требуется подзарядка в процессе проведения мониторинга), объем карты памяти (в общем случае объема памяти для проведения мониторинга всех объектов не достаточно и требуется замена карты). Подзарядку аккумулятора либо замену карты памяти можно проводить как на месте, так и после возвращения устройства мониторинга на свою парковку. В первом случае потребуются т. н. «грузовик», для которого строится маршрут доставки аккумулятора либо карты памяти. Во втором случае необходимо учесть время для возвращения на парковку до момента расходования заряда аккумулятора и построить кратчайший маршрут.

Таким образом, устройство для мониторинга, будем называть его «робот» располагается на парковке с координатами (P_x, P_y) . Задача – проложить маршрут робота из точки (P_x, P_y) , называемой парковкой, для осуществления работы (мониторинга) объектов S_i , $i = 1, \dots, K$. В общем случае объекты S_i заданы векторами координат ограничивающих их многоугольников. Цель мониторинга – получение снимков с помощью робота для исследования состояния объектов S_i и проведения дальнейшего анализа.

В идеальном случае мониторинг проводится беспрепятственно. Для решения такой задачи достаточно рассмотреть один из частных случаев решения задачи коммивояжера (TSP) [2]. Однако, при перемещении между объектами могут возникнуть разного рода препятствия, которые робот по определенным причинам не может преодолеть.

Препятствия можно подразделить на подвижные и неподвижные. К подвижным препятствиям относятся люди и животные, сюда же можно отнести и погибших животных, а также брошенную технику (автомобили, трактора и пр.) и временные хранилища (например, стог сена, контейнер с посылками). Это временные препятствия, информация о местоположении которых не должна сохраняться и использоваться для анализа при построении траектории в дальнейшем. Остальные препятствия относятся к неподвижным или малоподвижным (новые стены,

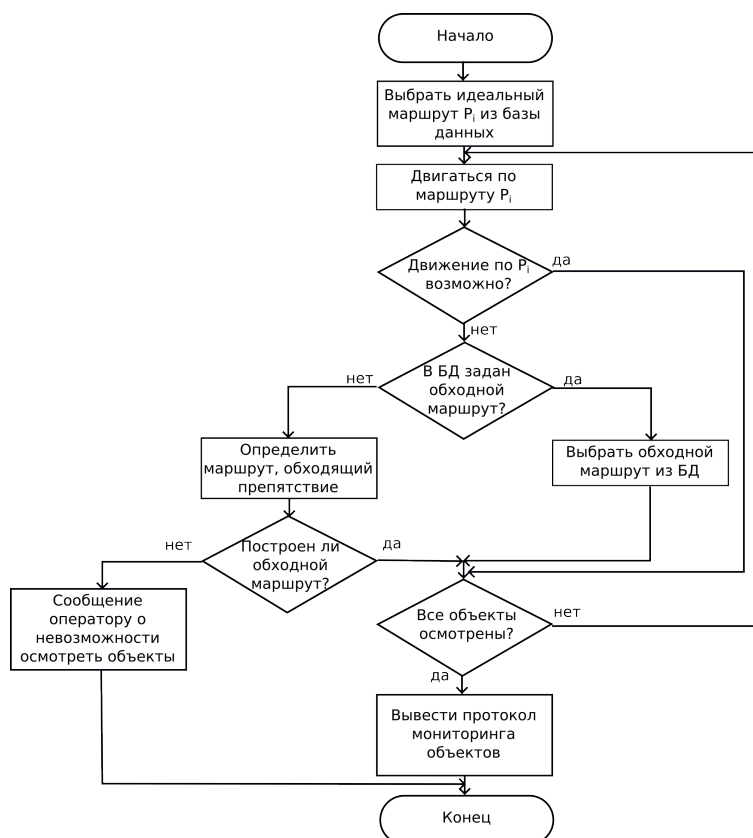


Рис. 1. Схема алгоритма для перемещения робота в области проведения мониторинга

сооружения, мебель). Наличие этих препятствий записывается в базу данных для анализа маршрутов, поскольку их местоположение постоянно, либо долговременно.

Для определения траектории движения робота необходимо решить следующие задачи.

1. Сформировать базу данных маршрутов: идеальных (при отсутствии препятствий), с учетом воздействия внешних факторов (температуры, силы ветра и т. д.), маршрутов с непреодолимыми препятствиями (в базу добавляются только маршруты с неподвижными препятствиями, такими как заборы, мебель и пр., маршруты с подвижными препятствиями (люди, животные) в базу не добавляются). Под препятствием будем понимать любой объект, стоящий на пути движения робота и мешающий дальнейшему следованию по заданному маршруту.

2. Определить разрешимость задачи маршрутизации (возможно ли построить маршрут для мониторинга объектов интереса при наличии имеющихся ограничений и препятствий).

3. Схема алгоритма перемещения робота

Схема алгоритма движения робота при проведении мониторинга приведена на рисунке 1.

В этой схеме отражена не только последовательность действий при проведении мониторинга, но и этапы выполнения проекта.

Таблица 1. Описание таблиц базы данных

Таблица	Описание
Users	Список пользователей роботов
UserRoles	Список ролей пользователей с указанием ID пространства, в котором пользователь с ID роли имеет доступ для запуска робота
Roles	Список ролей пользователей и описание прав доступа, соответствующих каждой роли
Areas	Список областей для проведения мониторинга
Robots	информация об имеющихся в наличии устройствах для мониторинга
AreaRobotsHome	Места парковки робота с определенным ID в области с заданным ID
Routes	Записанные в базу данных маршруты
RoutsPath	Координатор, который сохраняет точки маршрута с учетом препятствий, а также статус для каждой точки маршрута, чтобы в будущем знать возможные препятствия на маршруте. В таблице указывается ожидаемое время прохождения маршрута с учетом препятствий
RobotsObjectionPath	фрагменты маршрута, в которых учитываются временные препятствия

В данной схеме предполагается, что маршрут P_i уже учитывает все внешние воздействия, и в нем учтены все подзарядки робота и смена карты памяти, если ресурс оказывается не достаточно для завершения полного цикла мониторинга. Под движением по P_i понимается перемещение робота на одну позицию вдоль маршрута. Считается, что все пространство, исследуемое роботом, разделено на элементарные сегменты одинаковой длины и ширины.

Возможностью продолжать движение считается возможность доехать до центральной точки очередного элементарного сегмента. Если на пути робота к этой точке обнаруживается препятствие, дальнейшее продолжение движения по выбранному ранее пути считается невозможным и осуществляется поиск обходного маршрута. Если на одном из этапов мониторинга не удастся найти обходной маршрут, робот высылает сообщение о невозможности проведения мониторинга оператору и завершает работу (возвращается на парковку для подзарядки).

Таким образом, на основе построенной схемы алгоритма можно определить следующие задачи.

1. Построение маршрута P_i с учетом внешних воздействий.
2. Определение возможности продолжения движения с помощью алгоритмов компьютерного зрения.
3. Поиск обходного маршрута с учетом внешних воздействий и имеющихся препятствий.
4. Обновление информации в базе данных о препятствиях и обходных маршрутах.

Основные таблицы базы данных приведены в таблице 1.

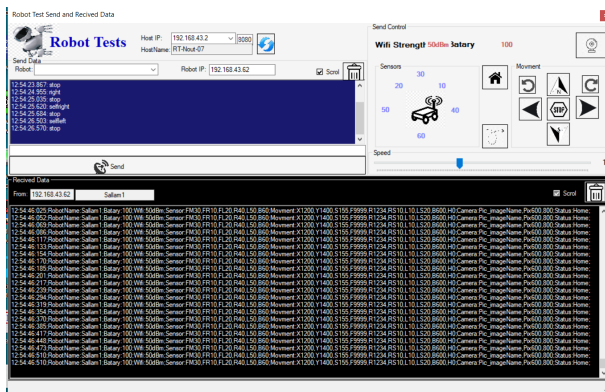


Рис. 2. Стартовое окно программы для управления роботом, проводящим мониторинг объектов

4. Приложение для проведения мониторинга

Для управления устройством мониторинга разработано приложение Robot Test and Receive Data (рис.2), которое предназначено для управления роботом (панель Send control) и передачей сообщений в консольном режиме, связи с роботом по WiFi по IP-адресу робота. При включении робота осуществляется передача данных через ESP-плату. Передаются данные о расстоянии между роботом и ближайшим препятствием и количестве шагов для достижения этого препятствия по прямой, имя файла фотографии препятствия, координаты препятствия и разрешение снимка. Также передается информация о статусе робота (движется, стоит, припаркован). Полученные данные записываются в CSV-файл.

Управление роботом на панели Send control осуществляется по аналогии использования пульта управления. Пока зажата кнопка мыши на одной из кнопок управления, робот движется в соответствии с задаваемой оператором траекторией. Информация о передаваемых роботу командах передается на консольную панель. Управление роботом можно осуществлять и при помощи передачи команд в консольной панели.

Список литературы

1. Chung, S.H., Sah, B., Lee, J. Optimization for drone and drone-truck combined operations: A review of the state of the art and future directions // Computers & Operations Research. 2020. Vol. 123.
2. Petunin A.A., Chentsov A.G., Chentsov P.A. Optimal routing in problems of sequential bypass of megacities in the presence of restrictions // Chelyab. Phys.-Math. journal. 2022. Vol. 7, No. 2. P. 209–233.