

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ

М.В. Калашник

аспирант, e-mail: kalashnikmaxim@mail.ru

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

Аннотация. Приведён обзор методов построения траекторий движения для беспилотных средств, описаны подходы, преимущества, недостатки и ограничения методов.

Ключевые слова: траектория движения, компьютерное зрение, регистрация окружения.

Использование беспилотных транспортных средств в современном мире постепенно становится частью повседневной жизни. Беспилотные роботы-доставщики еды, автомобили, способные к самостоятельному управлению движением на дорогах общего пользования, дроны, продолжающие движение к заданной цели без ассистирующего воздействия оператора, принимающие самостоятельные решения для оптимизации маршрута.

Планирование пути является сложной задачей, которая усугубляется различными ограничениями, такими как связь, ограничение по времени работы устройства и препятствия на пути следования. Эти проблемы охватывают множество дисциплин, такие как искусственный интеллект, модель и механику полёта, автоматическое управление.

Поиск новых путей решения задачи получения оптимального маршрута движения – это одно из важнейших направлений развития робототехники.

Локализация робота в пространстве

Для построения траектории, в первую очередь, необходимо выполнить локализацию. Под локализацией понимается процесс определения позиции робота относительно его окружения и отображение (сохранение в памяти) полученной информации.

Одним из наиболее распространённых методов для получения информации об окружении является SLAM (simultaneous localization and mapping – одновременная локализация и построение карты) [1]. Это метод, используемый в робототехнике и компьютерном зрении для навигации и создания карт неизвестной среды. Принцип его работы заключается в том, что робот или сенсорная система одновременно оценивают своё местоположение (локацию) в окружающей среде и строят карту (картографирование) окружающей среды. Получить информацию об окружении

помогают датчики типа LIDAR, ультразвуковые датчики либо информация с камер. Для определения текущей позы (вектор направления, относительно стартовой точки) используются датчики: гироскоп, акселерометр и магнитометр. Эти датчики объединяются в единую функциональную единицу – инерционно измерительное устройство (IMU). LIDAR и ультразвуковые датчики дают информацию о расстоянии до объектов, в направлении которых используется датчик. Изображение с камер анализируется методами оценки глубины (Depth Estimation) с помощью нейронных сетей, преобразующих изображение в карту глубины, либо используются бинокулярные камеры, изображение с которых в дальнейшем оценивается подобно физическому процессу, называемому «фузия», заимствованному у людей и животных, позволяющему определять проекцию расстояния (см. рис. 1).

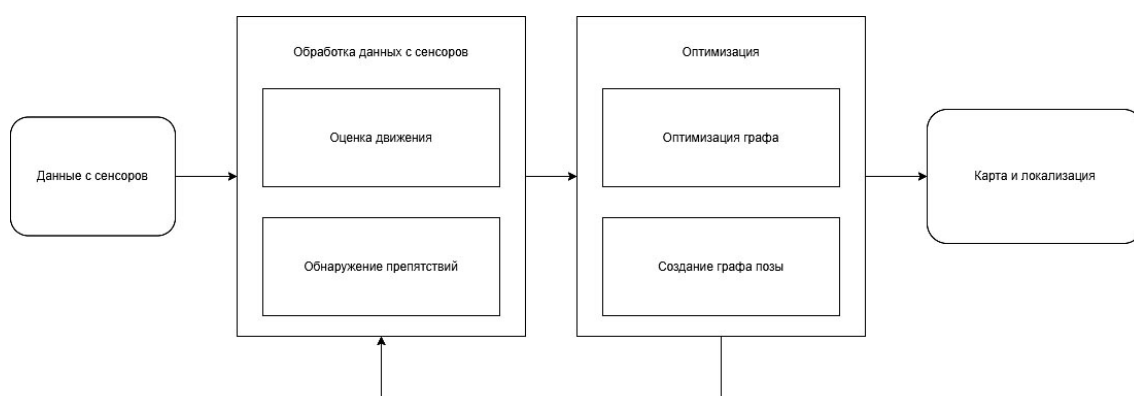


Рис. 1. Поток данных для метода SLAM

Существуют различные стратегии исследования пространства. «Пограничное» исследование подразумевает систематическое исследование неизвестных (не размеченных на карте) областей пространства. Используя «покрывающую» стратегию, робот стремится изучить все возможные области на карте. Придерживаясь стратегии «случайного» исследования, робот перемещается случайным образом в пространстве для покрытия карты.

Локализация конечной точки

Для задачи направления движения конечная точка может быть определена несколькими способами. Имея приблизительную информацию (направление вектора движения, относительную координату, внешние признаки) о конечной точке, робот будет следовать заданным параметрам и прокладывать путь, пока система не сможет определить достижение цели.

Прогрессивные уточнения используются для уточнения роботом своего понимания местоположения конечной точки на основе новых данных, полученных с датчиков, которые могут включать в себя функции распознавания – идентификацию отличительных черт (формы, текстуры) в среде, соответствующей описанию конечной точки.

Вероятностная локализация использует байесовские методы для оценки местоположения конечной точки на основе данных, полученных в процессе перемещения и предварительных знаний.

Метод ячеек

Метод охватывает методы сетки и дерева ячеек. Метод сеток использует разбику пространства на сетку из ячеек одинакового размера. Это может быть как двухмерное, так и трёхмерное пространство. Исследованное и определённое как препятствие, пространство закрашивается в ячейке чёрным цветом.

Метод дерева ячеек является развитием метода сеток, использует различные размеры ячеек пространства, демонстрирует лучшую адаптивность к окружающему пространству. Для уменьшения вычислительной нагрузки был предложен [2] метод преобразования трёхмерного пространства в двумерное.

Геометрический метод

Геометрические методы [3] используют симуляцию движения как робота, так и препятствия. Основное требование у данного метода – это необходимость знать физические параметры (модель движения) анализируемых объектов. При этом не имеет значения, динамическое препятствие или статическое. Это требование делает данный подход мало применимым для использования в плохо исследованной среде.

Метод оптимизированной траектории

Как и геометрический метод, метод оптимизированных траекторий использует геометрические и физические модели траектории движения робота. Особенность метода – в генерации траектории, минимально отклонённой от начальной. Подход используется для решения задач со статическими препятствиями.

В работе [4] описывается пример предотвращения столкновения с помощью оптимизации траектории для полета БПЛА. Параметризация маневров отклонения траектории выполняется с помощью геометрического метода. В качестве БПЛА используется самолет. Основная цель исследования – оптимизация алгоритма обнаружения препятствий в реальном времени для планирования траектории.

Метод потенциального поля

Метод независим от графического представления. Конечная точка рассматривается как источник притяжения. Угрозы препятствий и другие системы рассматриваются как источник силы отталкивания. Потенциальная функция определяет силы притяжения и отталкивания, действующие на робота в каждой точке пространства. Размеченные силы интегрируют направления силы робота и задают соответствующий путь.

Данный метод является не затратным для расчетов и применим к двумерным и трехмерным пространствам. У метода существует ряд минусов. Первый – это

локальные минимумы. Потенциальная функция может иметь локальные минимумы, где робот застрянет, требуются дополнительные шаги для преодоления этого ограничения. Плотность препятствий может быть очень большой, что создаёт мощные отталкивающие силы, и конечная точка не будет достигнута.

Гистограмма векторного поля (VFH)

Метод [5] использует показания датчиков анализа расстояния (например LIDAR) для построения параметризованных бинарных гистограмм, которые ограничены пороговыми значениями. При построении гистограмм используются основные физические характеристики робота, такие как его размер, радиус поворота и безопасная для движения дистанция. Построенная гистограмма представляет собой поле, окружающее робота, с размеченным пространством. Разметка указывает на благоприятные для дальнейшего движения регионы.

Хоть и считается, что метод предназначен для локального планирования и не предназначен для построения глобально оптимального пути, тесты показывают, что найденные пути почти оптимальны.

Рандомизированные деревья случайного исследования (RRT)

Метод постоянного перепланирования нового пути [6], который хорошо подстраивается под изменчивое окружение. Метод заключается в построении дерева, узлы которого являются состоянием системы (точка в пространстве). Из исходного состояния почти всегда существуют переходы в новые возможные состояния. Система создаёт выборку точек с заранее заданными параметрами распределения, затем производится проверка, что новая точка не пересекается с препятствиями. Если точка не удовлетворяет условию, то она отбрасывается, в противном случае точка включается в дерево в качестве нового узла, и между точками строится новое ребро. Алгоритм повторяется, пока новый узел не будет являться конечной точкой маршрута. Полный маршрут определяется как совокупность ветвей дерева от корневого узла к конечной точке.

Главный недостаток данного метода – это высокая вычислительная сложность при инициализации большого количества вершин. Ещё одним недостатком является избыточность при построении маршрута, он получается не всегда оптимальным.

Метод рандомизированных деревьев активно применяется, совершенствуется и получает модификации, использующие алгоритмы удаления невостребованных промежуточных узлов и ветвей, и применяется сглаживание траектории за счёт параметризации физических особенностей робота.

Задача планирования пути для беспилотного транспортного средства в сложных неизвестных окружениях требует многогранного подхода, в котором необходимо объединить локализацию, планирование пути и предотвращение столкновений с препятствиями. В настоящее время акцент сдвигается на использование компьютерного зрения и моделей глубокого обучения. По мере развития физических датчиков и средств компьютерного зрения приближается время, когда беспилотные

системы смогут автономно генерировать оптимальные маршруты и выполнять поставленные задачи, а развитие систем, основанных на глубоком обучении, позволит расширить сферы применения беспилотных средств.

Литература

1. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM): Part I The Essential Algorithms. Hugh Durrant-Whyte, Fellow, IEEE, and Tim Bailey, 2006. URL: https://people.eecs.berkeley.edu/~pabbeel/cs287-fa09/readings/Durrant-Whyte_Bailey_SLAM-tutorial-I.pdf (дата обращения: 10.08.2024).
2. Environment representation and path planning for unmanned aircraft in industrial indoor applications, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978921002225> (дата обращения: 15.08.2024).
3. Cooperative Sense and Avoid Implementation in Simulation and Real World for Small Unmanned Aerial Vehicles. Armin Strobel, Marc Schwarzbach. s.l. : Research Training Group Cooperative, Adaptive and Responsive Monitoring in Mixed Mode Environments, 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/269299851_Cooperative_sense_and_avoid_Implementation_in_simulation_and_real_world_for_small_unmanned_aerial_vehicles (дата обращения: 15.08.2024).
4. Visual Flight Rules-Based Collision Avoidance Systems for UAV Flying in Civil Aerospace. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/9/1/9> (дата обращения: 17.08.2024).
5. The vector field histogram – fast obstacle avoidance for mobile robots // IEEE Journal of Robotics and Automation. 1991. Vol. 7, No. 3. P. 278–288.
6. A Fast and Efficient Approach to Path Planning for Unmanned Vehicles. URL: https://www.researchgate.net/publication/269254521_A_Fast_and_Efficient_Approach_to_Path_Planning_for_Unmanned_Vehicles (дата обращения: 17.08.2024).

REVIEW OF METHODS FOR CONSTRUCTING TRAJECTORIES FOR UNMANNED VEHICLES

M.V. Kalashnik

Postgraduate Student, e-mail: kalashnikmaxim@mail.ru

Dostoevsky Omsk State University, Omsk, Russia

Abstract. The article provides an overview of methods for constructing motion trajectories for unmanned vehicles, describes approaches, advantages, disadvantages and limitations of the methods.

Keywords: motion trajectory, computer vision, environment registration.

Дата поступления в редакцию: 25.08.2024