

УДК 004.896

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПУТИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ

Егоров А.А., Катасова А.А.(Университет ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Ведяков А.А.  
(Университет ИТМО)

В работе решается задача планирования пути в трехмерном пространстве с использованием данных визуальной одометрии об окружении. В работе были исследованы алгоритмы планирования пути, оптимальные по траектории, по времени, по вычислительным ресурсам. Был синтезирован алгоритм планирования пути для проведения имитационного моделирования в симуляции Gazebo оптимальный по выбранному критерию, входными данными об окружении которого является разреженное облако точек.

**Введение.** Задача планирования пути мобильных роботов зачастую ограничивается двухмерным пространством. Однако ряд проблем требует построения траектории в трехмерном пространстве. Для выполнения навигации внутри помещений требуется информация об окружении, полученная заранее оффлайн или в реальном времени учитывая динамические объекты. В данном случае камера может быть использована не только как источник информации для дальнейшей оффлайн обработки, но и в качестве полноценного сенсора для оценки позиции робота используя алгоритмы SLAM и визуальной одометрии. Получая информацию о позиции и окружении, может быть выполнена задача построения пути.

**Основная часть.** Задача планирования пути в трехмерном пространстве заключается в получении массива точек или траектории между стартовой и целевой точкой. Существует ряд классических алгоритмов построения пути в двумерном и трехмерном пространстве. В основе большинства лежит принцип поиска оптимального пути по графу. Одним из основополагающих примеров является алгоритм Дейкстры на основе которого был выполнен A\* представленный П. Хартом и др. в 1968 [1]. В качестве модификации с улучшенной оптимизацией построения графа был представлен алгоритм RRT С. М. Лаваллем и Дж. Дж. Каффнер-мл. в своей работе [2]. Основным преимуществом [2] является скорость и малые вычислительные требования. Представленный RRT\* [3] в 2013 году предложил модификацию [2] для поиска оптимального пути по длине и кривизне.

При рассмотрении реальной системы накладывается ряд ограничений, как на вычислительные и динамические ресурсы, так и на качество входных данных. Для планирования трехмерного пути в реальном времени с учетом динамических объектов алгоритмы SLAM и визуальной одометрии являются необходимыми для выполнения задачи. Однако получаемая информация из данных алгоритмов, будь то алгоритм использующий лидар или камеру, является разреженным [4], полу-разреженным [6] или плотным [5] облаком точек. Данный тип данных требует значительной предобработки для получения информации о поверхностях, что накладывает дополнительные вычислительные требования.

Б. Зой и др. в своей работе [7] используют преобразование всего трехмерного пространства в воксель карту. Данный тип данных представляет из себя плотно лежащие бинарные вершины без пустот между ними, которые либо содержат препятствие, либо нет. Используя кинодинамические методы, авторы учитывают информацию о динамике системы для построения траектории. Аналогичный подход с построением траектории в виде B-сплайна, но без использования Евклидова вектора дистанций (ESDF), описывается в [8]. Уход от использования ESDF позволяет значительно сэкономить вычислительные ресурсы, так как при его вычислении производится оценка избыточных величин.

**Выводы.** Был синтезирован алгоритм планирования пути оптимальный по выбранному критерию, входными данными об окружении которого является разреженное облако точек из алгоритма визуальной одометрии. Было проведено имитационное моделирование в симуляции Gazebo на мобильном роботе. Проведено сравнение с существующими решениями.

**Список использованных источников:**

1. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths //IEEE transactions on Systems Science and Cybernetics. – 1968. – Т. 4. – №. 2. – С. 100-107.
2. LaValle S. Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning //Research Report 9811. – 1998.
3. Nasir J., Islam F., Ayaz Y. Adaptive rapidly-exploring-random-tree-star (RRT\*)-smart: algorithm characteristics and behavior analysis in complex environments. – 2013.
4. Campos C., Elvira R., Rodríguez J.J.G., Montiel J.M., Tardós J.D. Orb-slam3: An accurate open-source library for visual, visual–inertial, and multimap slam // IEEE Transactions on Robotics. — 2021. — Vol. 37, no. 6. — P. 1874–1890.
5. Von Stumberg L., Cremers D. Dm-vio: Delayed marginalization visual-inertial odometry //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2022. – Т. 7. – №. 2. – С. 1408-1415.
6. Engel J., Koltun V., Cremers D. Direct sparse odometry //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2017. – Т. 40. – №. 3. – С. 611-625.
7. Zhou B. et al. Robust and efficient quadrotor trajectory generation for fast autonomous flight //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2019. – Т. 4. – №. 4. – С. 3529-3536.
8. Zhou X. et al. Ego-planner: An esdf-free gradient-based local planner for quadrotors //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2020. – Т. 6. – №. 2. – С. 478-485.

Егоров А.А. (автор)

Подпись

Ведяков А.А. (научный руководитель)

Подпись