

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЛОБАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТА

Медведев М.Ю., Бросалин Д.О.
Южный Федеральный Университет, Таганрог

Ключевые слова: поиск пути, A*, D*, Wave Front, PRM, производительность.

Аннотация. В данной работе приведено исследование эффективности работы наиболее популярных алгоритмов планирования (A*, D*, Wave Front, RRT) при использовании готовой карты. В частности, были исследованы методы планирования на основе клеточной декомпозиции и на графовой основе. Для анализа алгоритмов проведено исследование особенностей работы каждого из перечисленных алгоритмов, а также проведена серия экспериментов по изучению влияния топологии карты на время и память. Результатами данной работы являются количественные показатели по времени и памяти, занимаемые в процессе использования тех или иных алгоритмов планирования, при различных условиях достижения цели.

RESEARCH ON GLOBAL ROUTE PLANNING ALGORITHMS

Medvedev M.Y., Brosalin D.O.
Southern Federal University, Taganrog

Keywords: pathfinder, A*, D*, Wave Front, PRM, performance.

Abstract. This paper presents a study of the effectiveness of the most popular scheduling algorithms (A*, D*, Wave Front, RRT) when using a map of environment. In particular, planning methods based on cellular decomposition and graph-based have been investigated. To analyze the algorithms, a study of the features of each of the listed algorithms was performed, as well as a series of experiments to study the influence of the topology of the map on time and memory. The results of this work are quantitative indicators of time and memory occupied in the process of using certain planning algorithms, under various conditions of achieving the goal.

Планирование пути в робототехнике является одной из важнейших задач. Сама задача планирования должна удовлетворять трем условиям:

- путь должен соединять начальное и целевое положение;
- путь должен быть проходимым для подвижного объекта;
- путь должен быть оптимальным по заданному критерию.

Методы планирования можно разделить на аналитические и эвристические. По характеру среды их можно разделить на динамические и статические [1]. Так же их можно разделить на методы глобального и локального планирования. Глобальное планирование предполагает планирование траектории робота от начального до конечного положения, при достаточной информации о среде для планирования. Локальное планирование определяет траекторию робота в ограниченной области и может использовать частичную информацию о среде. Обычно глобальный планировщик планирует траекторию в целом, а локальный корректирует ее при изменении среды в области положения робота. При достаточном быстродействии алгоритма глобального планирования он также может использоваться для учета динамических изменений среды.

В статье исследуются алгоритмы глобального планирования маршрутов движения при разных конфигурациях среды (карты). Критерием качества планирования является время построения маршрута минимальной длины. Исследуется эффективность работы наиболее популярных алгоритмов планирования, базирующихся на известной карте среды.

Классификация подходов к построению алгоритмов планирования пути представлена на рисунке 1 [1, 2]. В данной работе рассматриваются методы, основанные на клеточной декомпозиции и на построении графов.

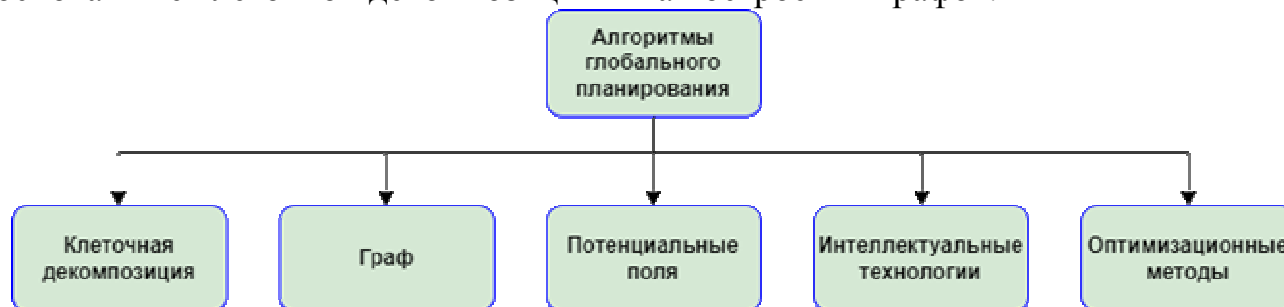


Рис. 1. Алгоритмы глобального планирования

Методы на основе клеточной декомпозиции делят непрерывное пространство на отдельные ячейки [2]. При этом могут применяться различные способы разбиения, примеры которых представлены на рисунке 2. Ячейки пространства, в которых есть препятствия, содержат значения, отличные от нуля. В противном случае ячейки содержат нуль.

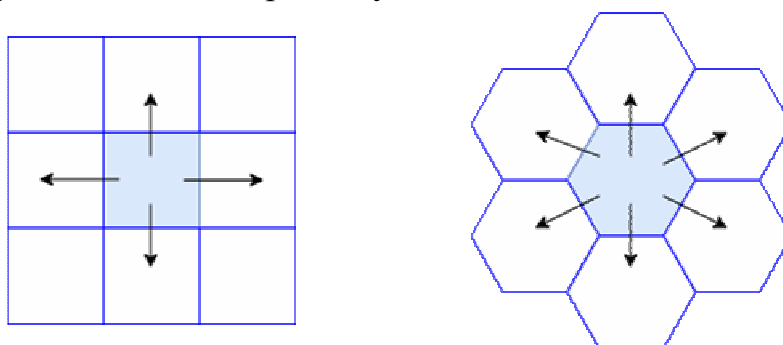


Рис. 2. Примеры клеточной декомпозиции

Методы на основе графов связаны с выбором опорных точек, которые являются вершинами строящегося на основе положения робота и препятствий графа [3].

В данной статье изучаются алгоритмы A^* [4], D^* [5], волнового фронта [6], быстрорастущих случайных деревьев [7] и дорожных карт [8]. Теоретическая оценка вычислительной сложности перечисленных алгоритмов представлена в таблице 1.

Исследования проведены на картах формата Occupancy Grid (Сетка занятости), которые представлена на рисунке 3. Разрешение 0.25 м. Размеры карт 50×50 м. Результаты экспериментов показаны в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что алгоритм A^* показал наименьшее время планирования во всех проведенных экспериментах. Алгоритм D^* оказался самым ресурс-затратным алгоритмом ввиду своей особенности работы с базой данных.

Табл. 1. Вычислительная сложность алгоритмов

| Алгоритмы | Вычислительная сложность | Примечание |
|------------|--------------------------|--|
| A* | $O(n * \log h(n))$ | $h(n)$ является эвристикой, в данной статье это расстояние до целевой ячейки |
| D* | $O(n * \log n)$ | - |
| Wave Front | $O(n * m)$ | - |
| RRT | $O(n)$ | n напрямую зависит от максимально возможных итераций алгоритма |
| PRM | $O(n * k)$ | Есть вероятность повторного запуска алгоритма (увеличивается в k раз), если путь не был найден |

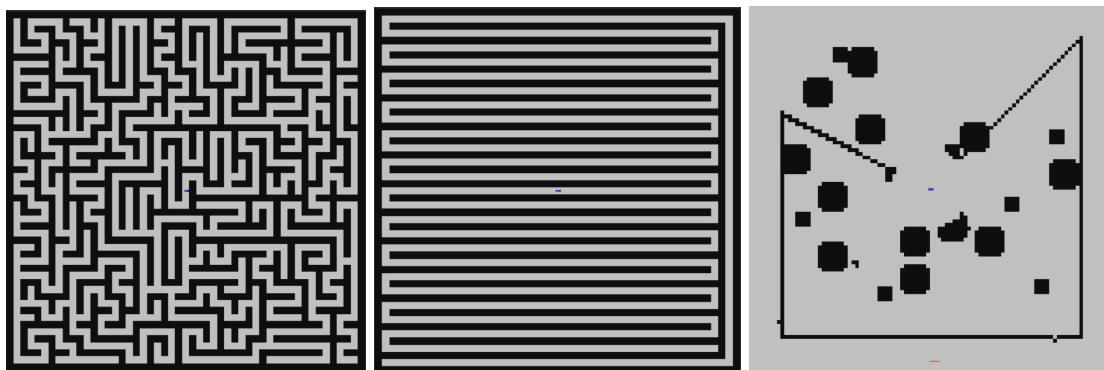


Рис. 3. Карты с экспериментами (эксперимент №1 – плотность препятствий 0.52, эксперимент №2 – плотность препятствий 0.52, эксперимент №3 – плотность препятствий 0.1)

Табл. 2. Время и требуемая память для алгоритмов планирования

| Метод | Характеристики | Эксперимент №1 | Эксперимент №2 | Эксперимент №3 |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A* | время | 0.0169708 с | 0.02558 с | 0.463214 с |
| | объем памяти | 45604 кб | 48024 кб | 49 916 кб |
| D* | время | 0.0321850 с | 0.090676 с | 0.587971 с |
| | объем памяти | 271232 кб | 269272 кб | 271036 кб |
| Wave front | время | 0.039713 с | 0.047204 с | 1.9556388 с |
| | объем памяти | 68132 кб | 68052 кб | 68184 кб |
| PRM | время | 120.0 с | 120.0 с | 9.025176 с |
| | объем памяти | 81004 кб | 81004 кб | 74708 кб |
| RRT | время | 9.871201с | 9.87 | 0.357093 с |
| | объем памяти | 64932 кб | 64932 кб | 64932 кб |

Отметим, что время работы алгоритмов зависит, прежде всего от конфигурации самого пространства функционирования. Алгоритм RRT себя лучше показывает на карте с большим количеством проходов, в то время как A* и Wave front показывают себя лучше в ситуациях с немногочисленным выбором проходов. Можно сделать вывод, что актуальной проблемой является не только

сокращение времени вычислений, но и обеспечение стабильности времени планирования в различных условиях [9].

Список литературы

1. Pshikhopov V.Kh., Beloglazov D., Finaev V., Guzik V., Kosenko E., Krukhmalev V., Medvedev M., Pereverzev V., Pyavchenko A., Saprykin R., Shapovalov I., Soloviev V. Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments. – Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2017. – 312 p.
2. Казаков К.А., Семенов В.А. Обзор современных методов планирования пути // Труды ИСП РАН. – 2016. – Т. 28(4). – С. 241-294.
3. Zhou R., Hansen E.A. Memory-Bounded {A*} Graph Search // The Florida AI Research Society Conference. – FLAIRS, 2002. – P. 203-209.
4. 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, vol. 2, pp. 100-107.
5. Stentz A. Optimal and efficient path planning for partially known environments // Intelligent Unmanned Ground Vehicles. – Boston, MA, USA: Springer, 1997. – P. 203-220.
6. Murphy R.R. Introduction to AI Robotics, 1st ed. – Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2000.
7. LaValle S.M., Kuffner J.J. Rapidly-exploring random trees: Progress and prospects // Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics. 2000, pp. 293-308.
8. Kavraki L.E., Svestka P., Latombe J.-C., Overmars M.H. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1996, vol. 12 (4), pp. 566-580.
9. Pshikhopov V., Medvedev M., Kostjukov V., Houssein F., Kadhim A. Trajectory planning algorithms in two-dimensional environment with obstacles // Informatics and Automation. 2022, vol. 21(3), pp. 459-492.

Сведения об авторах:

Медведев Михаил Юрьевич – д.т.н., ведущий научный сотрудник;

Бросалин Дмитрий Олегович – инженер.