

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОКРАЩЕНИЮ ПЕРЕБОРА ПРИ ЭВРИСТИЧЕСКОМ ПОИСКЕ КИНЕМАТИЧЕСКИ ВЫПОЛНИМЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Аграновский Марат Антонович

инженер-исследователь

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия*

E-mail: agrinscience@gmail.com

Научный руководитель — Яковлев Константин Сергеевич

Классическая задача планирования кинематически выполнимых траекторий для автономных мобильных агентов часто решается с использованием предварительно вычисленных шаблонов движений — *примитивов* [4]. При таком подходе непрерывное рабочее пространство покрывается регулярной сеткой, а примитивы осуществляют переходы между центрами её ячеек. Пространство состояний дискретизируется, образуя граф (решётку состояний), где поиск оптимального пути традиционно осуществляется с помощью эвристических алгоритмов семейства A^* [1, 2].

Однако для обеспечения гладкости и вариативности траектории требуется большое количество доступных примитивов, из-за чего алгоритм сталкивается с проблемой комбинаторного взрыва. Фактор ветвления резко возрастает, и стандартные методы вынуждены генерировать и проверять на столкновения огромное количество перспективных ветвей, что критически снижает производительность.

В данной работе предлагается альтернативный подход к организации пространства поиска, существенно сокращающий перебор. Вместо разворачивания каждого примитива в графе от начала до конца, предлагается выполнять поиск непосредственно на регулярной двумерной сетке. Каждый примитив характеризуется *коллизийным следом* — набором ячеек сетки, которые агент пересекает при выполнении данного маневра (подсвеченные ячейки на рисунке).

Основная идея заключается в объединении пучка примитивов, имеющих общие ячейки на начальных участках коллизийного следа, в единые группы (конфигурации). В процессе поиска алгоритм исследует ячейки сетки шаг за шагом, перенося с собой конфигурацию активных шаблонов. Формально элементом нового пространства поиска становится «расширенная ячейка», определяемая как кортеж:

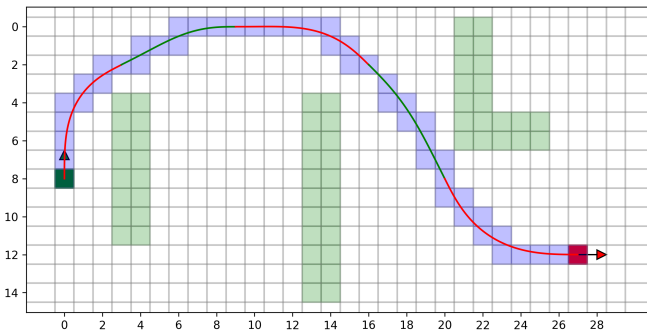
$$u = (i, j, \Psi), \quad (1)$$

где (i, j) — координаты ячейки регулярной сетки, а Ψ — конфигурация примитивов, проходящих через данную ячейку.

При переходе к соседним ячейкам осуществляется естественная геометрическая фильтрация: алгоритм сохраняет в конфигурации Ψ только те шаблоны, коллизионный след которых физически продолжается через выбранную ячейку. Остальные ветви отсекаются задолго до полного вычисления их геометрии и проверки на столкновения. Таким образом, до тех пор, пока несколько примитивов делят одну и ту же траекторию на сетке, метод обрабатывает их как единую неразличимую группу, радикально снижая объем вычислений.

Для оценки предложенного алгоритмического подхода была проведена серия вычислительных экспериментов на картах из бенчмарка MovingAI [3]. Теоретически доказано, что предложенный подход сохраняет гарантии полноты и оптимальности поиска, так как графы путей в исходном и новом пространствах изоморфны относительно оптимального решения. Эмпирические результаты показали, что при поиске стопроцентно оптимальных траекторий предложенный метод работает в 1.5 раза быстрее классического подхода на решётке состояний, а при использовании взвешенных эвристик ($w > 1$) ускорение достигает 2 раз. Более того, количество обращений к ячейкам сетки для проверки на столкновения сократилось на 50%, что подтверждает высокую эффективность раннего отсечения неперспективных ветвей.

Иллюстрации



Пример задачи планирования на сетке. Путь строится из примитивов (отрезки чередующихся цветов). Клетки коллизионного следа (пройденные ячейки) подсвечены.

Литература

1. Pivtoraiko M., Kelly A. Efficient constrained path planning via search in state lattices // International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics, and Automation in Space. 2005. P. 1–7.
2. Pivtoraiko M., Кнеппер R. A., Kelly A. Differentially constrained mobile robot motion planning in state lattices // Journal of Field Robotics. 2009. Vol. 26, № 3. P. 308–333.
3. Sturtevant N. Benchmarks for Grid-Based Pathfinding // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. 2012. Vol. 4, № 2. P. 144–148.
4. Nagy B., Kelly A. Trajectory generation for carlike robots using cubic curvature polynomials // Field and Service Robots. 2001.