

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЛИПСИДАЛЬНОГО КИНОДИНАМИЧЕСКОГО
АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ БЫСТРОРАСТУЩЕГО
СЛУЧАЙНОГО ДЕРЕВА (ЕКRRТ*) ДЛЯ
ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ
СИСТЕМЫ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Дэн Шумо

Студент магистратуры

Факультет ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: shumodeng@yandex.ru

Научный руководитель — Павел Александрович Точилин

В современной робототехнике одной из ключевых задач является планирование движения динамических систем в средах со сложными статическими препятствиями. Для линейных динамических систем с инерционностью применение классических методов (RRT [5], RRT* [2]) затруднено из-за отсутствия точной функции управления (steering function). Для решения этой проблемы разрабатываются специализированные алгоритмы, такие как Kinodynamic RRT* [7]. В данной работе развивается подход, основанный на методе эллипсоидального исчисления [4] и алгоритме ЕКRRТ* [1, 6].

Рассматривается система $\dot{z} = Az + Bu + f$, $z \in \Omega \subset \mathbb{R}^n$, с точечными геометрическими ограничениями на управление вида $u \in \mathcal{E}(p, P)$, где \mathcal{E} — эллипсоид. Вектор состояния декомпозируется: $z = (x, y)^T$, где на координаты $x \in \mathbb{R}^{n_1}$ наложены ограничения в виде препятствий M_i . Требуется найти допустимое управление $u(\cdot)$, переводящее систему из z_{init} в z_{goal} , минимизируя время движения или длину пути в подпространстве \mathbb{R}^{n_1} , при этом проекция траектории должна целиком лежать в свободной от препятствий части пространства.

Научная новизна работы заключается в разработке новой модификации алгоритма — Parallel Bidirectional ЕКRRТ*. Для повышения быстродействия используется идеология двунаправленного поиска [3]. В отличие от существующих аналогов, реализована схема одновременного построения двух деревьев: дерева Γ_{-1} , растущего из начального состояния в прямом времени (с использованием трубок достижимости), и дерева Γ_1 , растущего из целевого множества в обратном времени (с использованием трубок разрешимости).

Ключевой особенностью предложенного подхода является распа-

раллеливание вычислительных процедур на этапе расширения деревьев: построение эллипсоидальных аппроксимаций (трубок) может выполняться независимо на разных вычислительных ядрах. Для обеспечения асимптотической оптимальности применяется процедура локальной релаксации графа (Rewire).

В рамках работы реализованы и исследованы две стратегии связывания встречных деревьев. Первая стратегия — стыковка через генерируемую промежуточную точку (посредника) с построением прямой и обратной опорных трубок. Этот метод эффективен на ранних стадиях планирования для заполнения разреженных областей. Вторая стратегия — прямое замыкание ближайших в евклидовой метрике узлов с верификацией кинематической допустимости перехода, что позволяет существенно ускорить сходимость алгоритма на финальных этапах, когда фронты поиска сближаются.

Литература

1. Точилин П. А., Паршиков М. В. О построении субоптимальных траекторий для линейной управляемой системы при фазовых ограничениях по части переменных // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2025. Т. 31, № 2. С. 244–261.
2. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. 2011. Vol. 30, no. 7. P. 846–894.
3. Kuffner J. J., LaValle S. M. RRT-Connect: An efficient approach to single-query path planning // 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE, 2000. Vol. 2. P. 995–1001.
4. Kurzhanski A. B., Vályi I. Ellipsoidal Calculus for Estimation and Control. Birkhäuser Boston, 1997.
5. LaValle S. M. Rapidly-exploring random trees: A new tool for path planning // Technical Report 98-11, Computer Science Dept., Iowa State University. 1998.
6. Tochilin P. A., Parshikov M. V. On the Use of Ellipsoidal Estimation Techniques in the RRT* Suboptimal Pathfinding Algorithm // Automation and Remote Control. 2024. Vol. 85, no. 2. P. 132–146.
7. Webb D. J., van den Berg J. Kinodynamic RRT*: Asymptotically optimal motion planning for robots with linear dynamics // 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2013. P. 5054–5061.