

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КИНОДИНАМИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ

Антипов В.А (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ведяков А.А. (Университет ИТМО)

В работе рассматриваются два новых метода кинодинамического планирования движения роботов PC-MPNet и CNP-B. Для определения их эффективности в сравнении с классическими методами (TrajOpt, CBiRRT, SST, CHOMP) используются метрики для проверки выполнения условий кинодинамических ограничений и скорости планирования. В качестве среды моделирования используется Robot Air Hockey Challenge, в которой манипулятору KUKA iiwa необходимо спланировать траекторию для толчка шайбы в плоскости стола. Среди всех методов наибольшую эффективность в скорости планирования показал CNP-B, при этом минимальную ошибку выполнения кинематических ограничений обеспечивал TrajOpt.

**Введение.** Задача планирования движения роботов с учетом кинематических и динамических ограничений все еще полноценно не решена, поэтому за последние 10 лет методы кинодинамического планирования получили большое развитие в таких аспектах, как быстрдействие, эффективность и возможности учитывать сложные ограничения. Эти методы можно разделить на два больших класса: методы сэмплирования, и оптимизационные методы. В основе методов, входящих в первый класс, лежат два базовых подхода планирования пути: RRT и PRM [1], способные учитывать кинематические ограничения и частично динамические. Второй же класс методов решает задачу оптимального планирования с использованием градиентного метода [2], методов линейного и квадратичного программирования [3]. При этом, зачастую в динамически-изменяемой среде часто требуется быстро перепланировать траекторию движения, поэтому в последнее время получили развитие методы кинодинамического планирования на основе машинного обучения, позволяющие ускорить вычисление траектории движения.

**Основная часть.** В работе проводится исследование четырех наиболее популярных методов планирования с ограничениями: TrajOpt [2], CBiRRT [4], SST [5], CHOMP [3] и двух новых подходов с использованием машинного обучения: MPC-MPNet [6] и CNP-B [7]. Для рассматриваемых методов проводится сравнение времени вычисления и ошибки соответствия полученной траектории заданным кинематическим ограничениям. В качестве сцены для моделирования была выбрана среда Robot Air Hockey Challenge [8], где ставится задача планирования движения схвата семизвенного манипулятора KUKA iiwa по плоскости в заданной области для выполнения толчка шайбы. В качестве метрик для сравнения были предложены: среднее время вычисления траектории, а также среднеквадратическое отклонение траектории от желаемой плоскости планирования. Использование нейронных сетей для расчета распределения сэмплирования в MPC-MPNet [6] позволяют ускорить вычисление траектории в сравнении с классическим подходом RRT. Однако, использование в CNP-B [7] нейронной сети для планирования на ограниченном многообразии позволяет в разы уменьшить время планирования.

**Выводы.** В ходе исследования были получены результаты сравнения алгоритмов PC-MPNet и CNP-B и TrajOpt, CBiRRT, SST, CHOMP. Наименьшее среднее время планирования траектории показал метод CNP-B, при этом наименьшего среднеквадратического отклонения траектории от плоскости планирования удалось добиться при использовании TrajOpt.

## Список литературы

1. *LaValle S. M.* Planning Algorithms. — Cambridge, U.K. : Cambridge University Press, 2006. — Available at <http://planning.cs.uiuc.edu/>.
2. Finding Locally Optimal, Collision-Free Trajectories with Sequential Convex Optimization / J. Schulman [и др.] // . — 06.2013.
3. CHOMP: Covariant Hamiltonian optimization for motion planning / M. Zucker [и др.] // The International Journal of Robotics Research. — 2013. — Август. — Т. 32. — С. 1164—1193.
4. Manipulation planning on constraint manifolds / D. Berenson [и др.] // . — 05.2009. — С. 625—632.
5. *Li Y., Littlefield Z., Bekris K.* Asymptotically Optimal Sampling-based Kinodynamic Planning // The International Journal of Robotics Research. — 2014. — Июль. — Т. 35.
6. MPC-MPNet: Model-Predictive Motion Planning Networks for Fast, Near-Optimal Planning Under Kinodynamic Constraints / L. Li [и др.] // IEEE Robotics and Automation Letters. — 2021. — Март. — Т. PP. — С. 1—1.
7. Fast Kinodynamic Planning on the Constraint Manifold with Deep Neural Networks / P. Kicki [и др.]. — 01.2023.
8. Robot Air Hockey Challenge [Электронный ресурс]. — URL: <https://air-hockey-challenges-docs.readthedocs.io/en/latest/index.html>. — (дата обращения: 16.02.2023).

Антипов В.А (автор)

Подпись

Ведяков А.А. (научный руководитель)

Подпись