

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ МНОЖЕСТВЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В СРЕДЕ С НЕПОДВИЖНЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Пэн Сыжунь, Го Юаньюань

Аспирант, магистр

Факультет ИУ МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: peans@student.bmstu.ru, 1414047807@qq.com

Научный руководитель — Селезнева Мария Сергеевна

Многотранспортное планирование траекторий заключается в создании траекторий для нескольких транспортных средств, которые позволяют достичь их целевых точек одновременно, обеспечивая отсутствие столкновений и соблюдение кинематических ограничений [1]. В данной работе предлагается алгоритм планирования траекторий для множественных автомобилей в среде с неподвижными препятствиями, при котором все автомобили рассматриваются как единая система. Формируется задача оптимального управления, которая преобразуется в задачу нелинейного программирования и решается итерационно. В процессе итераций удаляются избыточные ограничения, что позволяет уменьшить размер задачи и повысить скорость вычислений.

В задаче оптимального управления, при условии обеспечения комфорта пассажиров минимизируют время достижения целевых точек всеми автомобилями. Целевая функция выглядит следующим образом:

$$J = t_f + w \cdot \sum_{i=1}^{N_v} \left(\int_0^{t_f} (a_i^2(\tau) + v_i^2(\tau) \cdot \omega_i^2(\tau)) d\tau \right), \quad (1)$$

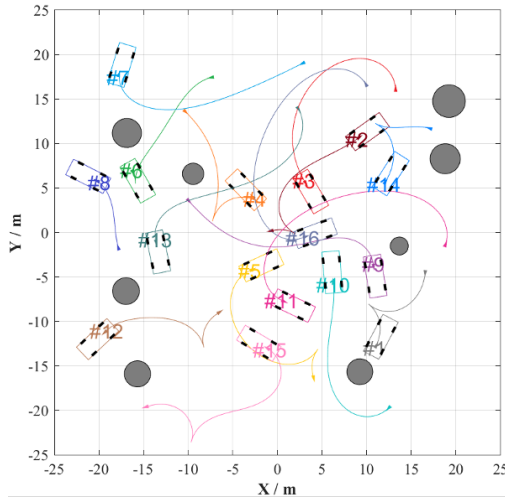
где интегральный член является показателем комфорта пассажиров [2]. Ограничения данной задачи включают кинематические ограничения транспортных средств (велосипедная модель [3]), ограничения на столкновения, а также граничные условия.

Из-за невыпуклости кинематики автомобилей вышеупомянутая оптимизационная задача является нелинейной и невыпуклой, и аналитическое решение получить крайне сложно. С использованием метода Рунге–Кутты первого порядка эта задача дискретизируется в задачу нелинейного программирования для итерационного решения. Вычислительная сложность данной задачи составляет $O(N_v^2)$, и при

больших значениях N_v прямое решение задачи нелинейного программирования остаётся сложным.

В процессе решения не все автомобили имеют вероятность столкновения друг с другом на каждом временном шаге, то есть существует множество избыточных ограничений [4]. Устанавливая зону риска, активируются только соответствующие ограничения столкновения для автомобилей, вошедших в эту зону. Этот метод позволяет значительно уменьшить количество ограничений. В ходе решения адаптивно корректировалась зона риска, постепенно приближаясь к оптимальному решению. Результаты вычислений в MATLAB, представленные ниже на графике, подтверждают эффективность данного алгоритма.

Иллюстрации



Безопасные траектории для 16 автомобилей

Литература

1. Augugliaro F., Schoellig A.P. and D'Andrea R., 2012, October. Generation of collision-free trajectories for a quadcopter fleet: A sequential convex programming approach. In 2012 IEEE/RSJ international conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 1917-1922). IEEE.

2. Sakcak B., Bascetta L., Ferretti G. and Prandini M., 2019. An admissible heuristic to improve convergence in kinodynamic planners using motion primitives. IEEE Control Systems Letters, 4(1), pp.175-180.
3. Polack P., Altché F., d'Andréa-Novet B. and de La Fortelle A., 2017, June. The kinematic bicycle model: A consistent model for planning feasible trajectories for autonomous vehicles?. In 2017 IEEE intelligent vehicles symposium (IV) (pp. 812-818). IEEE.
4. Li B, Ouyang Y, Zhang Y, et al. Optimal cooperative maneuver planning for multiple nonholonomic robots in a tiny environment via adaptive-scaling constrained optimization[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2021, 6(2): 1511-1518.