

УДК 004.021

Алгоритм локального планирования траектории на основе гауссовского процесса

Пэн Сыкунь^(*)

peans@student.bmstu.ru

Селезнева Мария Сергеевна

ms.selezneva@bmstu.ru

Го Юаньюань

1414047807@qq.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены базовая математическая модель и основной метод решения задачи планирования траектории. Анализированы недостатки классических алгоритмов планирования траектории. Предложен локальный алгоритм планирования траектории без градиента, который основан на гауссовском процессе для генерации случайных траекторий, использованы случайные траектории для обнаружение окружающего пространства и генерации направлений обновления траектории. Алгоритм применим к произвольным функциям стоимости, а также к сильно нелинейным, невыпуклым оптимизационным задачам.

Ключевые слова: робототехника, планирование траектории, гауссовский процесс, оптимизация, градиент

Введение. Планирование траектории — фундаментальная задача в области робототехники, целью которой является поиск выполнимых, гладких и свободных от столкновений путей от начальной точки до конечной 0. Классические алгоритмы планирования траектории опираются на градиент, но при высокой размерности задачи и сложной функции стоимости градиент трудно вычислен или вообще не существует, поэтому алгоритм неэффективен 0. Предлагается локальный алгоритм планирования траектории на основе гауссовских процессов, ядром которого является оценка градиента, применимый к произвольным функциям стоимости.

Материалы и методы; результаты. Целью планирования траектории является нахождение гладкой траектории $\theta = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_T)$, соединяющей начальную точку θ_0 и конечную точку θ_T , которая минимизирует объективную функцию $L(\theta)$ при ограничениях 0, а именно

$$\begin{cases} \min_{\theta} L(\theta) = C_{obs}(\theta) + C_{sm}(\theta); \\ s. t. g(\theta) \leq 0; \\ h(\theta) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{obs}(\theta)$ — стоимость обхода препятствий; $C_{sm}(\theta)$ — стоимость гладкости.

В работе предложен алгоритм локального планирования траектории на основе гауссовского процесса, который является итерационным алгоритмом оптимизации. Суть алгоритма заключается в оценке градиента.

Гауссовский процесс — это нормальное распределение бесконечной размерности 0,

$$GP(\mu_t, \Sigma_{t,t'}), \quad (2)$$

где μ_t — среднее значение функции; $\Sigma_{t,t'}$ — функция ядра, причем выбор соответствующей функции ядра обеспечивает гладкость случайных траекторий.

Случайная траектория: генерируем шум $\varepsilon \sim GP(0, \Sigma_{t,t'})$ путем выборки гауссовского процесса с нулевой средней, а шум ε , наложенный на текущую траекторию θ , является случайной траекторией $\tilde{\theta}$.

Взвешенное суммирование:

$$\Delta\theta = \int P(\tilde{\theta}) \varepsilon d\varepsilon, \quad (3)$$

где $P(\tilde{\theta})$ — вес случайной траектории $\tilde{\theta}$; $P(\tilde{\theta}) = \exp(-\frac{1}{\lambda} \cdot L(\tilde{\theta}))$. Предположим, что генерируются K случайных траекторий $\tilde{\theta}_1, \tilde{\theta}_2, \dots, \tilde{\theta}_K$, перепишем формулу (2) в дискретную форму:

$$\Delta\theta_i = \sum_{k=1}^K \frac{\exp(-\frac{1}{\lambda} L(\tilde{\theta}_{k,i}))}{\sum_{l=1}^K \exp(-\frac{1}{\lambda} L(\tilde{\theta}_{l,i}))} \varepsilon_{k,i}, \quad i = 1, \dots, N-1, \quad k = 1, \dots, K, \quad (4)$$

N — количество дискретных точек траектории.

Обновление траектории:

$$\theta = \theta + \Delta\theta. \quad (5)$$

Заключение. Алгоритм локального планирования, предложенный в работе, является итерационным алгоритмом оптимизации. Эффективность алгоритма зависит от начальных траекторий, может быть сгенерировано несколько начальных траекторий, и алгоритм выполняется на этих начальных траекториях для получения оптимальных траекторий. Генерируя несколько начальных траекторий и случайным образом исследуя окружающее пространство, алгоритм может эффективно избежать проблемы попадания в локальные оптимальные решения. Управляющий параметр λ позволяет достичь баланса между оптимальностью и случайностью, чем больше λ , тем больше алгоритм будет сходиться к оптимальному решению, а чем меньше λ , тем больше алгоритм будет искать окружающее пространство, насколько это возможно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Gonzalez D. A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, no. 4 (17), pp. 1135–1145.
- [2] Kalakrishnan M. STOMP: Stochastic trajectory optimization for motion planning. *IEEE*, 2011, pp. 4569–4574.
- [3] An T. et al. Accelerating motion planning via optimal transport. *37th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2023.
- [4] Mukadam M., Dong J., Yan X. Continuous-time Gaussian process motion planning via probabilistic inference. *The International Journal of Robotics Research*, 2018, vol. 37(11), pp. 1319–1340.