

УДК 629.78

Оценка времени перелета к астероидам с малой тягой с использованием нейронных сетей

Ли Чжоцзинь¹

ljz114065264@outlook.com

Корянов Всеволод Владимирович^{2(*)}

vkoryanov@bmstu.ru

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В данном исследовании рассматривается задача оптимизации времени для многократных сближений с астероидами при использовании малой тяги. Сначала для генерации обучающих данных был применен косвенный метод, основанный на принципе максимума Понтрягина, с помощью которого оптимизировались траектории с минимальным временем перелета с малой тягой. Глубокая нейронная сеть (ГНС) использовалась для оценки минимального времени перелета (МВП) между каждой парой астероидов.

Ключевые слова: межпланетный перелет, астероиды, принцип максимума понтрягина, глубокая нейронная сеть, динамическое программирование

Введение. В последние годы астероиды привлекли значительное внимание исследователей и различных организаций по всему миру, так как они считаются ключом к изучению происхождения и эволюции Солнечной системы. В этом контексте научная ценность многократных миссий к астероидам значительно возросла, поскольку они позволяют снизить средние затраты на исследование каждой цели.

Материалы и методы; результаты. Например, А. Bellome и др. [1] предложили метод исследования поясов астероидов, основанный на модифицированном динамическом программировании для импульсных перелетов. В отличие от традиционной химической тяги, малая тяга обладает более высоким удельным импульсом, что делает ее более эффективной для многократных миссий к астероидам. Так, Morante, D. и др. [2] разработали метод оптимизации межпланетных траекторий с малой тягой на основе обобщенных логарифмических спиралей.

За последние годы искусственный интеллект (ИИ), особенно глубокие нейронные сети (ГНС), получил бурное развитие и нашел широкое применение в различных областях, включая космическую динамику. Например, А.В. Сорокин и др. [3] создали две нейронные сети для управления орбитальным движением космического аппарата с двигателем малой тяги. Сян Го и др. [4] использовали улучшенный метод поиска с пучковым ограничением для реализации быстрых перелетов в миссиях с многократными сближениями с астероидами, интегрируя ГНС. В данной работе предлагается новый подход, основанный на динамическом программировании, для многоцелевых миссий к астероидам, который позволяет оценивать время перелета с малой тягой с использованием ГНС.

Заключение. Предложена схема поиска, основанная на динамическом программировании, которая на каждом этапе процесса сохраняет оптимальные пути, обеспечивая применимость принципа оптимальности Беллмана. Хорошо обученная ГНС была интегрирована в схему динамического программирования для определения оптимальной последовательности перелетов.

Список источников

- [1] Bellome A., Sánchez J. P., Mateas J. C. G., Felicetti L., Kemble S. Modified dynamic programming for asteroids belt exploration. *Acta Astronautica*, 2024, vol. 215, pp. 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.11.018>
- [2] Morante D., Rivo M. S., Soler M. Multi-objective low-thrust interplanetary trajectory optimization based on generalized logarithmic spirals. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2019, vol. 42, pp. 476–490. <https://doi.org/10.2514/1.G003702>
- [3] Сорокин А.В., Широбоков М.Г., Разработка нейронных сетей для управления орбитальным движением космического аппарата с двигателем малой тяги. *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*, 2018, № 269, 31 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2018-269>
- [4] Guo X., Ren D., Wu D., Jiang F. DNN estimation of low-thrust transfer time: Focusing on fast transfers in multi-asteroid rendezvous missions. *Acta Astronautica*, 2023, vol. 204, pp. 518–530. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.09.006>