

Секция «Искусственный интеллект и анализ данных в космических исследованиях»

Оценка времени перелета с малой тягой с использованием ГНС на основе механизма внимания в миссиях многократного сближения с астероидами

Научный руководитель – Корянов Всеволод Владимирович

Ли Чжоузинь

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет
космических исследований, Москва, Россия

E-mail: lzj114065264@outlook.com

Аннотация

В данной статье механизмы внимания (МВ) интегрируются в нейронную сеть для оценки времени перелёта с малой тягой в миссиях многократного сближения с астероидами. Сначала с помощью косвенного метода, основанного на принципе максимума Понтрягина, генерируются обучающие данные, оптимизируя траектории по критерию минимального времени перелёта с малой тягой. Затем глубокая нейронная сеть (ГНС) используется для оценки минимального времени перелёта (МВП) между каждой парой астероидов. Для повышения точности предсказаний в модель интегрируется механизм внимания (МВ). Интеграция слоя внимания в модель позволяет ей обучаться тому, какие входные признаки являются более важными, присваивая им больший вес, и уменьшая влияние нерелевантных частей. Благодаря этому достигается более точное предсказание, а также минимизируется распространение ошибок на последующих этапах поиска. Во-вторых, использование интервального механизма внимания позволяет повысить точность предсказаний в части быстрых перелетов (продолжительность перелета менее 150 дней). Наконец, интеграция глубокой нейронной сети с механизмом внимания в рамках алгоритма пучкового поиска обеспечивает эффективное нахождение оптимальной по времени последовательности многократных сближений, начиная с любого астероида.

Ключевые слова

Механизмы внимания, Глубокая нейронная сеть, Межпланетный перелет, Астероиды, Принцип максимума Понтрягина.

Введение

Проектирование траекторий для исследования астероидов остаётся одной из актуальных задач космической механики. Реализация многократных миссий позволяет снизить средние затраты на изучение каждой цели, одновременно требуя учёта большого количества кандидатов, что значительно усложняет процесс оптимизации.

Методы и материалы; результаты

Для сокращения пространства поиска при сохранении оптимальности А. Белломе и др. [2] предложили использовать задачу Ламберта для расчёта перелёта между астероидами, интегрировав её в улучшенный алгоритм динамического программирования с целью поиска последовательности с минимальными общими затратами. Однако применение встро-енных траекторий перелёта с малой тягой в данном контексте приводит к значительному увеличению вычислительных затрат.

В последние годы внедрение методов искусственного интеллекта (ИИ), в частности ГНС, позволяет эффективно решать проблемы, связанные с огромным пространством поиска последовательностей и высокими вычислительными затратами. А. В. Сорокин и др. разработали две ГНС для управления орбитальным движением космических аппаратов с двигателями малой тяги [1]. Сян Го и др., основываясь на данных астероидов из ГТОС7,

использовал ГНС для оценки времени перелёта с малой тягой и применил стратегии, такие как добавление ограничений на орбитальные параметры, улучшение функции потерь и расширение набора данных, что позволило увеличить долю быстрых передач в тестовом наборе (до 12,258%) [3]. Тем не менее, метод увеличения данных путём простого дублирования существующих образцов приводит к тому, что модель многократно сталкивается с одними и теми же данными, что может привести к избыточному запоминанию их характеристик и, как следствие, ограничить её способность к более широкой обобщаемости.

С целью повышения точности предсказаний в предлагаемой модели была интегрирована механизм внимания (МВ) [4, 5]. Включение слоя внимания в модель позволяет улучшить учёт важных признаков, повышая их значимость, и уменьшить влияние второстепенных признаков. Это способствует более точному прогнозированию и минимизации распространения ошибки на последующих этапах поиска. Кроме того, использование интервального механизма внимания повышает точность предсказаний для быстрых перелётов.

Заключение

Предложена схема поиска, основанная на пучковом поиске, в рамках которой для одно-типного поиска используется ГНС с встроенным МВ. Эта система может быть применена для поиска последовательностей многократных сближений с астероидами, начиная с любой заданной цели.

Источники и литература

- 1) 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. doi:10.20948/prepr-2018-269.
- 2) Bellome, A., Sánchez, J. P., Mateas, J. C. G., Felicetti, L., Kemble, S., "Modified dynamic programming for asteroids belt exploration," Acta Astronautica, Vol. 215, 2024, pp. 142–155. doi:10.1016/j.actaastro.2023.11.018.
- 3) 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, Vol. 204, 2023, pp. 518–530. doi:10.1016/j.actaastro.2022.09.006.
- 4) Li, Y., Cao, W., Hu, W., Yuan, Y., "Fuel Ratio Prediction Model Based on Attention Mechanism," 2024 14th Asian Control Conference (ASCC), Dalian, China, 2024, pp. 1546–1550.
- 5) Xu, Z., "Global attention mechanism based deep learning for remaining useful life prediction of aero-engine," Measurement, Vol. 217, 2023, pp. 113098. doi:10.1016/j.measurement.2023.113098.