

УДК 629.78, 004.852

Поддержание движения в окрестности гало-орбит системы Земля — Луна с использованием методов обучения с подкреплением

Широбоков Максим Геннадьевич^(*)

shirobokov@keldysh.ru

Перепахов Денис Глебович

dperepukhov@keldysh.ru

Забара Илья Денисович

zabara.id@phystech.edu

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена разработке методов поддержания движения космического аппарата в окрестности гало-орбит в системе Земля-Луна с использованием методов обучения с подкреплением. Эти методы позволяют сформировать (квази)оптимальные стратегии управления аппаратом в сложных моделях движения, учитывая навигационную неопределенность, ошибки исполнения маневров и возможные нештатные ситуации. Рассматриваются и сравниваются различные виды управляющих стратегий: по истинному состоянию, по оценке состояния, а также по серии навигационных измерений.

Ключевые слова: поддержание орбиты, гало-орбита, стратегия, управление, навигация, обучение с подкреплением

Введение. В настоящее время наблюдается растущий международный интерес к исследованию Луны и окололунного пространства [1, 2]. Государственные и частные компании планируют создавать лунную инфраструктуру: орбитальные станции, навигационные системы и лунные базы. Для реализации этих планов космические аппараты будут размещаться на окололунных и гало-орбитах, связанных с точками либрации L_1 и L_2 системы Земля — Луна, которые обеспечивают радиовидимость, связь с обратной стороной Луны, поддержку пилотируемых миссий и служат промежуточными станциями для дальнего космоса.

Материалы и методы; результаты. Движение в окололунном пространстве характеризуется высокой сложностью и чувствительностью к ошибкам. Либрационные орбиты являются неустойчивыми, а окололунные орбиты подвержены сильным возмущениям. В этих условиях методы обучения с подкреплением представляют собой перспективный инструмент для создания систем управления космическими аппаратами [3]. Их главное преимущество — формирование (квази)оптимальных стратегий управления в сложных моделях движения с учетом навигационной неопределенности, ошибок маневров и нештатных ситуаций. Такие стратегии напрямую преобразуют навигационные измерения в управляющие воздействия, обходя традиционные этапы навигации, что повышает автономность и обеспечивает спасение миссий в критических ситуациях.

Классические методы поддержания либрационных орбит, такие как Target Point Approach, эффективны в штатных ситуациях [4]. Однако методы обуче-

ния с подкреплением предлагают более гибкие алгоритмы, адаптирующиеся к нештатным ситуациям и работающие непосредственно с навигационными данными. Классические методы могут служить основой для адаптивных стратегий, основанных на обучении с подкреплением.

Исследование посвящено методам поддержания движения КА около гало-орбит системы Земля — Луна с применением обучения с подкреплением. Разработаны стратегии управления на основе истинного состояния, его оценки и навигационных измерений. Проведено сравнение с классическими методами на основе численного моделирования штатных и нештатных ситуаций.

Заключение. Применение методов обучения с подкреплением для управления космическими аппаратами в окололунном пространстве показало свою эффективность в сложных и нештатных ситуациях. Разработанные стратегии управления повышают автономность миссий и предоставляют новые возможности для исследования Луны и дальнего космоса.

*Работа поддержана грантом Российского научного фонда
(проект №24-71-00032).*

Список источников

- [1] РБК. Россия продолжит реализацию лунной программы. URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/24/04/2024/6628e46c9a7947142d00c826 (дата обращения 11.11.2024).
- [2] Li X. et al. A review on design and construction of the lunar launch/landing infrastructure. *Advances in Space Research*, 2024, vol. 74, pp. 4030–4049.
- [3] Широбоков М.Г. Методика построения управления космическими аппаратами с использованием методов обучения с подкреплением. *Космические исследования*, 2024, т. 62, № 5, с. 498–515.
- [4] Shirobokov M., Trofimov S., Ovchinnikov M. Survey of Station-Keeping Techniques for Libration Point Orbits. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2017, vol. 40, no. 5, pp. 1085–1105.