

УДК 51-73

Параметризация кватерниона ориентации в задаче быстрогодействия переориентации космического аппарата

Макаров Глеб Русланович

makarov.gr@phystech.edu

Ткачев Степан Сергеевич

stevens_L@mail.ru

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

Аннотация. Рассмотрена задача быстрогодействия переориентации космического аппарата. Для минимизации времени маневра строится угловое движение, удовлетворяющее ограничениям на управляющий момент и кинетический момент маховиков. Процесс оптимизации разбивается на поиск параметров углового движения и нахождение минимального времени разворота на фиксированном развороте. Поиск оптимальных параметров осуществляется с помощью метода роя частиц. Проведено сравнение полученных результатов с оптимальным решением для частного случая параметризации без возможности разделения параметров.

Ключевые слова: параметризация углового движения, оптимальный разворот, оптимизация, метод роя частиц

Введение. Сегодня для решения задач дистанционного зондирования Земли применяется множество алгоритмов управления ориентацией космического аппарата (КА). Для повышения точности ориентации на КА устанавливаются маховичные системы управления, которые ограничены по кинетическому моменту и управляющему моменту. Задача быстрогодействия переориентации КА предполагает приведение описания углового движения к функциям времени и конечного числа параметров. Существуют разные способы задания ориентации, а в зависимости от выбранной терминологии используют специальные методики параметризации.

Методы и материалы; результаты. За основу выбрана методика построения углового движения при помощи полиномиальных степеней кватернионов [1]. Данный алгоритм, являющийся развитием идеи о сферической линейной интерполяции в пространстве кватернионов (SLERP [2]), позволяет учесть краевые условия кватерниона ориентации и угловых скорости и ускорения, а параметрами углового движения являются значения производных полиномов в степенях в начале и конце переориентации. Однако время разворота также влияет на функцию кватерниона ориентации, поэтому входит в вектор оптимизируемых параметров задачи быстрогодействия. В работе предлагается иной подход: функция кватерниона ориентации сводится к однопараметрическому многообразию при фиксированных производных многочленов, а скалярная функция параметра от времени разворота рассматривается отдельно. Показано как аналитически, так и численно, что видоизменение построения углового движения дает улучшение в результате решения задачи быстрогодействия.

Задача оптимизации решается методом роя частиц (PSO [3]) — безградиентным методом оптимизации, где каждая частица является вектором в пространстве параметров, а их перемещение по пространству и поиск решения вдохновлены социальными взаимодействиями живых организмов. Специально подобранные гиперпараметры метода (весовые коэффициенты, число частиц и максимальное число итераций) позволяют улучшить результат оптимизации.

Заключение. Измененная методика построения углового движения КА дает лучший результат оптимизации времени переориентации, чем ее оригинальный вариант. Методика позволяет рассматривать более широкий класс функций углового движения и управления маховиками от времени.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда
№ 22-71-10009-П*

Список источников

- [1] Ткачев С.С., Шестоперов А.И. Построение опорной траектории третьего порядка гладкости углового движения космического аппарата. *Математическое моделирование*, 2021, т. 33, № 10, с. 3–18. <https://doi.org/10.20948/mm-2021-10-01>
- [2] Shoemake K. Animating Rotation with Quaternion Curves. *Proceedings of the 12th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 1985, vol. 19, iss. 3, pp. 245–254. <https://doi.org/10.1145/325334.325242>
- [3] Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 – International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 4, pp. 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>