

УДК 629.78

Исследование параметризации углового движения в решении задачи оптимизации по быстродействию переориентации космического аппарата

Макаров Глеб Русланович^(*)

makarov.gr@phystech.edu

Дробышева Анна Сергеевна

anna.ohitina@mail.ru

Ткачев Степан Сергеевич

stevens_L@mail.ru

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

Аннотация. В работе рассматривается задача переориентацию космического аппарата. Для минимизации времени маневра строится угловое движение, удовлетворяющее ограничениям на управляющий момент и кинетический момент маховиков. Движение задается сплайном специального вида с параметрами, обеспечивающими минимальное время переориентации. Поиск оптимальных параметров осуществляется с помощью метода роя частиц. Проводится сравнение полученных результатов с оптимальным решением для случая конечного разворота.

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

Введение. При выполнении задач дистанционного зондирования Земли космический аппарат (КА) поочередно находится в двух режимах ориентации: слежение за объектами (или областью) интереса и переориентация между ними. Последний обеспечивается заданным алгоритмом управления и ограничениями на параметры системы ориентации. Возможны две схемы переориентации между объектами интереса. Первая реализуется с помощью смены целевого режима углового движения с отслеживания одного объекта на другой (рис. а). В этом случае возможны значительные скачки в величине и направлении управляющего момента, при этом время переориентации не регулируется. Вторая схема предполагает наличие специального углового режима движения (рис. б), которое позволяет избежать критических значений управляющего момента и явно контролировать время переориентации.

Объект интереса 1 → Объект интереса 2

а

Объект интереса 1 → Переориентация → Объект интереса 2

б

Схемы переориентации между объектами интереса

Материалы и методы; результаты. В работе рассматривается способ построения такого движения и поиск оптимального времени переориентации с учетом заданных ограничений на управление и кинетический момент маховиков. Параметризация углового движения задается сплайном специального вида [1], который учитывает краевые условия, накладываемые на кватернион ориентации и его производные. Ставится задача поиска оптимальных параметров сплайна, при которых время переориентации будет минимальным. Задача оптимизации решается методом роя частиц (PSO, [2]), который является безградиентным методом глобальной оптимизации и позволяет решать задачи оптимизации, целевая функция в которых задана неявным образом. Кроме того, поиск методом роя частиц с помощью настройки специальных весовых коэффициентов настроен может быть ускорен, а результаты уточнены.

Полученное решение задачи оптимизации сравнивается с релейным управлением в случае плоского разворота сферически симметричного тела с краевыми ненулевыми угловыми скоростями, для которого выводится аналитическая формула минимального времени разворота, и с управлением в случае несимметричного тензора инерции КА с применением принципа максимума Понтрягина [3].

Заключение. В сравнении с аналитически оптимальным управлением построенная методика уступает в быстродействии. Но использование метода роя частиц позволяет включить в задачу любые ограничения на управление, а построение опорного углового движения сплайном позволяет учесть краевые условия ориентации любого порядка, то есть методика легко адаптируется под условия конкретной задачи.

Список источников

- [1] Шестоперов А.И., Ткачев С. С. 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] Simon D. *Evolutionary optimization algorithms*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2013, 742 p.
- [3] Левский М.В. Применение принципа максимума Л.С. Понтрягина к задачам оптимального управления ориентацией космического аппарата. *Теория и Системы Управления*, 2008, № 6, с. 144–157.