

УДК 629.78

Анализ возможностей высокоточной системы управления ориентацией малого космического аппарата

Ткачев Степан Сергеевич^(*)

stevens_L@mail.ru

Маштаков Ярослав Владимирович

yarmashtakov@gmail.com

Иванов Данил Сергеевич

danilivanovs@gmail.com

Дробышева Анна Сергеевна

anna.ohitina@mail.ru

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

Аннотация. Рассматривается задача анализа достижимой точности ориентации спутника форм-фактора 16U CubeSat с трехосной маховичной системой управления ориентацией. Разработано соответствующее математическое обеспечение. Предложен комплексный численный подход, позволяющий оценить разброс искомых величин, а также найти худшие значения при типовых возмущениях. Выявлены критические параметры системы ориентации, определяющие итоговую точность ориентации.

Ключевые слова: определение ориентации, управление ориентацией, маховики, математическое обеспечение, влияние возмущений, точность ориентации

Введение. При разработке математического обеспечения для высокоточной системы ориентации космического аппарата (КА) может возникнуть ситуация, когда требования по точности оказываются выше, чем возможности измерительных или исполнительных элементов. Как правило, с помощью специальных математических подходов можно улучшить достижимую точность примерно на порядок. При этом однако заметную роль начинают играть факторы, которые обычно не принимаются во внимание, например, точность знания установки измерительных и исполнительных органов, точность знания тензора инерции КА, стабильность бортового времени. Величины этих погрешностей могут быть уменьшены в процессе полета, но полностью устранить их невозможно. По этой причине необходимо на этапе проектирования провести анализ влияния этих факторов.

Материалы и методы; результаты. В работе строится математическая модель контура системы управления ориентацией. Исполнительными органами являются маховики, измерения поступают со звездного датчика и оптоволоконного датчика угловой скорости. Наиболее требовательным с точки зрения точности ориентации является режим наведения на точку Земли. При этом одновременно требуется как точность реализации специального программного движения, так и точность знания ориентации. Особенностью режима являются сравнительно высокие угловые скорости, при которых снижается качество измерений звездного датчика. Для учета всех факторов построен специальный алгоритм на основе фильтра Калмана, учитывающий несинхронность выдачи измерений разными датчиками.

Результаты моделирования работы контура управления показали, что предъявляемые требования находятся на пределе достижимости уже в идеальном случае, то есть когда все параметры системы известны. Для анализа влияния возмущений проводятся численные испытания.

Рассматриваются два подхода — статистический ансамбль [1,2] для получения представления о функции распределения итоговой точности ориентации и использование глобальной оптимизации для поиска комбинации параметров, реализующей наихудшую точность ориентации. В первом подходе количество испытаний определяется из неравенства Дворецкого-Кифера-Вольфовица [3]

$$P\left(\sup_{x \in \mathbb{R}} (F_n(x) - F(x)) > \varepsilon\right) \leq 2 \exp(-2\varepsilon^2 n), \quad \forall \varepsilon > 0,$$

где $F(x)$ — истинная функция распределения; $F_n(x)$ — эмпирическая функция распределения; n — число испытаний; P — вероятность; ε — заданное число. Для реализации второго подхода используется метод роя частиц [4].

Заключение. Комбинация статистического ансамбля и метода роя частиц позволяет получить представление о влиянии основных возмущающих факторов на точность ориентации, как «в среднем», так и обнаружить «выбросы» — наихудшие комбинации возмущающих параметров.

Список источников

- [1] ECSS-E-ST-60-10C. *Space engineering — Control performance*. ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2008.
- [2] ECSS-E-HB-60-10A. *Space engineering — Control performance guidelines*. ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2010.
- [3] Dvoretzky A., Kiefer J., Wolfowitz J. Asymptotic Minimax Character of the Sample Distribution Function and of the Classical Multinomial Estimator. *Ann. Math. Stat.*, 1956, vol. 27, pp. 642–669.
- [4] Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proc. ICNN'95-International Conf. Neural Networks*, IEEE, 1995, pp. 1942–1948.