

УДК 629.78.05

Система ориентации и стабилизации космического аппарата по информации с астродатчиков

С.В. Кравчук, М.А. Шатский, П.А. Самус

Аннотация

В работе предложена структура и алгоритмы системы стабилизации и ориентации (ССО) космического аппарата (КА), использующей в качестве информации об угловом положении информацию астродатчиков (АД). Это дает возможность повысить надежность системы управления КА, позволяя продолжать работу КА как при частичном, так и полном отказе гироскопических измерителей.

Предлагаемая система внедрена в состав бортовых комплексов управления КА и успешно прошла летные испытания. Показана возможность использования предлагаемой системы как при модернизации систем управления уже находящихся на орбите КА, так и при создании новых.

Ключевые слова

Космический аппарат; система стабилизации; астродатчик.

Введение

Система управления угловым движением космического аппарата (КА) предполагает использование высокоточных гироскопических измерителей периодически корректируемых по показаниям оптикоэлектронных устройств. Несмотря на высокую надёжность приборов, используемых в космической отрасли, существует вероятность их отказов.

В предлагаемой ССО информация от гироскопических измерителей углового положения полностью или частично заменяется на информацию от АД. Это дает

возможность повысить надежность системы управления КА, позволяя продолжать работу КА как при частичном, так и полном отказе гироскопических измерителей. Актуальность работы подтверждается имеющимся в настоящее время опытом эксплуатации КА различного класса.

Кроме того, отдельные элементы предлагаемой системы используются в целях контроля и диагностики традиционной ССО. В т.ч. решена задача автономного перехода ССО в режим стабилизации по информации АД, что также позволяет повысить надежность выполнения целевой задачи КА.

Основной особенностью построения системы стабилизации на АД (САД) в рассматриваемом случае является то, что используемые астродатчики изначально предназначались не для непосредственного использования в контуре управления, а лишь для периодической коррекции ГИВУС.

В рамках поставленной задачи было целесообразно создать максимально надёжный алгоритм получения угловой скорости и ориентации КА, учитывающий характеристики АД.

Практическая реализация САД осуществлена в МОКБ Марс при эксплуатации КА ДЗЗ «Монитор — Э». В процессе штатной эксплуатации этого КА возникли отказы 2 динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ) из трёх, входивших в состав ГИВУС. В результате чего единственный работоспособный ДНГ выдавал информацию только о 2-х составляющих вектора угловой скорости КА.

К настоящему времени, алгоритмы САД обеспечивают с довольно высокой вероятностью нахождение КА в штатной ориентации, в частности, непрерывное выполнение съемки по целевому заданию в течение одних-трёх суток. При этом ориентация поддерживается с заданной точностью, что позволяет получать достаточно качественные снимки земной поверхности.

По опыту работ с КА «Монитор-Э», предлагаемая система внедрена в состав бортовых комплексов управления КА разработки МОКБ Марс. Например, успешно прошла летные испытания КА Экспресс МД1. Таким образом, показана возможность использования предлагаемой системы как при модернизации систем управления уже находящихся на орбите КА, так и при создании новых КА различного назначения.

Алгоритмы управления КА с использованием информации от АД

Алгоритмы системы стабилизации КА с использованием АД предназначены для обеспечения выполнения КА целевой функции в случае частичного или полного отказа

ГИВУС. При реализации режима САД информация об ориентации, поступавшая ранее от ГИВУС, заменяется информацией от АД, в отсутствие которой используется нелинейная математическая модель. Математическая модель корректируется по информации от АД в момент ее получения. Угловая скорость корректируется по фильтрованной информации от АД. Угловая скорость, получаемая от алгоритма опознавания, фильтруется. По результатам исследования различных вариантов был применен фильтр, который реализует алгоритм скользящего среднего по 8 измерениям (только при наличии 8 последовательных измерений). Фильтр отключается на разворотах при разгоне и торможении с целью минимизации влияния запаздывания.

Управление включением и выключением АД СУД производит автономно по заранее заложенной циклограмме. При этом в логику работы заложена возможность одновременного включения любого количества АД. Выбор количества одновременно работающих АД определяется с одной стороны, ресурсом работы АД, а с другой — требуемой точностью стабилизации. Так, для КА телекоммуникационного типа, функционирующего на геостационарной орбите, требования по точности не высоки, поэтому возможна работа с одним АД. Для спутников ДЗЗ требования по точности стабилизации выше, поэтому необходимо одновременно использовать 2 АД.

Особенности режима контроля и диагностики ГИВУС

Одной из важнейших задач СУ является контроль и диагностика бортовой аппаратуры. Применительно к рассматриваемой задаче – это контроль правильности работы ГИВУС, диагностика и, при обнаружении неисправности, плавный переход в режим САД, в автоматическом режиме и без потери целевой функции КА. Для обеспечения этого условия алгоритмами СУ реализует набор процедур контроля и диагностики ГИВУС, включая астроконтроль, обеспечивающий постоянную готовность параллельного, независимого от ГИВУС, информационного канала, способного в любой момент продолжить информационное обеспечение контура стабилизации сигналами угловых скоростей и кватернионом текущей ориентации.

Алгоритмами СУ реализованы два варианта перехода в режим САД:

1) автономный (при автоматическом обнаружении 2-го отказа ГИВУС).

Автономный переход в режим САД считается основным и предусмотрен в случае обнаружения отказа второго ИК ГИВУС средствами функционального контроля ГИВУС.

2) по команде с НКУ как без потери ориентации, так и с восстановлением штатной ориентации.

При этом переходе предусматриваются следующие этапы.

Демпфирование угловой скорости с помощью КУДМ (при необходимости задействуются реактивные двигатели). Демпфирование осуществляется с использованием имеющейся информации от ГИВУС по двум осям, угловая скорость по третьей оси уменьшается за счет перекрестных связей (перекрестные моменты инерции КА не нулевые). На этом этапе угловая скорость КА уменьшается до уровня, обеспечивающего работу АД (рис. 1).

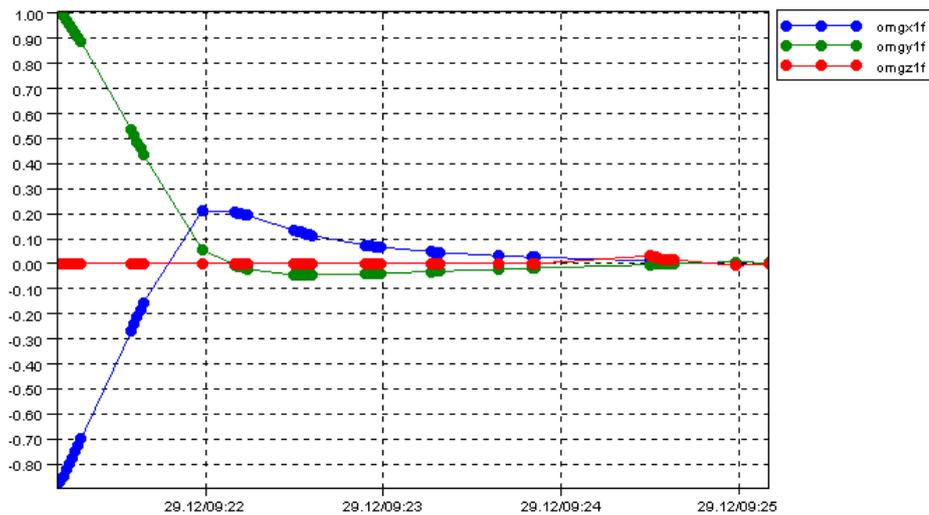


Рис. 1. Угловые скорости на участке демпфирования. КА «Монитор - Э».

2. Стабилизация в условной ИСК. После начала устойчивого процесса опознавания, КА переходит на работу по ММ с коррекцией по информации от АД до определения ориентации в ИСК. После определения ориентации в ИСК становится возможным проведение разворота в штатную ориентацию в ОСК.

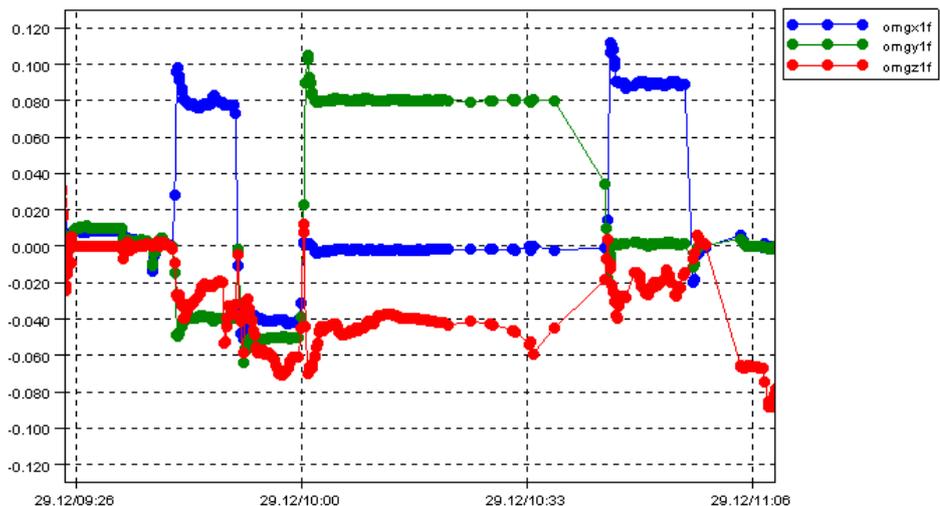


Рис. 2. Угловые скорости на участке программного разворота. КА «Монитор - Э».

Разворот КА в штатную ориентацию в ОСК (рис. 2). Этот разворот может производиться как автоматически, так под управлением НКУ с расчетом программы разворота в ОСК средствами НКУ.

Заключение

В работе представлена структура и алгоритмы системы стабилизации и ориентации КА с использованием АД, предназначенные для обеспечения выполнения КА целевой функции в случае частичного или полного отказа ГИВУС. Предлагаемый подход позволяет повысить надежность системы управления КА и, как следствие, вероятность безотказного выполнения целевой задачи.

Входящие в состав СУ алгоритмы контроля и диагностики ГИВУС позволяют осуществлять автоматический плавный переход в режим САД без потери ориентации.

Предлагаемая система внедрена в состав бортовых комплексов управления КА и успешно прошла летные испытания. Показана возможность использования предлагаемой системы как при модернизации систем управления уже находящихся на орбите КА, так и при создании новых систем управления КА различного назначения.

Библиографический список

1. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г. Управление космическими летательными аппаратами. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1974.

2. Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.

3. Е.А.Микрин Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.

Сведения об авторах

Кравчук Сергей Валентинович – ФГУП Московское опытно-конструкторское бюро Марс, начальник направления, к.т.н., E-mail: otdel246.mars@mail.ru.

Шатский Михаил Александрович – ФГУП Московское опытно-конструкторское бюро Марс, начальник отдела, к.т.н., E-mail: otdel246.mars@mail.ru.

Самус Петр Александрович – ФГУП Московское опытно-конструкторское бюро Марс, инженер, E-mail: otdel246.mars@mail.ru.