

Иванов Н.М., Олейник А.Г., Цветков А.Б.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ СПУТНИКОМ «ОКЕАН-О» ПРИ НЕШТАТНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Введение

Постоянный рост производительности персональных компьютеров (ПК) и их графических подсистем способствует широкому внедрению технологий отображения информации.

Одной из таких технологий является технология виртуальной реальности (ТВР), обеспечивающая концентрированное представление широкого спектра аналитической и справочной информации об объекте путем создания его компьютерного «двойника», наделенного внешним видом, динамическими и другими свойствами реального объекта, формализованными в виде комплекса соответствующих математических моделей. ТВР позволяет создавать максимально приближенный к человеку, интуитивно понятный интерфейс, сокращающий время реакции на анализ поведения объекта и происходящих с ним событий и уменьшающий тем самым время на принятие решений. Другим направлением использования ТВР является моделирование реалистичной обстановки, когда наблюдение за реальным объектом при управлении невозможно другими способами. В настоящее время в мировой практике ТВР интенсивно внедряется на всех этапах жизненного цикла космических систем, в том числе при разработке концепций, проектировании, эксплуатации, включая анализ возникающих внештатных ситуаций.

В данной работе рассмотрены результаты использования ТВР для разработки альтернативного метода управления спутником дистанционного зондирования Земли «Океан-О». ТВР была использована для анализа и оценки качества выбранных решений по управлению спутником путем наблюдения за его поведением в виртуальной среде.

Краткое описание спутника «Океан-О»

Запуск совместного российско-украинского космического аппарата (КА) "Океан-О" был осуществлен с целью оперативного сбора данных о состоянии мирового океана и суши, передачи данных по радиоканалам на пункты приема информации в интересах народного хозяйства, наук о Земле и международного сотрудничества.

Запуск был осуществлен ракетоносителем «Зенит» с космодрома Байконур 17 июля 1999 года. Спутник был выведен на солнечно-синхронную орбиту с высотой 668 километров и наклоном 98°.

В процессе полета КА «Океан-О» группа управления столкнулась с трудностями обеспечения поддержания его ориентации. Проведенный анализ показал, что штатная схема работы системы управления бортовым аппаратурным комплексом оказалась не реализуемой в условиях значительных вариаций параметров атмосферы, что привело к потере заданной ориентации аппарата. Существенные изменения параметров атмосферы объясняются прежде всего значительным увеличением солнечной активности в 2000 году.

В условиях дефицита топлива для обеспечения эффективного управления КА совместной российско-украинской комиссией была предложена новая схема управления, основанная на проведении периодических коррекций положения солнечной батареи с целью создания необходимого сочетания аэродинамических и гравитационных моментов по каналу тангажа компенсирующего возмущающий момент, в первом приближении пропорциональный скорости изменения плотности атмосферы. Поскольку основным целевым назначением солнечной батареи является обеспечение положительного энергобаланса КА, достаточного для съема целевой информации, при использовании схемы поддержания ориентации учитывались ограничения на угол поворота панелей солнечной батареи.

Для реализации такого подхода было необходимо разработать и детализировать математическую модель движения спутника относительно центра масс, которую в дальнейшем требовалось верифицировать с помощью данных телеметрии. Кроме того, требовалось использовать ТВР для отображения поведения спутника с целью наблюдения за поведением КА при изменении положения солнечной батареи (СБ).

Математическая модель КА «Океан-О»

Для анализа влияния угла поворота солнечной батареи на динамические характеристики КА была разработана обобщенная математическая модель движения КА относительно центра масс.

Система дифференциальных уравнений, описывающая эволюцию вектора абсолютной угловой скорости КА в осях связанной системы координат, имеет вид

$$J \dot{\omega} = M - \omega \times J \omega,$$

где J - постоянная матрица тензора инерции в осях связанной системы координат, ω - вектор угловой скорости в связанной системе координат,

M - суммарный механический момент, действующий на КА, выраженный в связанной системе координат, который представляет собой сумму гравитационного (M_g), аэродинамического (M_a) и магнитного моментов (M_m); момента, создаваемого маховиками (M_H), момента от солнечного давления (M_k) и момента, обусловленного нежесткостью конструкции спутника (M_h):

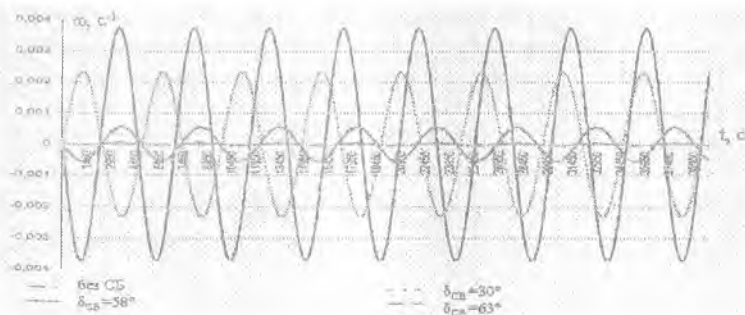
$$M = M_g + M_a + M_s + M_m + M_h + M_H.$$

Для качественного анализа движения КА относительно центра масс, в рамках создания обобщенной модели, была разработана предварительная модель движения относительно центра масс. Была создана программа на языке C++ включающая блок ввода начальных условий, блок выбора положения СБ, отдельные модули для расчета каждого момента, блок расчета правой части систем дифференциальных уравнений (СДУ), блок решения СДУ методом Рунге-Кутты четвертого порядка.

Для верификации и выявления ошибок на раннем этапе, для каждого блока в отдельности и всей программы в целом были сделаны аналогичные расчеты в программе для математических расчетов Mathcad. Для генерации необходимых при расчетах данных, а также в качестве виртуальной среды для отображения и анализа полученных результатов был использован графико-аналитический программный комплекс Satellite Tool Kit, разработанный американской компанией Analytical Graphics.

Качественный анализ результатов математического моделирования

Для качественного анализа была решена модельная задача, в которой рассматривалось влияние гравитационного и аэродинамического моментов СБ по каналу тангажа, а также возможность поддержания ориентации с помощью изменения положения СБ для создания необходимого сочетания гравитационного и аэродинамического моментов, компенсирующих возмущающий момент.



В результате моделирования был найден такой угол положения СБ, при котором КА поддерживает постоянную ориентацию при постоянном значении плотности атмосферы.

Следующим этапом было определение влияния параметров атмосферы. В результате моделирования при различных значениях плотности были найдены углы, при которых КА поддерживает постоянную ориентацию.

Плотность атмосферы	ρ	2ρ	3ρ	4ρ
Угол СБ	35°	58°	67°	72°

Анализируя полученные результаты, в дальнейшем можно построить зависимость угла ориентации от плотности атмосферы, что позволит создать алгоритм автоматического управления положением СБ для поддержания правильной ориентации.

Анализ примененные ТВР для управления КА «Океан-О»

Использование ТВР для качественного анализа позволило наблюдать характер движения КА, т.е. одновременно видеть углы, угловую скорость, угловое ускорение, а также положение относительно Земли, подстилающую поверхность, смену дня и ночи и, что немаловажно при моделировании движения КА «Океан-О», направление на Солнце, которое необходимо для зарядки солнечной батареи.



С помощью созданной системы можно наблюдать зоны покрытия, которые попадут в поле видимости приборов спутника за заданный интервал времени, а также непосредственно наблюдать за текущим участком этой зоны.

Выводы

В результате проведенной работы создана и верифицирована предварительная модель движения КА относительно центра масс. Разработана схема для отображения и анализа данных, полученных по математической модели, с помощью ТВР. Полученная схема была использована для качественного анализа характера движения КА «Океан-О» вокруг центра масс при различных параметрах атмосферы, в результате чего было найдено удовлетворяющее поставленным условиям положение СБ. Результаты расчетов совпали с данными

полученными при реальном управлении КА. Таким образом созданы предпосылки для использования ТВР при управлении сложными системами в реальном времени.

УДК 656.7

Илларионов А.А.

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В РОССИИ

Единая система организации воздушного движения Российской Федерации (РФ) в настоящее время обслуживает около 25 млн кв.км территории, в том числе 9 млн кв.км акватории Северного Ледовитого океана. Основным пользователем воздушного пространства России, в соответствии с Воздушным кодексом, является Министерство обороны, а для использования гражданской авиацией выделяются коридоры, которые в настоящее время составляют около 20% общей площади воздушного пространства. На данный момент протяженность воздушных трасс нашей страны превышает 600 тыс. км, из которых международные маршруты охватывают 90 тыс. км.

Определяющей задачей управления воздушным движением (УВД) является обеспечение безопасности полетов воздушных судов (ВС) всех типов, находящихся не только в воздушном пространстве, но и на земле. Система организации и управления воздушным движением входит в структуру гражданской авиации (ГА) и является одной из ее важнейших структур. Система организации воздушного движения (ОВД) является обеспечивающей по отношению к пользователю воздушного пространства, поэтому поддержание ее в рабочем состоянии – одно из главных условий для безопасного выполнения полетов.

Обеспечение пользователей воздушного пространства включает:

- метеорологическое обеспечение;
- радиотехническое обеспечение;
- электросветотехническое обеспечение;
- аэродромное обеспечение.