

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ПРИЕМА ТЕЛЕМЕТРИИ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТЫ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. П. Верстаковская

Белорусский государственный университет, г. Минск;

verstakovskaya99@gmail.com

науч. рук. – А. А. Спиридонов, ст. преп.

Рассматривается построение автономной мобильной станции приёма телеметрии с использованием программно-определяемой радиосистемы для определения орбит малых космических аппаратов (МКА). Данная станция позволит производить приём телеметрии МКА из любой точки мира в любой местности, удовлетворяющей допустимым нормам.

Ключевые слова: наземная станция приема, определение орбиты, программно-определяемый радиоприемник, приём телеметрии, малый космический аппарат.

Разработка новых методов построения наземных комплексов управления малыми и сверхмалыми космическими аппаратами является важной частью развития космической отрасли как университета, так и страны в целом [1]. С появлением новых технологий появляются возможности минимизировать затраты на построение таких комплексов и их размеры, при этом не теряя качества итогового продукта или даже улучшая его. Это, несомненно, актуально и для аэрокосмической индустрии. На сегодняшний день технологии позволяют принимать телеметрию спутников из любого уголка Земли, имея под рукой лишь компьютер с общедоступным программным обеспечением, приемник и антенну. Вскоре огромные наземные комплексы управления, занимающие гектары полезной площади, смогут уменьшиться до размеров небольшой комнаты со всем необходимым оборудованием.

В данной работе предложено минималистичное решение построения автономной мобильной наземной станции приема (МНСП) телеметрии, которое при этом позволит улучшить качество приема и увеличить количество принимаемых данных. Для решения задач по управлению университетскими сверхмалыми космическими аппаратами (СМКА), слежению и проведению сеансов радиосвязи актуальными являются вопросы надежного и оперативного приема телеметрии, прогнозирования будущих положений космического аппарата (КА). Выполнение прогнозирования для университетского наземного комплекса управления (НКУ) обычно происходит с использованием модели прогнозирования SGP 4, и входными данными являются орбитальные параметры в формате TLE системы NORAD (North American Aerospace Defense Command – Командование воздушно-космической обороны Северной Америки). TLE обновляются

ежедневно, доступны бесплатно, но в долгосрочной перспективе или в случае военных конфликтов система NORAD имеет возможность отключить общий доступ к базе данных. Реже на борту СМКА для определения точных координат и скорости используют навигационный приемник [2]. Еще одним способом получения начальных данных для моделей прогнозирования движения СМКА является определение орбиты на основе измерений характеристик радиосигналов телеметрической или командной радиолинии [3]. Измеряемыми параметрами для бюджетной университетской НСП являются время и доплеровский сдвиг частоты принимаемого радиосигнала. Для корректного определения параметров орбиты МКА необходима временная синхронизация между приемной станцией и самим аппаратом. Наиболее точным из доступных является метод синхронизации с использованием GPS приемника с 1PPS сигналами.

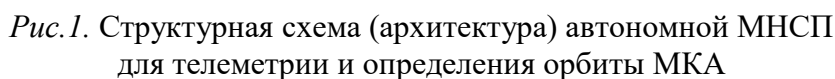
Ранее уже была разработана архитектура построения МНСП на основе программно-определяемой радиосистемы [4]. МНСП состоит из антенны волновой канал с круговой поляризацией радиолучительского диапазона 435–438 МГц (или всенаправленной «квадрифилярной» антенны); системы приема на основе модуля SDR радиоприемника и усилителя входного сигнала; управляющего мобильного персонального компьютера (ноутбука); программно-аппаратных средств системы навигационно-баллистического обеспечения (НБО). Технология приёма предполагает приём одного и того же пакета телеметрии с СМКА на всех синхронизированных наземных станциях приема (НСП) и за счёт обработки измерений времени приёма и частоты радиосигнала телеметрии определения его точных орбитальных параметров.

Экспериментальный образец МНСП тестировался на приеме телеметрии и измерении орбит СМКА с различной периодичностью передачи пакетов телеметрии. В проведенных экспериментах были измерены времена приема и частоты радиосигналов телеметрии СМКА CubeBel-1 (измерения на одном пролете) и LUOJA-1 01 (измерения на нескольких пролетах). Радиосигналы телеметрии после преобразования на промежуточную частоту в модуле SDR радиоприемника поступали на вход модуля синхронизации, измерения частоты и времени для дальнейшей обработки. GPS модуль принимал радиосигналы навигационных КА и на вход модуля синхронизации, измерения частоты и времени передавал импульсные сигналы 1PPS, синхронизированные со шкалой времени UTC, текущие отсчеты системного времени GPS; точные координаты приемных антенн и NMEA пакеты. На выходе модуля синхронизации, измерения частоты и времени приема формировались время и частота принимаемых радиосигналов телеметрии, которые передавались в управляющий ПК для дальнейшей обработки в ПО определения и уточ-

нения орбит. Данные измерения на одном (для CubeBel-1) и нескольких последовательных пролетах (для LUOJA-1 01) СМКА по доплеровскому сдвигу частоты на моменты приема телеметрии сравнивались с результатами моделирования на основе SGP 4 модели по начальным данным в формате TLE. Было показано, что экспериментальные данные по доплеровскому сдвигу частоты хорошо согласуются с данными моделирования. Было проведено начальное определение параметров орбит СМКА. Для обработки измерений СМКА CubeBel-1 на одном пролете использовался алгоритм определения на основе модели невозмущенного движения. Для обработки измерений СМКА LUOJA-1 01 на нескольких пролетах использовался алгоритм определения на основе модели кругового возмущенного движения. По расчетным параметрам орбит СМКА была проведена оценка точности прогнозирования угла места, азимута КА и доплеровского сдвига частоты радиосигналов телеметрии. Абсолютные ошибки прогнозирования угла места и азимута не превосходили 3° , абсолютная ошибка прогнозирования доплеровского сдвига частоты не превосходила 150 Гц, что является достаточным для успешного приема радиосигналов телеметрии и их декодирования.

Используя данную архитектуру, предлагается сделать станцию автономной для возможности использования в любых условиях в любой точке страны и мира. С этой целью исходная структура станции была модифицирована следующим образом: персональный компьютер был заменен на одноплатный промышленный компьютер, была добавлена автономная система питания с возможностью зарядки от солнечных батарей или ветряных генераторов. Модифицированный вариант построения автономной МНСП показан на рисунке. В связи с предположением работы станции в неблагоприятных или экстремальных условиях, необходимо выбирать оборудование с соответствующими техническими параметрами: широкий интервал рабочих температур, в том числе отрицательных; устойчивость к влаге (данный параметр можно не учитывать при использовании герметичного корпуса для размещения всей аппаратуры); устойчивость к вибрациям; высокая энергоэффективность; малогабаритность; долгий срок службы. Важной характеристикой одноплатного компьютера является наличие GSM-модуля либо интерфейса Ethernet для осуществления передачи данных на центральный НКУ.

Для удаленного контроля работы аппаратуры автономная МНСП может быть оснащена аудио и видео оборудованием. Эта опция упразднит необходимость постоянного «полевого» контроля, что позволит проводить выездное обслуживание станции лишь при необходимости.



Библиографические ссылки

- 160