

Низкоорбитальные группировки малоразмерных космических аппаратов

А. А. Спиридонов, В. А. Велиган, И. А. Шалатонин, В. С. Баранова,
Д. В. Ушаков, В. Е. Черный, В. Е. Евчик, В. А. Саечников

Белорусский государственный университет, Минск, e-mail: sansan@tut.by

Рассмотрено построение группировок малоразмерных космических аппаратов. Описаны требования к технологиям управления орбитальной группировкой и организации работы сети наземных станций.

Ключевые слова: малоразмерный космический аппарат, группировка, наземная станция

Введение

Использование малоразмерных космических аппаратов (МКА) – микроспутников (массой до 100 кг), наноспутников (массой до 10 кг) и пикоспутников (массой до 1 кг) и космических группировок на их основе для решения широкого спектра прикладных задач [1–3] является в настоящее время одной из ведущих тенденций развития космических технологий во всем мире. В настоящее время (данные август 2021) запущено 1766 наноспутников, из них 1634, разработанных по стандарту Cubesat [4]. Применение МКА позволяет эффективно выполнять требования потребителей, которые заключаются в том, что любая космическая услуга должна быть предоставлена в любое время, в любом месте, с требуемым качеством, за умеренную плату. Однако проблему обеспечения высокой надежности на примере одного МКА (срок активного функционирования не превышает 3–5 лет) решить не удаётся из-за использования при разработке недорогих коммерческих комплектующих (иногда нерадиоционно-стойкого исполнения), меньшего количества наземных испытаний, не строгих условий приемки в эксплуатацию. Применение группировок МКА не только решает проблему надежности, но и существенно улучшает качество работы системы и повышает эффективность целевого функционирования. В настоящее время в Республике Беларусь имеется опыт отработки технологий группового полета на примере космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) Канопус-В и белорусского космического аппарата (БКА). Получен большой опыт по приему и обработке информации с этих космических аппаратов. Но исследование вопросов отработки технологий группового полета МКА в Республике Беларусь не проводились.

В настоящее время разворачиваются 33 группировки МКА. Из них 20 группировок связи (радио и оптический диапазон, передача данных, интернет), 9 группировок ДЗЗ, 3 группировки исследование погодных явлений, 3 группировки автоматического слежения за подвижными объектами самолетами и морскими судами (AIS, ADS-B). Планируются к созданию 46 группировок МКА, в том числе с новыми целевыми задачами, такими как наблюдение за астероидами, научные исследования Солнца и ионосферы. Количество космических аппаратов в группировки варьируется от десятков до тысяч. Так в группировке ДЗЗ SatRevolution предполагается запустить 1024 аппарата с инновационным разворачиваемым телескопом имеющим разрешение 50 см (в настоящее время запущен 1 КА). В группировке связи (IoT / M2M, Internet, Direct-to-phones) Lynk предполагается запустить 1000 аппаратов. В таблице 1 приведены характеристики трех группировок МКА, которые наиболее полно функционируют и выполняют целевые задачи в настоящее время.

Табл. 1. – Характеристики трех группировок МКА.

Название	Planet	SpireGlobal	OneWeb
Целевая задача	ДЗЗ (получение изображений Земли с разрешением 3-5 м и периодичностью 1 раз в сутки)	ДЗЗ (погода, предсказание землетрясений), автоматическое слежение за самолетами и морскими судами (AIS, ADS-B)	Интернет
Число запущенных КА	475	151	254
Число планируемых КА	150	150	648
Тип орбиты	Низкая	Низкая	Низкая
Стандарт КА	Наноспутники Cubesat 3U (Flock / Dove)	Наноспутники Cubesat 3U (Lemur / Minas)	Smallsat
Первый запуск	2013	2013	2019
Страна	США	Великобритания	Великобритания
Финансирование	\$374 М+	\$220 М+	\$4.6 В

1. Построение группировки МКА Planet

Примером группировки МКА является многоспутниковая система ДЗЗ компании Planet (Сан-Франциско, Калифорния, США). В настоящее время запущено 418 КА (Flock, Dove, SkySat и RapidEye). Компания, основанная 29 декабря 2010 года инженерами, ранее работавшими в NASA, поставила своей целью использование наноспутников стандарта CubeSat для получения качественных изображений земной поверхности. С начала 2014 года компания приступила к развертыванию орбитальной группировки из наноспутников Flock первого поколения, спутников занимало несколько месяцев. Подход к производству КА в Planet напоминает работу создателей портативной электроники (смартфонов, планшетов) или программного обеспечения. Вместо резервирования систем одного спутника и качественной наземной отработки было принято решение изготавливать сразу много спутников в качестве резерва. Поиск оптимальной конструкции происходил за счет быстрого внедрения новых решений и их проверки на орбите. Другая важная особенность философии конструирования спутников в Planet – широкое использование «земных» решений, в первую очередь из автомобильной и электронной промышленности. Так, для анализа тепловых режимов наноспутника использовалось то же программное обеспечение, что и для аналогичных расчетов дизелей Ford. А проектирование электроники КА производилось в том же программном пакете, что и игровая консоль Playstation.

Спутники Dove стандарта Cubesat 3U, массой 4,7 кг движутся по круговым солнечно-синхронным орбитам с высотой 475 км и наклоном 98°. Средний объем данных изображения, передаваемых в день спутниками Dove, составляет приблизительно 550 ГБ, заявленная точность привязки космических снимков после первичной обработки (геометрической и радиометрической коррекции) составляет 5–8 м, съемка производится постоянно при полете над сушей с частотой один раз в

секунду. Спутники Flock стандарта Cubesat 3U, движутся по круговым орбитам с высотой 400 км и наклонением 52°, обеспечивая съемку с разрешением 3–5 м. Бортовая система связи представлена приемопередатчиком УКВ диапазона на базе CC1110 для передачи телеметрии и приема команд управления; высокоскоростным передатчиком программно-определяемого радио X-диапазона на базе DVB-S2 для передачи большого объема целевой информации; высокоскоростным передатчиком S-диапазона MNX-2400 для передачи изображений. Каждый спутник Planet Labs оснащен оптической системой и CCD камерой. В группировке используются три поколения оптических инструментов: Planet Scope 0 и Planet Scope1 (двухэлементная оптическая система Максудова-Кассегрена в паре с 11-мегапиксельным ПЗС-детектором); Planet Scope 2 (пятиэлементная оптическая систему с 29-мегапиксельным ПЗС-детектором).

Помимо самой большой в мире орбитальной группировки компанией была создана мощная наземная инфраструктура. На 12 площадках трех континентов развернуты наземные станции с 36 приемными антеннами диаметром 4,5–8 м), обеспечивающими как управление спутниками, так и прием изображений. В штатном режиме функционирования система может обеспечивать ежедневный прием и обработку 6 терабайт данных.

2. Построение группировки МКА SpireGlobal

Группировка SpireGlobal занимается исследование погодных явлений (Spire Earth Information и Spire Weather), задачами автоматического слежения за подвижными объектами самолетами (SpireAviation) и морскими судами (SpireMaritime). С момента создания компании на орбиту было запущено более 150 спутников. Многие небольшие спутники Spire предоставляют информацию в режиме, близком к реальному времени, из любой точки Земли, что позволяет получать более точные прогнозы погоды, данные о подвижных объектах и другую информацию. На данный момент компания имеет самую большую разнесенную сеть наземных станций, которая позволяет компании передавать спутниковые данные с большой скоростью.

Наноспутники Lemur и Minas компании Spire - это гибкие платформы, созданные в стандарте Cubesat 3U массой 4,6 кг, с расчетным сроком службы 2 года. Спутники компании Spire находятся на разных орбитальных наклонениях. 74 спутника находятся на солнечной синхронной орбите, 4 спутника имеют 83–85 градуса наклонения орбиты, 4 спутника на экваториальной орбите, 22 спутника имеют такое же наклонение, как и международная космическая станция, 8 спутников имеют наклонение 37 градусов. Полезная нагрузка спутников Spire включает в себя: GNSS-приемник STRATOS для дистанционного зондирования атмосферы и ионосферы (продольное разрешение порядка 200 км, поперечное разрешение порядка 1 км) и точного определения орбиты; приёмник SENSE сигналов автоматической идентификационной системы AIS слежения за морскими судами; приемник ADS-B слежения за самолетами; различные погодные датчики. Группировка SpireGlobal предоставляет пользователю: глобальный прогноз погоды на разных высотах (прогноз погоды на высоте полета самолётов); 50 погодных переменных; различные временные прогнозы погоды (короткие - прогноз каждый час, средние - прогноз каждые 6 часов, ретроспективные – прогноз последних 3 дней и более).

Заключение

Анализ построения малоразмерных МКА позволяет сделать выводы, что работа группировок различного назначения отличается от миссий одиночных МКА, требует:

жесткой временной и пространственной синхронизации при решении целевых задач; совместного маневрирования; использование перспективной технологии управления орбитальной группировкой МКА. Для решения этих задач целесообразно использовать возможности межспутниковой связи, эффективные алгоритмы управления и мультиагентные технологии. Актуальными являются задачи отработки технологий управления орбитальной группировкой МКА; организации работы сети наземных станций по управлению группировкой, по приему и обработке телеметрической и научной информации; временной и пространственной синхронизации работы КА в группировке при решении целевых задач; совместного маневрирования КА в группировке и обучение данным технологиям специалистов аэрокосмической отрасли. В системе управления основной упор должен делаться не на управление отдельным аппаратом, а на оценку состояния группировки в целом и принятие решения по ее реконфигурации, на выдачу задания на применение и на обработку целевой информации. При этом, КА должны обладать высокой степенью автономности функционирования. В процессе создания наземной инфраструктуры должны быть учтены следующие особенности: управление распределенными космическими системами с использованием каналов связи «МКА-Земля», «МКА-МКА», «МКА-спутник-ретранслятор-Земля» и обратно; использование на наземном комплексе управления постоянно функционирующей модели всей системы, адекватно отражающей в режиме реального времени состояние орбитальной группировки и всей системы и прогнозирующей различные ситуации поведения системы для выдачи управляющего воздействия.

Литература

1. Villela T., Costa C. A., Brandão A. M., Bueno F. T., Leonardi R. Towards the Thousandth CubeSat: A Statistical Overview. International Journal of Aerospace Engineering. 2019. Vol. 2019. P. 1–13.
2. Kameche, M.; Benbouzid, A. B.; Benzeniar, H.; Amri, R. Disaster Monitoring Constellation Using Nanosatellites. Journal of Aerospace Technology and Management. 2019. V. 6, No .1, P. 93–100.
3. Saetchnikov V., Semenov S., Spiridonov A., Tcherniavskaia E., Cherny V., Stetsko I., Vasilenko S., Buchinsky D. BSUSat-1 – Research educational lab - one year in orbit. Proceedings of IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace. 2020. P.111–116.
4. Nanosats and cubesats database. Nanosats database.[Online]. Available: <https://www.nanosats.eu/database> <https://www.nanosats.eu/database> Access: September 2021.

Low-orbit constellations of small sized satellites

A. A. Spiridonov¹, V. A. Veligan, I. A. Shalatonin, V. S. Baranova,
D. V. Ushakov, V. E. Cherny, V. E. Evchik, V. A. Saechnikov

Belarusian State University, Minsk, e-mail: sansan@tut.by

The construction of constellation of small-sized satellites is considered. The requirements for technologies for controlling the orbital constellation and organizing the operation of a network of ground stations are described.

Keywords: small sized satellite, constellation, ground station