

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Ю. Потюпкин, Ю.А. Тимофеев, С.А. Волков, К.Н. Свиридов

АО «Российские космические системы»

contact@spacecorp.ru

Современное состояние уровня развития малоразмерных космических аппаратов (МКА) различного класса, том числе нано- и пико-, позволяет утверждать, что назрела необходимость принятия решений о дальнейших шагах по развитию индустрии МКА.

В настоящее время в Российской Федерации достигнуты определенные успехи в разработке и создании отдельных МКА, в том числе и вузовскими коллективами. Однако на повестке дня стоит создание многоспутниковых группировок МКА как группировок принципиально нового уровня. В связи с этим в ряде исследований рассматриваются вопросы группового применения МКА, разрабатываются способы планирования функционирования бортовой аппаратуры МКА, управления группой МКА, создания кластерных структур [1]. Однако уровень практической реализации высказанных выше предложений оставляет желать лучшего. Ключевым вопросом остается групповое управление МКА не как совместное управление множеством КА по отдельности, а управление группой МКА как единым космическим объектом.

Специалистами АО «РКС» сделаны определенные шаги в этом направлении, в частности предложена модель функционирования кластеров МКА на основе функциональных режимов, определено их содержание, разработан алгоритм выбора МКА для формирования орбитальных кластерных структур и элементы технологического цикла управления кластером МКА [2]. Но, несмотря на значительные возможности АО «РКС», деятельность организации жестко регламентирована соответствующими нормативными актами, что не позволяет провести инициативные экспериментальные исследования высказанных предложений путем создания летного кластера МКА, например, форм-фактора CubeSat. В связи с этим представляется, что в рамках вузовской науки возможно сделать определенные шаги по апробации технологий группового управления кластером МКА. Сама технология, доведенная до уровня практически реализуемых алгоритмов и программных модулей, может стать в перспективе интеллектуальным продуктом.

В качестве базового варианта можно рассмотреть вариант реализации эффекта стереосъемки парой КА на некотором интервале времени. В процессе полета МКА изменяют свое местоположение в пространстве, однако требования по образованию стереопары остаются неизменными: если B – стереобаза между КА, H – высота полета, то заданный показатель стереосъемки $B/H = 1/50$, обеспечивающий взаимное угловое положение Ψ . Для того чтобы выдерживать указанные требования КА стереопары должны обеспечить устойчивое поддержание стереобазы B с заданной точностью, а также согласованно выполнить программные развороты в соответствии с динамикой движения КА.

Вектор состояния каждого КА можно описать следующей совокупностью параметров $\{X, Y, Z, V_x, V_y, V_z, \varphi_T, \varphi_K, \varphi_P, \omega_T, \omega_K, \omega_P; t\}$. Здесь $\{X, Y, Z, V_x, V_y, V_z\}$ – координаты КА и скорости их изменения в геоцентрической системе координат, $\{\varphi_T, \varphi_K, \varphi_P, \omega_T, \omega_K, \omega_P\}$ – углы крена, тангажа и рыскания и угловые скорости их изменения. Значение стереобазы $B(T)$ в первом приближении можно описать как

$$B(t) = \sqrt{[X_{ка1}(t) - X_{ка2}(t)]^2 + [Y_{ка1}(t) - Y_{ка2}(t)]^2 + [Z_{ка1}(t) - Z_{ка2}(t)]^2}.$$

Точность поддержания стереобазы, а также взаимного углового положения должна обеспечивать требуемое качество изображения, в первую очередь отсутствие смаза. В связи с этим резко возрастают требования к выполнению технологического цикла управления по всем составляющим – командно-программного обеспечения (КПО), навигационно- баллистического (НБО), информационно – телеметрического (ИТО) и частотно-временного (ЧВО). В их составе появляются новые задачи, связанные с групповым взаимодействием МКА.

Рассмотрим данный вопрос подробнее. Примерная структура ТЦУ для успешной реализации целевого эффекта стереосъемки заданного района будет выглядеть следующим образом (Табл. 1). В таблице показаны решаемые задачи и вид информационного обеспечения, к которому они относятся.

На основе эффекта стереосъемки можно рассмотреть более сложный проект, связанный с созданием распределенной системы зеркал, размещенных на нескольких МКА, и образующих из отдельных фрагментов синтезированную апертуру большого размера. Подобные примеры оптических матриц в космосе достаточно подробно рассмотрены в работе [4].

Представляется, что усиление внимания вузовской науки на задачи более высокого уровня – от отдельных МКА к группам МКА и реализация групповых эффектов на сегодняшний день является действительно актуальным направлением в связи с предполагаемой реализацией многоспутниковых группировок различного назначения, что позволит не только поднять престиж учебных заведений но и получить новые интеллектуальные продукты в виде соответствующего программно-алгоритмического обеспечения технологий группового управления.

Таблица 1. Примерная структура ТЦУ для успешной реализации стереоэффекта

Решаемые задачи	Вид обеспечения
Выбор стереоэффекта на основе заявки потребителя	КПО
Определение пространственно-временных требований к рабочей структуре для реализации МКА, локализация требуемой области космического пространства	НБО
Прогноз параметров движения МКА группировки	НБО
Расчет требуемых значений стереобазы, возможностей ее поддержания на заданном интервале времени	НБО
Выбор МКА, потенциально способных реализовать заданный стереоэффект в выбранной области пространства в требуемое время	КПО
Оценка технического состояния выбранных МКА, запаса ресурсов электроэнергии и рабочего тела, прогноз состояния на момент выполнения целевых задач	ИТО
Оценка состояния системы информационного обмена, прогноз состояния на момент выполнения целевых задач, возможностей передачи информации	ИТО
Решение задачи маршрутизации на момент выполнения целевых задач	КПО
Контроль и синхронизация бортовой и групповой шкал времени, расчет поправок выполнения целевых задач	ЧВО
Уточнение альманаха системы	КПО

Оценка уровня конфликтности предварительно выбранных МКА, заявок на их включение в другие орбитальные структуры	КПО
Выбор КА для реализации стереоэффекта согласно алгоритма выбора, формирование целевого кластера	КПО
Расчет алгоритмов программного разворота МКА, стабилизации, требований по точности стабилизации, расхода электроэнергии и рабочего тела на выполнение операций	КПО
Формирование набора управляющих воздействий - командно-программной информации для бортовой аппаратуры МКА	КПО
Формирование исходных данных для режима построения рабочей структуры, расчет рабочих программ для закладки на МКА	КПО
Проведение сеансов связи с МКА, закладка рабочей программы, разовых команд и уставок, контроль прохождения	КПО
Реализация эффекта стереосъемки, получение информации, обработка на БЦВК, передача информации по каналам связи потребителю в соответствии с ранее решенной задачей маршрутизации	КПО НБО ИТО ЧВО
Контроль выполнения запланированного режима	ИТО
Оценка качества полученного результата, контроль выполнения запланированных алгоритмов функционирования отдельных МКА и кластера в целом.	ИТО

Список литературы:

1. Городецкий В.И., Карсаев О.В. Самоорганизация группового поведения кластера малых спутников распределенной системы наблюдения // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 234-247.
2. Потюпкин А.Ю., Данилин Н.С., Селиванов А.С. Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 4. С. 45–56.
3. Тюлин А.Е., Бетанов В.В., Яшин В.Г. Орбитальные сегменты космических систем пространственно-временного обеспечения. Часть 2. М.: Инновационное машиностроение, 2020. 298 с.
4. Colloquium on kilometeric optical arrays in space / Cargese (Corsica), 23-25 October 1984, ESA SP-226, April 1985.