

О технологии комплексного применения группировки малых космических аппаратов

Л.А. Гришанцева, Д.И. Бубненко, Н.А. Егорова, А.А. Емельянов, В.А. Селин

АО «Российские космические системы», Москва, 127490, Россия

E-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru

В области дистанционного зондирования Земли наблюдается тенденция создания орбитальных группировок малых космических аппаратов, как разнородных, так и одинаковых, взаимозаменяющих друг друга. В работе рассмотрены особенности программно-аппаратных технологий, используемых в настоящее время оператором российских космических средств дистанционного зондирования Земли для комплексного применения группировки малых космических аппаратов. Их существенным недостатком является отсутствие автоматического взаимодействия средств планирования и обработки данных, созданных независимо различными исполнителями отдельно для каждого космического комплекса, а также отсутствие автоматического распределения информационных ресурсов орбитальной группировки, исходя из заявок потребителей и технических возможностей наземной инфраструктуры, что приводит в том числе к большому количеству трудоемких ручных операций при распределении заявок на съемку между космическими аппаратами. Предложены принципы построения технологии комплексного применения малых космических аппаратов, позволяющие автоматизировать работу обслуживающего персонала.

Ключевые слова: комплексное применение, дистанционное зондирование Земли, малые космические аппараты, средства планирования и обработки данных

Одобрена к печати: 15.11.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-43-50

Введение

Развитие науки и техники привело к возможности миниатюризации практически всех служебных систем космических аппаратов (КА) без ущерба для их функциональных качеств. Первые малые космические аппараты (МКА) появились за рубежом как опытные образцы университетских разработок, используемые для приобретения опыта в создании и эксплуатации космической техники или как инструмент для отработки новых инженерных и технологических решений (Севастьянов и др., 2009).

В различных источниках КА классифицируются по массово-габаритным параметрам в широком спектре значений без учета состава целевой аппаратуры и информационных возможностей МКА. Тем не менее большинство классификаций относят к малым КА весом менее 500 кг. Преимуществами использования МКА являются (Севастьянов и др., 2009):

- малые сроки разработки, позволяющие своевременно внедрять новые технологии приборостроения;
- быстрое восполнение группировки в случае поломки МКА;
- значительное увеличение оперативности получения данных наблюдения за счёт создания необходимой по численности группировки МКА;
- экономическая эффективность целевого использования МКА на высотах функционирования до 1000 км, на которых срок активного существования «тяжелых» КА без применения соответствующих средств коррекции орбиты достаточно мал.

Группа МКА, объединенная в орбитальную систему или орбитальную группировку (ОГ), позволяет оперативно получать данные для решения широкого круга социально-экономических задач, в том числе: картографии, мониторинга и контроля окружающей

среды, метеорологии, прогнозирования опасных явлений и оперативного контроля чрезвычайных ситуаций и др. (Севастьянов и др., 2009). При этом возможны следующие варианты создания ОГ МКА (Макриденко, Волков, Ходненко, 2014):

1. несколько МКА (не более 10 спутников), каждый из которых выполняет свою функцию в рамках единой целевой программы, текущее планирование работы и обработка информации в этом случае осуществляются специально разработанными для каждого КА программными средствами;

2. большое количество однотипных, взаимозаменяемых МКА, работа с которыми выполняется по единой технологии.

Главным отличием МКА от «больших» КА является число типов устанавливаемой на них целевой аппаратуры (ЦА): последние представляют собой многофункциональные комплексы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), решающие широкий спектр задач, в то время как на первых устанавливается только аппаратура одного типа (зачастую в одном экземпляре измерительного прибора) для выполнения одной определенной целевой функции. Указанная характерная черта МКА приводит к отсутствию необходимости учитывать ограничения на одновременную работу ЦА различного типа на одном КА. Таким образом, основными задачами АПС планирования комплексного применения ОГ МКА являются эффективное распределение работы между отдельными КА ОГ, а также оптимальное использование ресурса наземных приемных комплексов.

В настоящее время широкое распространение получила модульная система построения аппаратно-программных средств (АПС) комплексного применения КА, причем модули, разрабатываемые под каждый КА отдельно различными исполнителями и представляющие собой законченные оконные приложения, несовместимы между собой и часто дублируют функции друг друга. Недостатками такой технологии являются:

- низкая унификация решений, приводящая к большим трудозатратам на доработку АПС при вводе в эксплуатацию нового КА в случае ОГ первого типа;
- большая трудоемкость планирования работы группировки в условиях необходимости конкурентного выбора из информативных возможностей нескольких КА ОГ, что обусловлено отсутствием автоматизированного взаимодействия программных модулей, обслуживающих различные КА в случае ОГ как первого, так и второго типа, в частности, из-за отсутствия автоматического распределения заявок на съемку по различным КА.

Целью данной работы является решение указанной выше проблемы, а именно разработка технологии комплексного применения КА ОГ, лишенной указанных недостатков, т.е. позволяющей унифицировать применение аппаратно-программных решений для одной или нескольких однотипных ОГ при одновременном существенном снижении трудоемкости планирования работ на ОГ.

Для апробации разработанной технологии в рамках СЧ НИР «Мониторинг-СГ-1.1.2.1» в НЦ ОМЗ был создан экспериментальный образец аппаратно-программного комплекса, на котором с использованием реальных спутниковых данных были протестированы предлагаемые подходы и реализующие их технические решения.

Архитектура комплексного применения космических аппаратов

Технологию комплексного применения КА или группировки КА целесообразно рассматривать как совокупность приемов, методов и процессов, обеспечивающих непрерывный цикл применения КА, начиная от планирования работы ЦА и заканчивая предоставлением данных потребителю. Работы по комплексному применению КА состоят из следующих основных этапов:

1. прием, формализация и регистрация заявок на получение данных ДЗЗ, поиск подходящих архивных данных и, в случае отсутствия последних, оценка реализуемости заявки и принятие решения о планировании съемки;
2. планирование работы ЦА КА с учетом заявок на съемку и условий их выполнения;
3. прием и регистрация информации наземными станциями;
4. обработка информации до требуемого уровня;
5. архивация и каталогизация принятой и обработанной информации;
6. предоставление потребителям доступа к информации и продуктам ее обработки.

Состав и структура программных средств экспериментального образца комплексного применения МКА, разработанного в НЦ ОМЗ на базе существующей технологии автоматической потоковой обработки данных КМСС КА типа «Метеор-М», показана на *рис. 1*.

Прямоугольниками обозначены программные комплексы:

- комплекс ведения заявок потребителей (КВЗП);
- комплекс планирования работы МКА (КПР);
- комплекс приема информации (КПИ);
- комплекс автоматизированной обработки информации (КАОИ);
- комплекс архивирования информации, включающий программный комплекс архивирования (ПКА), программный комплекс каталогизации (ПКК), оперативный архив, долгосрочный архив;
- комплекс предоставления информации потребителю (КПДП).

Цилиндрами представлены хранилища информации: база данных, предназначенная для хранения информации и координации автоматической обработки данных, и дисковый массив, на котором происходит обработка. Цифрами обозначены информационные потоки:

1. заявки на съемку, введенные пользователями по сети Интернет;
2. формализованные и подтвержденные заявки для планирования работы ЦА;
3. рабочие программы КА, формируемые КПР;
4. план сеансов приема информации наземными станциями, формируемые КПР;
5. метаданные, необходимые для координации обработки;
6. метаданные маршрутов съемки, подготовленных к архивации;
7. метаданные маршрутов съемки для каталогизации;
8. принятая целевая информация;
9. метаданные и квиклуки (обзорные изображения) маршрутов съемки для архивации и каталогизации;

- 10. целевая информация различных уровней обработки;
- 11. целевая информация, подготовленная к архивации;
- 12. квиклуки.

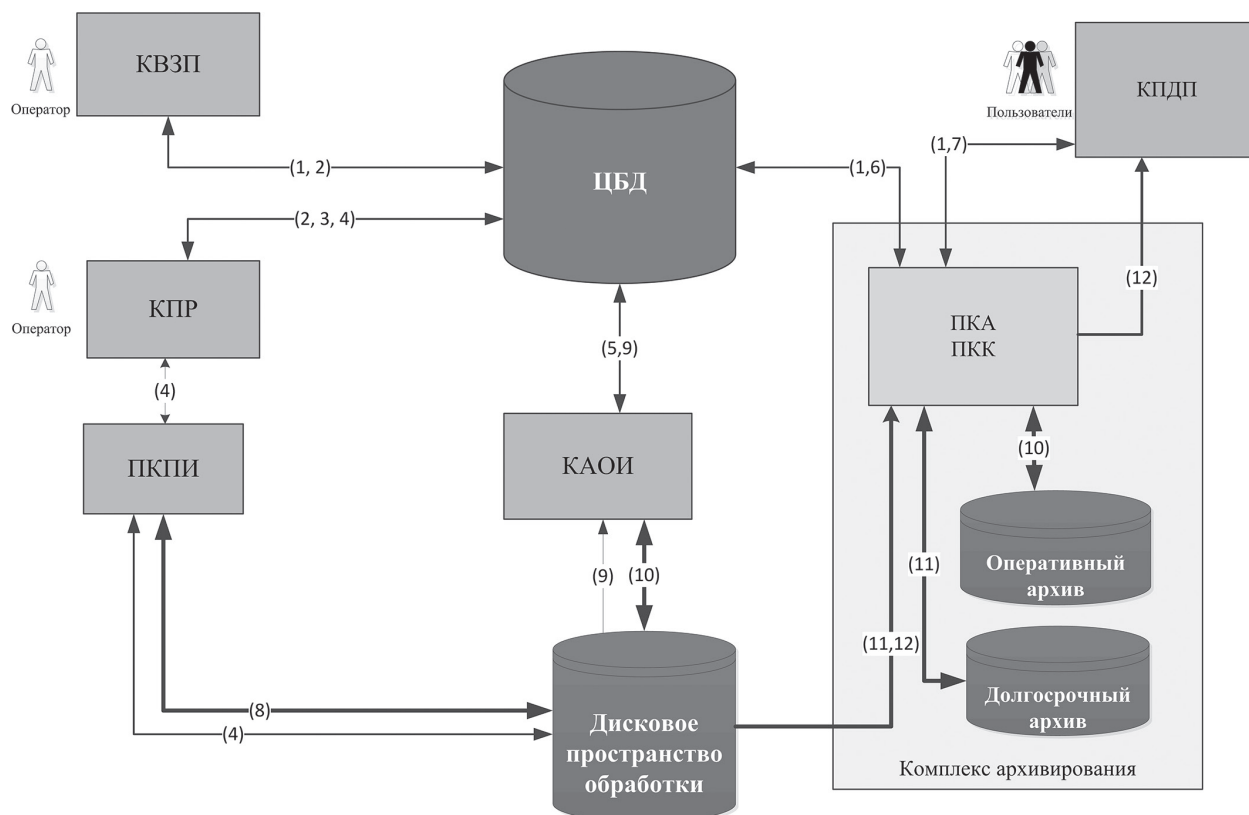


Рис. 1. Состав и структура программных средств

Реализация экспериментального образца аппаратно-программного комплекса

Программные средства КПР и КАОИ построены по иерархическому принципу, в котором центральная программа-координатор выполняет функции общего управления работой отдельных модулей. Вся информация о порядке работы с данными КА каждого типа, как в части планирования, так и в части обработки хранится в базе данных. По поступившим входным данным программа-координатор определяет необходимую информацию (тип КА, ЦА и т.д.), запрашивает в базе данных информацию о составе, последовательности и параметрам запуска (рис. 2), затем запускает требуемые программные модули и по результатам их выполнения принимает решение о продолжении работы. Информация о процессе работы сохраняется в базе данных. В зависимости от технических характеристик аппаратных средств работа с различными входными данными может проводиться параллельно.

В качестве программных модулей, выполняющих различные этапы работ, используются динамические библиотеки. Основная процедура библиотеки, вызов которой осуществ-

влет программа-координатор, имеет стандартное имя и набор передаваемых параметров. Так, например, для программ текущего планирования работы каждого КА используются следующие параметры:

- массив заявок для планирования, включающий информацию об угле Солнца, координатах района интереса каждой заявки;
- массив работающих ППИ, включающий информацию о координатах ППИ, минимальном времени сеанса приема данных, углах приема данных;
- трасса КА на период планирования (с заданным временным интервалом), включающая информацию о координатах подспутниковой точки, полосе обзора ЦА и освещенности Земной поверхности. Трасса рассчитывается для каждого КА ОГ заранее и сохраняется в файл;
- рабочая программа КА, представляющая собой перечень интервалов работы бортовой аппаратуры с указанием режима работы (например, передача данных на наземную приемную станцию, съемка и т.д.).

После завершения работы модуля текущего планирования работы каждого КА программа-координатор проводит оптимизацию полученного набора рабочих программ, при необходимости процедуры текущего планирования и оптимизации могут быть запущены несколько раз для наиболее эффективного использования ресурса КА (что актуально для ОГ второго типа).



Рис. 2. Алгоритм работы программы-координатора

Проблема автоматического выбора КА в случае возможности выполнения заявки различными типами ЦА, актуальная для ОГ первого типа, решена следующим образом:

в базе данных содержится информация о том, какие продукты могут быть получены с использованием ЦА каждого КА. Потребитель в заявке должен указать требуемый тип продукта (под продуктом понимается совокупность сведений о необходимом разрешении, спектральных каналах, уровне обработки). При формировании перечня заявок перед началом текущего планирования учитывается возможность их выполнения КА, находящимися в эксплуатации в заданный период времени (эта информация также содержится в базе данных). Если какая-либо заявка может быть выполнена двумя КА, она будет учтена в списке заявок, выдаваемых на текущее планирование для каждого из КА. Окончательный выбор КА, выполняющего данную заявку, будет осуществляться программой-координатором при оптимизации рабочей программы.

Преимуществом такого построения системы комплексного применения МКА является то, что разработка программ-координаторов требуется только при первичном создании АПС. При вводе новых КА данное программное обеспечение используется повторно, дорабатываются только отдельные модули, информация о порядке работы с ними (имя модуля, тип обслуживаемой аппаратуры и т.д.) вводится в базу данных. Разработка отдельных модулей текущего планирования работы и обработки данных конкретного КА может быть выполнена сторонними исполнителями (например, разработчиками съемочной аппаратуры) при условии сохранения интерфейса программ.

Программы-координаторы каждого комплекса представляют собой оконные приложения. Внешний вид программ КПП и КАОИ представлен на *рис. 3* и *4* соответственно. На экран выводится вся информация, необходимая оператору для осуществления контроля работы комплекса.

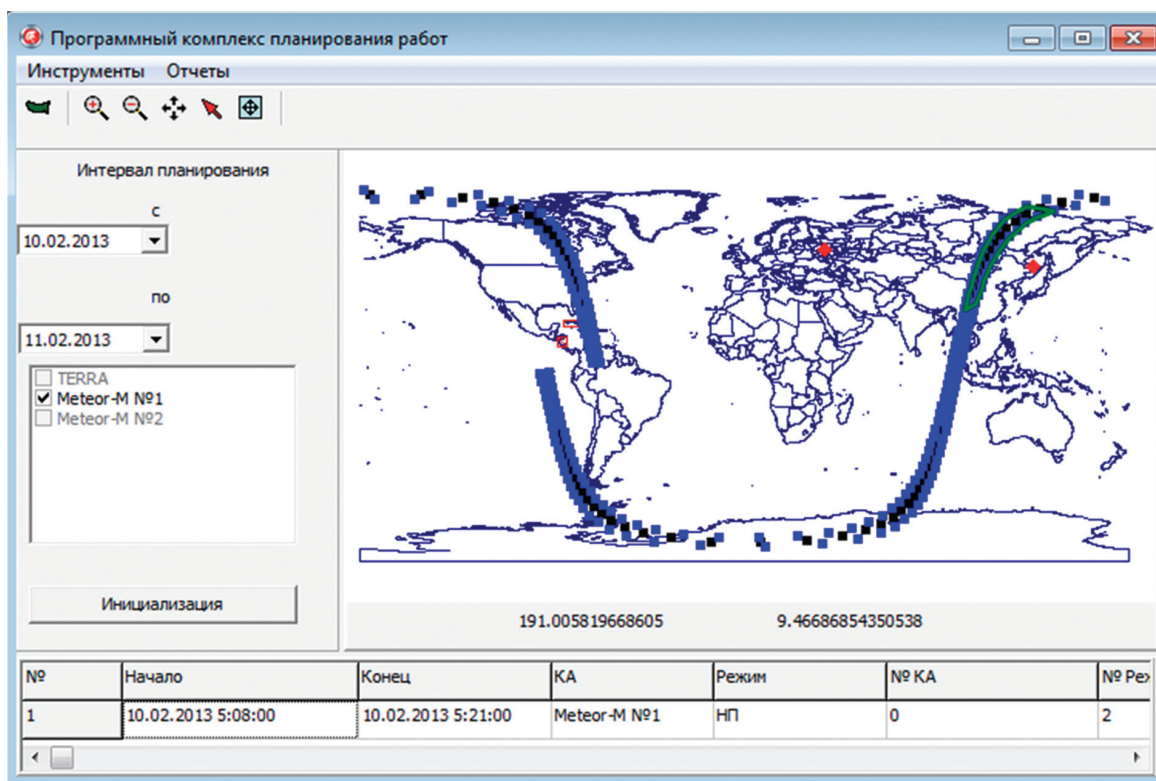


Рис. 3. Внешний вид программы КПП

Начало съемки	Файл скопирован	Имя файла	Запланирован	Получен	Стандартная обработка	Базовая обработка	Архивация
14.02.2013 10:26:33	15.02.2013 10:26:33	101_017701_0_0	2	2	2	1	2
01.02.2013 17:01:32	02.02.2013 17:01:32	101_017522_4_0	2	2	2	1	2
14.02.2013 3:30:00			1	-1	-1	-1	-1
14.02.2013 5:09:00			1	-1	-1	-1	-1
14.02.2013 6:48:00			1	-1	-1	-1	-1

Рис. 4. Внешний вид программы КАОИ

Управление на каждом этапе осуществляется программными средствами соответствующего комплекса автоматически. Информация о выполнении работ в рамках каждого этапа сохраняется в ЦБД. При необходимости оператор может интерактивно сформировать отчетно-аналитические материалы за любой период времени.

Спроектированные таким образом АПС комплексного применения обладают следующими достоинствами:

- автоматизация на всех этапах работы, включая выбор КА и ЦА в соответствии с требованиями к выходному продукту (без явного указания в заявке потребителя);
- унификация и стандартизация программных средств для всех видов ЦА, выполненных в виде набора универсальных взаимодополняющих модулей с целью многократного использования решений и подходов;
- масштабируемость программной части, т.е. возможность замены или использования дополнительных компонент, в частности, для повышения точности расчетов или более детального учета технических характеристик ЦА, причем ввод в эксплуатацию новой ЦА или КА не приводит к необходимости значительной переделки АПС;
- обеспечение минимизации участия обслуживающего персонала на всех этапах комплексного применения (в идеальном случае все операции, начиная с планирования работы и заканчивая формированием выходного продукта, будут выполняться автоматически).

Заключение

Предлагаемая технология обеспечивает единую цепочку операций, начиная с формирования заявки и заканчивая архивацией полученной информации и предоставлением доступа к ней потребителей. Унифицированные АПС, разработанные в виде единого комплекса с учетом вышеперечисленных требований, позволят снизить трудоемкость работ как при эксплуатации ОГ, так и при модернизации НКПОР в случае запуска нового КА.

Работа выполнена в рамках СЧ НИР «Мониторинг-СГ-1.1.2.1» по Программе Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли».

Литература

1. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Ходненко В.П. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2010. Т. 114. С. 15–26.
2. Севастьянов Н.Н., Бранец В.Н., Панченко В.А., Казинский Н.В., Кондранин Т.В., Негодяев С.С. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Труды МФТИ. 2009. Т. 1. № 3. С. 14–22.

On technology of combined use of small satellites

L.A. Grishantseva, D.I. Bubnenkov, N.A. Egorova, A.A. Emelyanov, V.A. Selin

*JSC “Russian Space Systems”, Moscow 127490, Russia
E-mail: grishantseva_la@ntsomz.ru*

Latest analysis of Earth remote sensing technologies reveals a tendency towards remote sensing applications using groups of small satellites. Such space-based systems can be developed both as a small number of dissimilar satellites performing different functions and as a large group of identical units interchangeable with each other. The paper deals with features of soft- and hardware technologies currently used by the Russian space remote sensing systems operator to enable operations of a constellation of small satellites. The major drawbacks of the technologies are: (a) manual interaction between planning and processing software units, as various types of software were created by different developers for different satellites; (b) lack of automatic distribution of the satellites' information resources in terms of customer orders and technical limitations of ground infrastructure. This leads to a large number of time-consuming manual operations to distribute the orders between satellites. The paper suggests new technological principles of combined use of small satellites enabling automation of operators' functions.

Keywords: complex use, remote sensing, small satellites, planning and proceeding

Accepted: 15.11.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-43-50

References

1. Makridenko L.A., Volkov S.N., Khodnenko V.P., Kontseptual'nye voprosy sozdaniya i primeneniya malykh kosmicheskikh apparatov (Conceptual issues of development and application of small satellites), *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIEM*, 2010, Vol. 114, pp. 15–26.
2. Sevast'yanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A., Kazinskii N.V., Kondranin T.V., Negodyaev S.S., Analiz sovremennykh vozmozhnostei sozdaniya malykh kosmicheskikh apparatov dlya distantsionnogo zondirovaniya Zemli (Analysis of the current capabilities of development a remote sensing small spacecraft), *Trudy MFIT*, 2009, Vol. 1, No. 3, pp. 14–22.