



А.В. Соллогуб<sup>1</sup>, П.О. Скобелев<sup>3</sup>, Е.В. Симонова<sup>2</sup>,  
М.Е. Степанов<sup>2</sup>, А.А. Жилиев<sup>2</sup>, А.В. Царев<sup>3</sup>

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

(<sup>1</sup> ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»,

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»,

<sup>3</sup> Научно-производственная компания «Разумные решения», г. Самара)

### Введение

Космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначены для наблюдения за объектами и процессами, происходящими на поверхности Земли и в околоземном пространстве. С развитием технологии ДЗЗ наметился переход от одиночных космических аппаратов (КА) ДЗЗ к их группировкам (кластерам). Такой переход невозможен без решения задачи управления коллективами подвижных объектов.

В целях решения этой задачи была разработана интеллектуальная система коллективного управления группировкой спутников, построенная на основе применения баз знаний и мультиагентных технологий [1].

### 1 Интеллектуальная система управления группировкой космических аппаратов

Интеллектуальная система управления группировкой космических аппаратов предназначена для решения задачи управления роем миниатюрных роботов-спутников различных типов зондирования, выполняющих дистанционное и сигнатурное зондирование Земли.

Интеллектуальная система основана на использовании метода согласованного взаимодействия коллектива подвижных агентов, в котором спутники динамически формируют команду, состоящую из кластеров КА и одиночных КА, распределяют между собой поставленную задачу и решают ее по частям, в зависимости от своей позиции и возможностей, имеющегося на борту оборудования и других параметров. При этом задачи и роли каждого объекта в группе определяются в распределенном взаимодействии динамически, в реальном времени, причем могут адаптивно изменяться при изменении ситуации [2].

### 2 Экспериментальные исследования моделей групповых операций МКА

Эксперименты в интеллектуальной системе проводятся в соответствии со следующими условиями. Вся имеющаяся группировка КА может быть разбита на кластеры различных видов в соответствии с решаемой задачей. Каждому спутнику известны орбитальные параметры всех спутников из кластера, в который он включен. Каждый спутник может входить в один или более кластеров. Каждому спутнику поставлен в соответствие пул задач, т.е. один спутник одновременно может работать с несколькими целями. В процессе перемещения по орбите спутник способен просматривать имеющийся пул задач и приступать к



исследованию ближайшей цели. Спутники могут участвовать в переговорах между собой и с центром обработки данных (ЦОДом). Для обеспечения коммуникации между спутниками при отсутствии у них взаимной прямой видимости используются ретрансляторы – специальные коммуникационные спутники, расположенные на геостационарной орбите. Реализована возможность выбора доступных для спутника способов коммуникации [3,4].

В системе имеется механизм построения цепочки КА, обеспечивающей максимально продолжительное покрытие интервала исследования объекта наблюдения. Данный механизм используется для рационального распределения заданий между спутниками на начальном этапе планирования.

Получение спутником очередного задания может привести к пересмотру его плана исследования объекта. Перепланирование осуществляется в два этапа:

1. Определение цели, которую следует попытаться передать.
2. Поиск спутника, наиболее подходящего для исследования этой цели.

На первом этапе выполняется сравнение характеристик целей, входящих в пул задач КА, на втором – переговоры между агентами спутников и определение критерия – величины, количественно измеряющей степень пригодности спутника для исследования конкретной цели.

Для реализации экспериментов, рассматриваемых далее, используется следующая модель группировки спутников. Пусть в ДЗЗ участвуют 32 МКА и три спутника-ретранслятора, находящихся на геостационарной орбите. КА размещаются по 8 единиц по четырем орбитам, расположенным перпендикулярно экваториальной плоскости, и повернутым относительно друг друга на 90 градусов.

## **2.1 Использование переговоров при планировании задач ДЗЗ**

Задача состоит в исследовании нескольких близкорасположенных целей, число которых в разных сериях экспериментов изменяется от 1 до 6. Во всех испытаниях максимальное число одновременно исследуемых спутником целей равно двум.

В ходе эксперимента было проведено 2 группы по 30 испытаний:

1. При получении трех и более целей спутник пытается передать их другому КА, т.е. после первоначального централизованного распределения проводилось перепланирование, осуществляемое посредством переговоров между спутниками;
2. При получении трех и более целей спутник откладывает их исследование до того, как будет выполнено исследование уже имеющихся целей, т.е. выполняется резервирование без переговоров.

При этом множество испытаний дополнительно разбивается на 6 серий, различающихся по количеству имеющихся на сцене целей.

В таблице 1 приведены полученные в ходе эксперимента значения времени (в часах модельного времени), затраченного на исследование всех целей. Для каждой серии испытаний приведены значения среднего арифметического  $\bar{x}$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma$  времени исследования целей.



Таблица 1. Оценки времени планирования задач ДЗЗ с использованием переговоров и без переговоров

Число целей		1	2	3	4	5	6
$\bar{x}$	Резервиров.	42.8	57.4	66.6	103	103.8	130.8
$\bar{x}$	Переговоры	43.6	57.8	59.4	86.8	90.6	117.2
$\sigma$	Резервиров.	2.79	2.5	1.6	8.97	18.08	25.48
$\sigma$	Переговоры	3.07	1.72	2.5	3.76	3.61	13.47

На основании результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Наилучший эффект от применения переговоров (экономия времени 16.2 часа) достигается при 4 целях на сцене. В этом случае удается найти еще свободные спутники, обеспечивающие достаточно продолжительную видимость цели. При дальнейшем увеличении количества целей на сцене и сохранении ограничения на максимальное число исследуемых спутником целей равным двум, поиск свободных спутников затрудняется и чаще всего не приводит к результату.
2. Использование переговоров позволяет существенно снизить среднеквадратическое отклонение величины времени, затраченного на исследование целей. При этом общее время выполнения задач ДЗЗ становится более определенным и лучше прогнозируемым.

## 2.2 Сравнение энергозатрат группировки спутников при различных способах коммуникаций

Цель эксперимента – оценить общие затраты энергии группировки спутников для проведения исследования при следующих способах коммуникации:

- передача напрямую или через ретрансляторы,
- передача только через ретрансляторы.

Затраты энергии при передаче сообщения напрямую приняты равными 5 условным единицам, а через ретрансляторы – 10 условным единицам. В ходе эксперимента было проведено 30 испытаний, различающихся как по разрешенным способам коммуникации, так и по количеству целей на сцене.

На рис. 1 приведены полученные в ходе эксперимента значения суммарных энергозатрат группировки. Рост количества целей ведет к пропорциональному увеличению сообщений между КА и, как следствие, повышению энергозатрат на их передачу. При этом комбинирование способов передачи позволяет сократить энергозатраты в среднем на 28 %.

### Заключение

Приведенные выше результаты исследований подтвердили эффективность методов согласованного планирования и управления групповыми операциями, выполняемыми кластером МКА за счет переговоров между спутниками без привлечения наземных служб в условиях априорной неопределенности и высокой динамики возникновения непредвиденных событий.

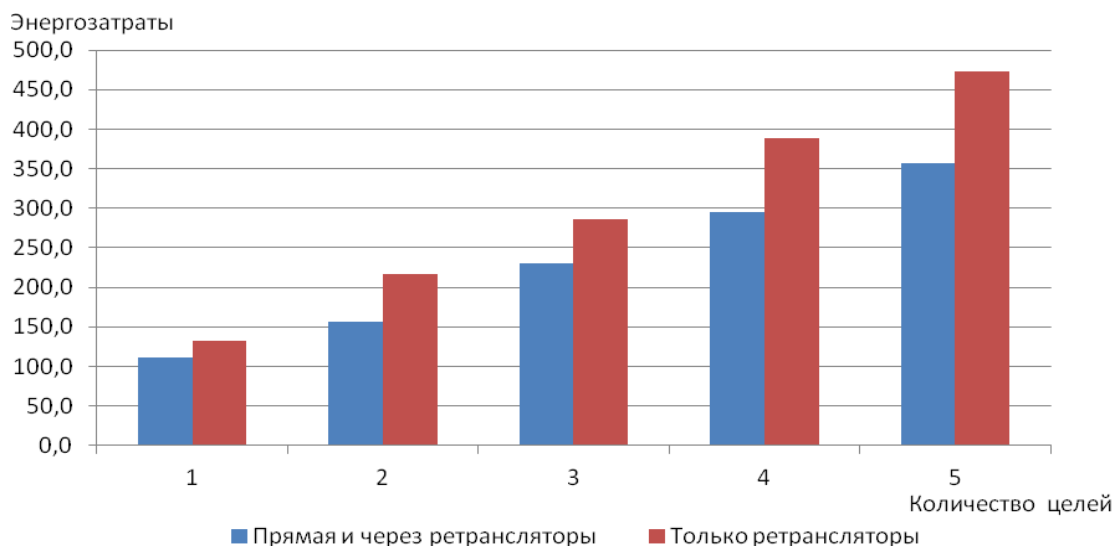


Рис. 1. Графическое представление результатов эксперимента по сравнению энергозатрат группировки КА при различных способах коммуникаций

### Литература

1. П.О.Скобелев, А.В.Соллогуб, А.В.Иващенко, Е.В.Симонова, М.Е.Степанов, А.В.Царев. Мультиагентная система для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010). Труды Международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Самара, 29 сентября – 1 октября 2010 г. Самара: СГАУ, 2010. – с. 226 – 230
2. Соллогуб А. В. Скобелев П. О., Симонова Е. В., Степанов М.Е., Царев А.В. Проблемы автономного согласованного межспутникового взаимодействия в гетерогенных мультиагентных системах МКА ДЗЗ // Мехатроника, автоматизация, управление, 2012. – № 4. – с.65 – 70
3. Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е. Модели сетцентрических задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли. // Информационно-управляющие системы, 2012. – №1 (56). – с.34 – 38
4. Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Степанов М.Е., Царев А.В., Жиляев А.А. Оценка эффективности кластера малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Информационно-управляющие системы. – 2012. №5(60). – С. 24 – 28.