

**РАСПРЕДЕЛЕННОЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ В ГРУППЕ УСТРОЙСТВ**

© 2016 Д.Ю. Мирошников, Е.В. Симонова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.11.2016

Рассматривается проблема распределенного планирования задач использования целевого оборудования спутников самими космическими аппаратами в группировке малых космических аппаратов. Предложены технологии, позволяющие преодолеть ряд трудностей, связанных с организацией данного процесса. Описывается работа демонстрационного стенда, построенного из физических устройств, демонстрирующего, что рассмотренные технологии действительно справляются с возложенными на них задачами. Обсуждается возможность применения рассмотренных технологий в реальных группировках малых космических аппаратов.

Ключевые слова: мультиагентные технологии, агенты, планирование, малые космические аппараты, МКА, MANET, Mobile Ad hoc Network, mesh-сеть, самоорганизация, Cjdns, Raspberry Pi.

ВВЕДЕНИЕ

В области создания и использования космических аппаратов (КА) формируется новая тенденция создания орбитальных группировок, базирующихся на КА малой весовой размерности [1], обусловленная тем, что по сравнению с полноразмерными аппаратами в них используется простая «бытовая» электроника и свободно распространяемое программное обеспечение, например, операционные системы на базе ядра Linux. При этом значительно снижается срок службы и надежность КА. Однако данные недостатки компенсируются значительным удешевлением производства таких аппаратов, а их небольшие габариты и масса позволят выводить их на орбиту как вторичную полезную нагрузку в количестве от нескольких штук до десятка одновременно [2].

Кроме того, создание кластеров или «роя» из большого количества маломассогабаритных космических аппаратов (МКА) способно радикально изменить установившееся представление о роли и месте космических средств дистанционного зондирования (ДЗЗ) и значительно расширить нишу потребительских сервисов по сравнению с реализуемыми в настоящее время [1].

На данный момент каждый КА в составе группировки получает задачи с наземных станций. Возможны ситуации, когда по неким причинам КА не может успешно выполнить возложенную на него задачу. В области спутников дистанционного зондирования Земли таким примером может служить облако, накрывшее район наблюдения.

Мирошников Даниил Юрьевич, магистрант.

E-mail: beywer2@yandex.ru

Симонова Елена Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии». E mail simonova.elena.v@gmail.com

В этом случае снимок будет отправлен на Землю при следующем сеансе связи с одной из наземных станций, там будет определено, что снимок негодный, а задача съемки региона будет заново запланирована и отправлена на соответствующий КА только во время очередного сеанса связи.

В группировках МКА появляется возможность избежать подобных проблем за счет использования парадигмы распределенного динамического управления, когда задачи ставятся не только отдельным КА, но и всей группировке КА в целом [3]. Данный подход позволяет динамически перераспределять задачи внутри группировки путем переговоров между спутниками. При этом у группировки появляется возможность реагировать на заранее незапланированные события.

**1. ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И MANET СЕТИ**

Для реализации распределенного динамического управления эффективным представляется применение мультиагентного подхода. В нем решение задачи достигается за счет кооперации отдельных независимых сущностей – агентов. Таким образом, в его основе лежит распределенный принцип принятия решений и поддержка процессов самоорганизации в системе.

Главной особенностью мультиагентных систем является адаптивное построение и модификация плана использования ресурсов КА по событиям в реальном времени. При этом план не строится всякий раз заново, а только непрерывно корректируется путем выявления и анализа конфликтов [4]. Возможность оперативного реагирования на возникающие чрезвычайные ситуации, когда любая задача может оказаться не

выполненной ввиду внешних факторов, является крайне необходимой.

Решение задачи путем переговоров множества агентов приводит еще к одному важному свойству мультиагентных систем – масштабируемости, достигающейся за счет простого добавления новых агентов в диалог. Данное свойство важно, т.к. группировка КА со временем будет расти, чтобы повышать оперативность или количество предоставляемых услуг.

Для ведения переговоров друг с другом агентам, представляющим КА, необходимо передавать данные с одного КА на другой, причем взаимное расположение спутников в группировке меняется с течением времени, изменяя и взаимную досягаемость каждого спутника.

Данную проблему можно решить, используя технологию mesh-сетей, топология которых основана на децентрализованной схеме организации сети. Mesh-сети применяются с целью покрытия обширных площадей беспроводным соединением для большого числа пользователей.

При этом mesh-сети имеют довольно узкий подкласс MANET сетей. Их назначением является объединение группы мобильных устройств в сеть без помощи какого-либо централизованного управления. Эти два типа сетей фактически отличаются лишь парадигмой использования, что позволяет реализовывать их с применением одних и тех же технологий [5,6].

В результате, mesh и MANET сети обладают рядом очень полезных свойств [7,8]:

- возможность быстрой реконфигурации в условиях неблагоприятной помеховой обстановки;
- простота и высокая скорость развертывания;
- использование беспроводных транспортных каналов для связи аппаратов в режиме «каждый с каждым»;
- устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети.

На рис. 1 показано отличие топологии MANET сетей от классических клиент-серверных сетей.

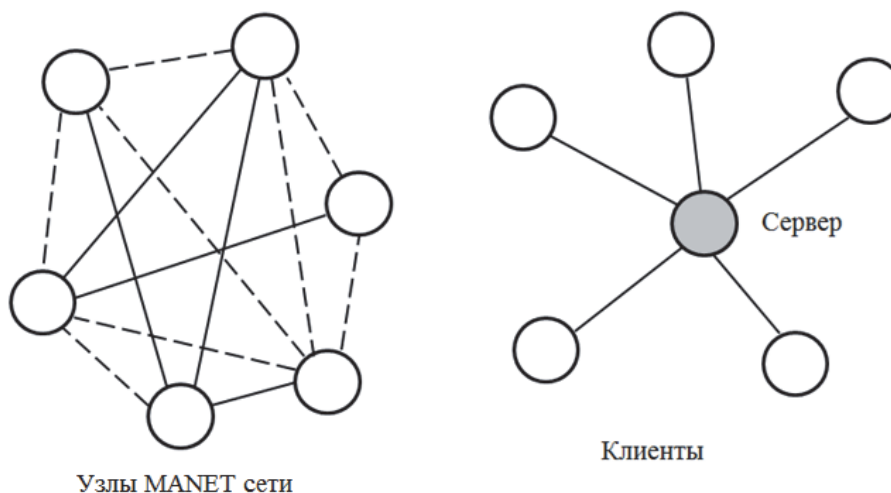


Рис. 1. Отличие топологии MANET сетей от классических клиент-серверных сетей

Связь узлов сети в режиме «каждый с каждым» порождает множество альтернативных маршрутов от одного узла сети до другого. Узлы MANET сети способны работать в режиме ретрансляции, что позволяет двум КА в составе группировки передавать данные друг другу вне зоны прямой радиовидимости.

Все узлы в MANET сетях равноправны. За счет этого протоколы маршрутизации позволяют включать в состав сети новые узлы за счет простого достижения новым узлом зоны радиовидимости любого из узлов, уже входящих в сеть. Эта особенность позволяет легко наращивать размерность группировки КА без дополнительных усилий по настройке сетевой маршрутизации передаваемых данных.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Теоретически мультиагентный подход и MANET сети должны упростить организацию распределенного планирования выполнения задач в группе МКА. Для проверки эффективности выбранных технологий была поставлена тестовая задача, которая не учитывает все особенности функционирования группировок в космосе, но включает все ключевые особенности описанной проблемы.

Необходимо организовать распределенное планирование выполнения задач в группе устройств при следующих условиях:

- Устройства предоставляют ресурсы, требуемые для выполнения задач. При этом ресурсы играют роль целевого оборудования КА, которое требуется для решения поставленной задачи.
- Заявки на выполнение задач изначально адресованы определенному устройству в сети. При этом они могут быть приняты любым устройством в группировке и должны передаваться по сети до устройства-адресата.
- Новые заявки на выполнение задач могут появляться в любой момент времени.

• Необходимо учитывать возможность добавления нового или отключения функционирующего устройства.

Необходимо также предоставить возможность мониторинга построенного плана и его изменений при наступлении внешних событий.

3. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Для построения MANET сети использовался протокол Cjdns. Существует несколько его аналогов (табл. 1), различных по своим функциональным возможностям [9]. Среди них наиболее обширными возможностями обладает протокол Cjdns. Он по умолчанию обеспечивает функционирование зашифрованной IPv6 сети. Дополнительно он берет на себя задачу выбора маршрута, наиболее оптимального с точки зрения скорости доставки информации.

Немаловажным является и то, что протокол Cjdns поддерживает многие операционные системы и архитектуры процессоров, что позволяет использовать его практически на любом устройстве.

Для реализации мультиагентного подхода был выбран Java фреймворк Akka. Он позволяет создавать программных агентов, обеспечивает передачу сообщений между ними. Дополнительным важным фактором при его выборе были технологии Akka Cluster и Akka Distributed Data. Первая позволяет создавать кластер из группы нескольких физических устройств и обеспечивать

прозрачное общение агентов с разных машин. Вторая позволяет создавать разделяемое хранилище данных для узлов кластера. С помощью неё выполнялся сбор сведений о плане каждого устройства в единое целое.

В качестве устройств использовались Raspberry Pi 2. Raspberry Pi 2 представляет собой одноплатный компьютер размером с банковскую карту. Его характеристики: процессор ARMv7 Cortex-A7 частотой 900 МГц, 1 ГБ ОЗУ. Они обладают небольшими размерами, массой и энергопотреблением (0.5 - 1 Ватт), а также широкими возможностями для подключения дополнительного оборудования. Их широкое распространение и мощная поддержка производителя (вплоть до выпуска специально настроенных версий операционных систем) позволяет быстро находить похожие технические решения и производить настройку этих устройств без дополнительных трудозатрат.

Связь компьютеров друг с другом была организована через Wi-Fi адаптеры, настроенные на режим работы ad-hoc. В отличие от стандартного режима infrastructure, Wi-Fi адаптеры способны обмениваться данными напрямую друг с другом без участия в обмене единой точки доступа.

4. УСТРОЙСТВА И АГЕНТЫ СИСТЕМЫ

В созданной системе использовались три компьютера Raspberry Pi 2. Для получения наглядной информации каждое устройство

Таблица 1. Сравнение протоколов для построения mesh/MANET сетей

	Cjdns	B.A.T.M.A.N	DTN	Netsukuku	OSPF
Автоназначение адреса	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Автоконф. Маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Распределенная маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Объединение сетей	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
IPv4/v6	IPv6	IPv4/v6	IPv4/v6	IPv4	IPv4
Шифрование трафика	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Автонастройка	Да	Да	Да	Нет	Да
Разработка	Активная	Закончена	Активная	Нет	Закончена
Поддержка UNIX/LINUX/ OpenWRT	Да	Да	Да	Да	Да
Поддержка Windows	Будет	Нет	Нет	Нет	Нет
Поддержка Mac OS X	Да	Да	Да	Да	Да
Потребление ресурсов	Низкое	Низкое	Низкое	Высокое	Низкое

создает веб интерфейс, содержащий список обнаруженных устройств, их ресурсов и задач, а также диаграмму Гантта, представляющую построенный план. Для возможности просмотра веб интерфейса одно из устройств было подключено к ноутбуку, два других остались полностью мобильными (рис. 2).

Для решения данной задачи было выделено два типа агентов.

Агенты задачи представляют интересы создаваемых заявок на выполнение задач. Они, обладая информацией о длительности выполнения задачи и её крайнем сроке выполнения, стараются закрепить данную задачу в плане одного из устройств, доступных в системе.

Агенты ресурсов представляют интересы оборудования устройств. Они принимают сообщения от агентов задач и информируют их о моменте времени, начиная с которого они могут разместиться в плане. Если в плане по некоторым причинам происходят какие-либо изменения, агенты уведомляют все доступные задачи о новых возможностях размещения, чтобы те могли улучшить свое положение в плане.

5. РЕЗУЛЬТАТА ПОСТАВЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для демонстрации возможностей системы из трех устройств был поставлен эксперимент, включающий добавление задач, включение и выключение устройств.

Изначально было включено только одно стационарное устройство (Sat2). На рис. 3 представлен веб интерфейс, создаваемый устройством. Слева отображаются списки ресурсов и задач каждого устройства. Справа расположена диаграмма Гантта, на которой отображается план для каждого устройства. После включения двух оставшихся устройств они будут обнаружены протоколом Cjdns. Информация о новых устройствах передается акторной системе Akka, которая добавляет новые устройства в кластер и организует возможность распределенного общения агентов. При этом веб интерфейс стационарного устройства отобразит имена новых устройств (рис. 4)

Далее второму устройству (Sat2) и первому (Sat1) были добавлены пять и три задачи соответственно. При этом крайний срок выполнения каждой задачи был задан через 10 секунд от момента времени, с которого начинается планирование, а длительность выполнения задачи – 3 секунды. Таким образом, каждое устройство способно выполнить не более трех задач, т.к. остальные будут завершены после крайнего срока.

На рис. 5 видно, что все задачи были добавлены в план устройств. Несмотря на то, что изначально задачи были адресованы конкретным устройствам, они способны выполняться другими устройствами, если там более выгодные условия.

После выключения устройства Sat1 протокол Cjdns опознает потерю связи с одним из узлов и сообщает системе о потере. Имя этого устройства исчезнет из списка устройств вместе с задачами,

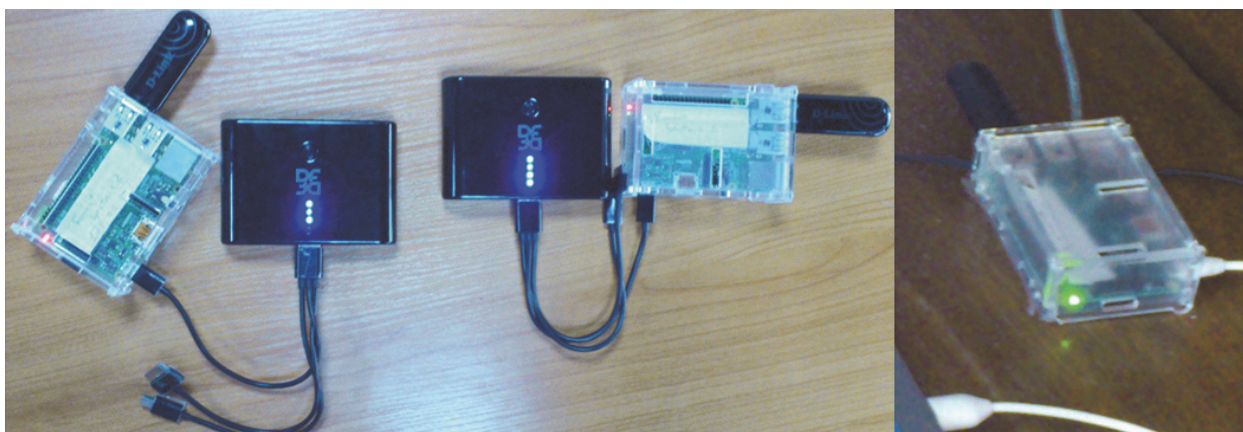


Рис. 2. Устройства системы: два мобильных слева и одно стационарное справа

Задачи							
	9	10	11	12	13	14	15
Sat2	July 2016						
Ресурсы							

Рис. 3. Включено только стационарное устройство

Задачи		9	10	11	12	13	14	15
		July 2016						
Sat2	+							
Sat1	+							
Sat3	+							
Ресурсы								

Рис. 4. В интерфейсе отображены еще два найденных устройства

Задачи	Sat1/Res1	Task3/Sat2			
Sat2	+		Task6/Sat1		
Sat1	+	Task1/Sat2		Task7/Sat1	
Task6	-		Task4/Sat2		
Task7	-	Task2/Sat2		Task8/Sat1	
Task8	-		Task5/Sat2		
Sat3	+	0	10	20	30
Ресурсы		10 July 20:23			

Рис. 5. Добавленные задачи отображены в плане устройств

Задачи	Sat2/Res2	Task5/Sat2		
Sat2	+	Task3/Sat2	Task2/Sat2	
Sat3	+	Task4/Sat2		
		Task1/Sat2		
Ресурсы		0	10	20
		10 July 20:23		

Рис. 6. Реакция системы на исчезновение устройства

адресованными ему. При этом оставшиеся агенты задач будут проинформированы об исчезновении одного из ресурсов. Те задачи, которые были запланированы на выключенном устройстве, будут вынуждены искать себе новое место в плане других устройств. В результате, данные задачи распределяются по доступным устройствам (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный эксперимент показывает, что система, созданная на основе мультиагентного подхода и технологии MANET сетей, позволяет решать ключевые проблемы описанной выше задачи: учет появления новых КА на орбите и вы-

хода из строя функционирующих, возможности перепланирования задач с одного КА на другой, если задачи были не выполнены по некоторым причинам или для их выполнения имеются более выгодные условия.

Особо следует подчеркнуть, что эксперимент выполнен с применением обычной «бытовой» электроники. С учетом того, что МКА собираются из электронных компонентов, схожих по аппаратной архитектуре и не являющихся специализированными, можно говорить, что предложенные технологии возможно использовать на современных МКА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивное планирование сеансов связи малых космических аппаратов в сети наземных пунктов приема информации на основе мультиагентных технологий / А.Б. Иванов, А.А. Жилыев, И.В. Майоров, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев, В.С. Травин, В.К. Скимунт, Н.Р. Стратилатов, С.В. Тюлевин // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16 – 19 июня 2014 г.: Труды. [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 8975-8983. Электрон. текстовые дан. (1074 файл: 537 МБ). 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-91459-151-5. Номер
2. государственной регистрации: 0321401153.
2. Борисов А. «Нано-космос» [Электронный ресурс] // Спутникс. 2013. 14 августа. URL: <http://www.sputnix.ru/ru/analytics/item/332-nano-kosmos> (дата обращения: 10.07.2016).
3. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 280 с.
4. Schilling K. Preparing Technologies for preparing cooperating pico-satellites networks: the UWE-3 and UWE-4 missions /K. Schilling // Proc. of the 7th International Workshop on Satellite and Formation Flying (IWSCFF'2013), March 13-15, 2013. Lisbon, Portugal.
5. Johnson D. Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts // Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, December 158-163, 1994.
6. Jun J., Sichitiu M.L. MRP: Wireless mesh networks routing protocol. Comput. Commun. (2008)
7. Метелёв А.П., Чистяков А.В., Жалобов А.Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 3(1). С. 75-78.
8. Осипов И.Е. Mesh-сети: технологии, применение, оборудование // Технологии и средства связи. 2006. №4. С. 38-45.
7. Wi-Fi Mesh сети для самых маленьких [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/196562/> (дата обращения: 14.03.2016).

MULTI-AGENT DISTRIBUTED PLANNING OF TASKS IN A DEVICE GROUP

© 2016 D.Yu. Miroshnikov, E.V. Simonova

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper considers the problem of distributed intelligent planning of tasks on the use of target hardware of satellites by themselves in the spacecraft groups. Proposed technology to overcome a number of difficulties associated with the organization of this process. Described work of demonstration stand, consisting of the physical devices. This demonstration clearly shows that the considered technologies are capable of solving their tasks. Furthermore there possible to use them in real spacecraft groups.

Keywords: multi-agent technology, agents, planning, small satellites, MANET, Mobile Ad hoc Network, mesh network, self-organization, Cjdns, Raspberry Pi.

Daniil Miroshnikov, Graduate Student.

E-mail: beywer2@yandex.ru

Elena Simonova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Informatics and Information Technology.

E-mail: simonova.elena.v@gmail.com