

П. О. СКОБЕЛЕВ

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара

В. А. ГАЛУЗИН

Самарский государственный технический университет, Самара

А. В. ГАЛИЦКАЯ, В. С. ТРАВИН

ООО «НПК «Разумные решения», Самара

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К РЕАЛИЗАЦИИ И АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКАМИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В докладе рассматривается разработка подхода к реализации и архитектуры интеллектуальной системы управления группировками малых космических аппаратов в реальном времени, построенной на основе применения мультиагентных технологий. Приводится краткая постановка задачи планирования работы космической системы, предлагается архитектура разработанной системы, дается описание функций основных модулей, позволяющих реализовать процессы обработки заявок на съемку объектов наблюдения, поступающих в систему в реальном времени. Обсуждаются перспективы развития и применения системы.

Введение. Актуальность разработки интеллектуальной системы управления космическими системами (КС) из малых космических аппаратов (МКА) в реальном времени обусловлена в первую очередь ближайшими перспективами создания, развертывания и эксплуатации крупномасштабных разнородных группировок низкоорбитальных МКА.

В качестве примера КС нового поколения можно привести проект компании Planet Labs (более 200 действующих спутников) [1] и проект компании BlackSky Global (60 спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и 17 станций приема и управления) [2].

Целью создания таких космических систем является удовлетворение сложившихся потребностей в данных, получаемых из космоса.

Существующие системы планирования, используемые на практике для управления различными миссиями, такие как SPAW [3], flexplan [4], SOC [5] и другие, изначально строились как централизованные, иерархические, закрытые, монолитные и последовательные решения. Данные системы ориентированы, прежде всего, на пакетный режим использования, при котором заявки на съемку предварительно накапливаются, а далее разовым образом распределяются между МКА группировки при помощи традиционных комбинаторных методов, таких как методы линейного и динамического программирования, программирования в ограничениях, различных эвристик и метаэвристик [6]. В результате построение плана с использованием таких систем может иногда занимать достаточно продолжительное время (до 8–12 часов). После чего программа завершает работу и никак не учитывает новую информацию, которая стала известна в ходе или после окончания последней сессии планирования.

Однако, при этом имеющийся план уже может быть невыполним. В таком случае требуется его корректировка экспертами и специалистами, как правило, в «ручном режиме», что на практике является чрезвычайно трудоемким процессом.

Предлагаемый доклад посвящен описанию разработки интеллектуальной системы управления группировками МКА, призванной преодолеть недостатки, присущие традиционным системам планирования. Данная система построена на основе применения мультиагентных технологий [7], по принципам, которые были изложены ранее в работах [8–10].

Постановка задачи. Общую постановку задачи планирования работы КС можно представить следующим образом. Пусть имеется модель КС, описываемая входящими в ее состав множеством КА, в котором каждый КА характеризуется набором элементов орбиты и параметрами установленного на нем бортового оборудования, и множеством наземных станций приема информации (НСПИ), в котором каждая станция характеризуется географическим местоположением и параметрами установленной антенны. Для НСПИ могут быть указаны графики работы, интервалы недоступности, среднее время подготовки станции к приему информации.

Пусть задано множество заявок на съемку объекта наблюдения (ОН), которые необходимо выполнить. ОН могут быть как точечные, так и площадные. Для ОН может быть указан его приоритет, периодичность съемки и ограничения на съемку.

В рассматриваемой модели КС представлено две операции, выполняемые КА: съемка ОН и проведение сеанса связи КА с НСПИ с целью передачи полученных данных на Землю, и одна операция, выполняемая НСПИ, – получение данных с КА.

Для реализации космической съемки ДЗЗ на основе заявок, поступающих от потребителей, требуется сформировать комплексный план выполнения приведенных операций, составленный в соответствии с критерием минимизации времени доставки снимков потребителям, а также максимизации их качества.

Архитектура системы. Разрабатываемая интеллектуальная система управления группировками МКА имеет сетевую клиент-серверную архитектуру (рис. 1).

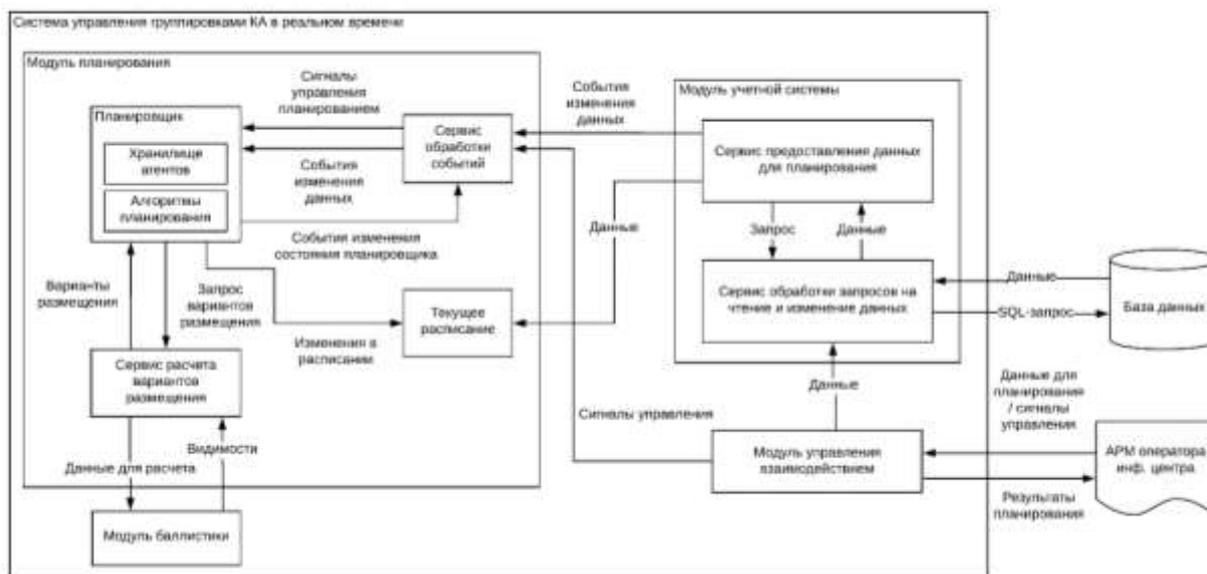


Рис. 1. Архитектура системы

Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора информационного центра представляет собой интерфейс пользователя, через который осуществляется ввод заявок, управление ходом планирования, мониторинг ресурсов, просмотр отчетов и результатов планирования.

База данных является предметно-ориентированной информационной базой данных, обеспечивающей долгосрочное хранение исходных данных и результатов планирования.

Модуль управления взаимодействием обеспечивает маршрутизацию и преобразование информационных потоков между системой и внешней средой.

Модуль учетной системы предназначен для взаимодействия других частей системы с сервером базы данных. Включает в свой состав *сервис обработки запросов на чтение и изменение данных*, а также *сервис предоставления данных планировщику*.

Модуль планирования предназначен для адаптивного построения расписания и его перестроения при внешних изменениях исходных данных. В состав *модуля планирования*, реализуемого на основе мультиагентной технологии, входят следующие основные элементы:

- *Планировщик*, включающий в свой состав *хранилище агентов* – модуль системы, аккумулирующий созданных агентов, и *алгоритмы планирования* – набор алгоритмов, отвечающих за управление ходом планирования и поведение агентов в зависимости от текущего контекста.
- *Сервис обработки событий* отвечает за взаимодействие планировщика с остальными частями системы посредством выполнения соответствующих действий в ответ на возникающие внешние и внутренние события.
- *Сервис расчета вариантов размещения* обеспечивает генерацию пространства возможных вариантов поиска по запросу планировщика. В ходе выполнения расчетов он обра-

щается к модулю баллистики для получения циклограмм видимостей КА-ОН и КА-НСПИ.

- *Текущее расписание* представляет собой объектную структуру, содержащую исходные данные для планирования и назначения определенных ресурсов на заявки, полученные в ходе планирования.

Процесс обработки заявок на съемку в системе. Кратко опишем процесс, по которому производится обработка заявок на съемку ОН, поступающих в систему. На рис. 2 представлена базовая схема данного процесса.



Рис. 2. Схема процесса обработки заявок на съемку в системе

После поступления заявок на съемку ОН в систему и получения сигнала от оператора о начале планирования, выполняется генерация задач на съемку ОН на основе поступивших заявок. При этом для каждой заявки может быть создана одна или несколько задач на съемку, в зависимости от заданной периодичности.

Когда задачи на съемку сгенерированы для всех заявок, осуществляется переход к следующему этапу – расчет вариантов размещения. Для каждой задачи при помощи метода последовательных уступок осуществляется поиск лучшего варианта размещения, а также некоторого количества несколько худших вариантов. Результатом работы алгоритма поиска является список возможных вариантов размещения, отсортированный по убыванию значения целевой функции (ЦФ), на первом месте расположен вариант размещения в точке глобального оптимума ЦФ. После того как варианты возможного размещения рассчитаны для всех задач, начинается этап бесконфликтного планирования.

На этапе бесконфликтного планирования при помощи жадного алгоритма оптимизации строится начальное допустимое расписание. Задачи размещаются на первом доступном варианте из списка, полученного на предыдущем этапе, на котором отсутствуют конфликты с другими задачами. Полученное на этом этапе решение покажет основные «узкие места» рассматриваемого расписания и станет опорной точкой для дальнейших улучшений. Бесконфликтный этап завершается, после того как для каждой задачи была произведена попытка ее размещения.

На этапе проактивного планирования каждой задаче ставится в соответствие ее агент, который пытаются улучшить значение своей целевой функции и встать на более выгодный для него вариант, предлагая конфликтующим с ним задачам найти другие интервалы для размещения. Эффективность каждой перестановки оценивается с помощью изменения значений функций удовлетворенности агентов, участвующих в ней. Запуск агентов на проактивность осуществляется итерационно до тех пор, пока во время очередной итерации планирования ни один из агентов задач не смог занять более выгодной для себя позиции, что означает достижение точки равновесия при переговорах и возможность выдачи готового решения.

При поступлении в систему событий об изменении исходных данных для планирования вновь запускается проактивная фаза.

Заключение. Разработанный прототип интеллектуальной системы управления группировками КА в реальном времени продемонстрировал применимость предлагаемого мультиагентного подхода к решению задач управления группировками КА в реальном времени для повышения эффективности использования ресурсов КС. Общее время расчета 20 тыс. объектов наблюдения указанным методом составляет около 3 часов.

Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение алгоритмов планирования путем введения виртуального рынка и добавления более глубокого анализа текущего контекста планирования для сокращения перебора возможных вариантов. Кроме того, планируется введение в интеллектуальную систему онтологии космической системы наблюдения с целью обеспечения более гибкой и адаптивной возможности настройки применяемых правил. Все эти действия в конечном итоге позволят перейти от прототипа к реальной системе управления, масштабируемой для большого числа МКА в группировках, а в перспективе – и для создания умных груп-

пировок в космосе, где каждый аппарат сам принимает решения и координирует их с себе подобными и станциями приема-передачи информации.

Работа подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы Самарского федерального исследовательского центра РАН, Института проблем управления сложными системами РАН № АААА-А19-119030190053-2 «Разработка и исследование методов и средств аналитического конструирования, компьютерного представления знаний, вычислительных алгоритмов и мультиагентных технологий в задачах оптимизации процессов управления сложными системами».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев И., Кучейко А.** Один большой и 103 маленьких. Индия выполнила рекордный по числу полезных грузовиков запуск // Новости космонавтики, 2017, Т. 27, № 4, С. 30-36.
2. **Кучейко А.** Индийский пуск в интересах ДЗЗ и не только // Новости космонавтики, 2016, Т.26, № 11, С.57-58.
3. Orbit Logic CPAW, Collection Planning and Analysis Workstation [Электронный ресурс] – URL: <http://www.orbitlogic.com/collection-planning-and-analysis-workstation.html> (дата обращения 15.07.2020)
4. Flexplan [Электронный ресурс] – URL: <https://www.gmv.com/en/Products/flexplan/> (дата обращения 15.07.2020)
5. Software applications for mission planning [Электронный ресурс] – URL: https://www.dlr.de/rb/en/desktopdefault.aspx/tabid-6816/4256_read-6303/ (дата обращения 15.07.2020)
6. **Карсаев О.В.** Обзор традиционных и инновационных систем планирования миссий космических аппаратов // Труды СПИИРАН, 2016, 5(48), С. 151-181.
7. **Скобелев П.О.** Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление, 2010, № 12, С.33-46.
8. **Соллогуб А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е.** Модели сетевых 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.
9. **Belokonov I., Skobelev P., Simonova E., Travin V., Zhilyaev A.** Multiagent planning of the network traffic between nanosatellites and ground stations // Procedia Engineering: Scientific and Technological Experiments on Automatic Space Vehicles and Small Satellites, 2015, №104, P. 118-130, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.04.103.
10. **Skobelev P., Simonova E., Zhilyaev A., Travin V.** Multi-Agent Planning of Spacecraft Group for Earth Remote Sensing // In: Borangiu T., Trentesaux D., Thomas A., McFarlane D. (eds) Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. Studies in Computational Intelligence, 2016, Vol. 640, P. 309-317, DOI: 10.1007/978-3-319-30337-6_28.

P.O. Skobelev (Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS, Samara), V.A. Galuzin (Samara State Technical University, Samara), A.V. Galitskaya, V.S. Travin (SEC «Smart Solutions», Samara)

Development of Implementation Approach and Architecture of Intelligent System for Real-time Management of Groups of Small Space Vehicles

The paper describes development of implementation approach and architecture of an intelligent system for real-time management of groups of small spacecrafts, built on the basis of multi-agent technologies. It gives a brief problem statement for planning operation of the space system, presents the architecture of the developed system and describes functions of the main modules which help process applications for shooting observation objects entering the system in real time. Prospects for development and application of the system are also discussed.