



OSTIS-2016

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ПОЛЕТА И ГРУЗОПОТОКА РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Лахин О.И., Полников А.С., Редькина К.В.

ООО «НПК «Разумные решения», г. Самара, Россия

lakhin@smartsolutions-123.ru

polnikov@smartsolutions-123.ru

redkina@smartsolutions-123.ru

В работе рассматривается задача адаптивного планирования программы полёта и грузопотока Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС) с применением интерактивной мультиагентной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС. Описывается подход к формированию онтологии МКС, используемой агентами при переговорах в процессе планирования. Приводятся основные концепты, атрибуты и отношения, задействованные в процессе планирования, и примеры их влияния на конечный результат.

Ключевые слова: российский сегмент международной космической станции; программа полета, поблочный грузопоток; мультиагентные технологии; адаптивное планирование; онтология.

Введение

Для обеспечения жизнедеятельности экипажа Международной космической станции (МКС) требуется сформировать и реализовать множество взаимосвязанных планов по различным аспектам её функционирования. Построение плана полетов, а также доставки, возврата, утилизации и размещения на МКС грузов (свыше 7000 тыс. наименований) — сложная и трудоемкая задача, при решении которой необходимо учитывать множество противоречивых факторов, ограничений и предпочтений, таких, например, как изменяющиеся потребности в топливе, воде и продовольствии, баллистика и солнечная активность, типы кораблей и стыковочных модулей и т.д. [Бидеев, 2014].

Для решения данной задачи используется интерактивная мультиагентная система построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС (МАС «Программа полета и грузопоток»), внедренная в промышленную эксплуатацию в ОАО «РКК «Энергия» в декабре 2012 г. Для описания основных компонентов МКС, а также правил, критериев и ограничений планирования, в системе используются взаимосвязанные онтологии, применяемые при автоматическом планировании. Онтологии могут быть представлены в виде древовидного справочника, семантической сети или карточек концептов.

1. Краткое описание системы

Система состоит из набора программных модулей по каждой из областей обслуживания МКС:

- Модуль «**Программа полета**» представляет план стартов, стыковок и расстыковок транспортных средств (ТС) к стыковочным узлам модулей РС МКС.
- Модуль «**Время экипажа**» предназначен для расчёта затрат времени по категориям операций экипажа на МКС для каждой экспедиции.
- Модуль «**Поблочный грузопоток**» представляет собой детальную информацию для каждого полета о доставляемых на МКС грузах.
- Модуль «**Размещение**» предназначен для автоматического планирования размещения грузов, доставляемых на транспортных кораблях в зоны хранения модулей РС МКС.
- Модуль «**Возврат**» предоставляет детальную информацию о возвращаемых с МКС грузах для каждого полета.
- Модуль «**Утилизация**» предназначен для формирования детальных перечней грузов для последующей утилизации.
- Модуль «**Расчёт ресурсов**» предназначен для прогнозирования расходов топлива, воды, пищи и прочих расходуемых ресурсов на станции в зависимости от полетных операций, состава экипажа, а также доставок грузов на РС МКС.

В основе используемого в планировании мультиагентного подхода лежит создание программных агентов, которые могут действовать от лица и по поручению каждого ТС, договариваясь с другими агентами о времени стыковки к портам станции или сроках доставки грузов. Особенностью данного подхода является возможность построения программы полета и плана грузопотока в результате функционирования динамически формируемой сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) ресурсов МКС. Конфигурация агентов в такой сети может трансформироваться в любой момент вследствие изменения текущей сцены в результате внешних или внутренних событий, информация о которых поступает из центра управления полетами (ЦУП) и кураторов [Ивашенко, 2010].

2. Описание онтологии МКС

Онтология МКС формирует базис для описания предметной области планирования и содержит основные концепты, их атрибуты и отношения между ними. Онтология МКС содержит только классы концептов, экземпляры объектов ссылаются на родительские концепты и наследуют от них все имеющиеся атрибуты и отношения [Вакурина, 2014]. Выделены следующие основные классы концептов:

- *Экспедиция* – концепт, определяющий условия начала новой экспедиции на МКС. Данный концепт связан отношениями «Зависит» с типами ТС, способными к транспортировке космонавтов, такими как «Союз» и «Шаттл».
- *Экипаж* – концепт, связанный отношениями «Состоит из» с концептами класса «Космонавт».
- *Космонавт* – класс концептов для описания космонавтов и астронавтов, имеющих отношения с концептами «Страна» и «Организация».
- *Операции космонавтов РС* – концепты категорий операций космонавтов, учитывающихся при расчёте рабочего времени экипажа, включая операции при стыковке ТС, внекорабельной деятельности (ВнеКД) и др.
- *Тип ВнеКД* – концепты различных типов ВнеКД, в зависимости от точки выхода космонавтов на внешнюю поверхность МКС.
- *Этап сборки МКС* – концепты различных этапов сборки, на каждом из которых МКС имела различную конфигурацию.
- *Полёт* – концепты для различных типов полётов ТС: полётов со стыковкой к МКС, либо автономных полётов без стыковки.
- *Операции* – категории полётных операций РС МКС, включает такие концепты как «Стыковка», «Отстыковка», «ВнеКД», «Коррекция орбиты» и др. Каждый концепт обладает различным набором отношений, так, например, концепт «Перестыковка» имеет отношения «От» и «К» с концептом «Порт МКС», а концепт «ВнеКД» связан отношениями «Требует» и «Зависит» с концептом «Космонавт РФ».

• *Сегмент МКС* – концепты «Российский сегмент» и «Американский сегмент» описывают разграничение сфер ответственности между обслуживающими МКС организациями. Сегменты связаны отношениями «Состоит из» с концептами модулей МКС.

• *Модуль* – класс, описывающий концепты различных модулей МКС, таких как служебные модули и функционально-грузовые блоки. Модули связаны отношениями «Имеет» с концептами класса «Порт МКС».

• *Порт МКС* – концепты стыковочных портов модулей МКС. Порты обладают атрибутами «Дата стыковки» и «Порядок», которые характеризуют даты и этапы сборки конфигурации МКС.

• *Бак* – отношение с данным концептом характеризует наличие у ТС баков для транспортировки жидких грузов. Концепт обладает атрибутами «Вместимость» и «Использовать для утилизации» (значение данного атрибута определяет, могут ли при планировании утилизации на указанном ТС утилизироваться жидкие отходы).

• *Отсек* – концепты, описывающие отсеки для сухих грузов различных типов ТС. Аналогично бакам для жидких грузов, концепты отсеков обладают атрибутами «Вместимость» и «Использовать для утилизации».

• *Двигатель* – класс концептов двигателей МКС и пристыкованных к ней ТС, участвующих в операциях стыковки/отстыковки и коррекции орбиты.

• *Транспортное средство* – основной класс концептов, отношения и значения атрибутов которых определяют условия планирования.

Рассмотрим подробнее атрибуты и отношения концептов класса «Транспортное средство», экземпляры которых (отдельные космические корабли) играют основную роль при формировании планов во всех модулях и системах. Отношения «Баки» и «Отсеки» связывают экземпляр ТС с экземплярами отсеков и баков, характеризуя его возможности по доставке, спуску и утилизации сухих и жидких грузов. Количество космонавтов на борту ТС указывается атрибутом «Количество человек для перевозки».

О возможности использования типов ТС для различных операций свидетельствуют атрибуты вида «Использовать для построения плана доставки», «Использовать для утилизации» и т.п. Максимальная и допустимая вместимость топлива и полезной нагрузки характеризуется атрибутами «Полезный груз», «Максимальный объём топлива в рамках полезного груза», «Минимальный объём топлива» и «Минимальный запас топлива для выполнения манёвров». Атрибут «Очередность использования бака транспортного средства» указывает, в каком порядке выполняется расход воды и топлива и баков при наличии нескольких пристыкованных ТС.

3. Использование онтологии при планировании программы полёта

В процессе автоматизированного создания программы полета агент порта предоставляет агентам стыковок информацию о свободных интервалах на портах или информацию о том, кто занял интересующий их отрезок. Концепты типов ТС имеют отношения «Лучше стыковать»/«Хуже стыковать» со стыковочными портами, определяющие возможность и приоритеты стыковок к различным портам МКС. Агент полета предоставляет агентам стыковок время, которое они могут занять. При этом учитываются атрибуты минимальных интервалов времени между стартами, стыковками и отстыковками ТС (как на одном, так и на нескольких стыковочных портах). Агент полета создает и контролирует агенты своих стыковок и устанавливает для них правила планирования на основании значений атрибутов – расстояний между полётами ТС (для стартов, стыковок и отстыковок). Также учитываются атрибуты «Количество дней полёта до стыковки» для всех типов ТС и «Допустимые месяцы для старта» для Транспортно-Пассажирского Корабля (ТПК) «Союз».

Использование онтологии позволяет пользователям системы самостоятельно указывать и модифицировать приоритеты планирования, без необходимости доработки и модификации системы, путём изменения значений атрибутов и отношений [Кузьмин, 2014]. Так, в большинстве случаев ТПК «Союз» стыкуются к узлам модулей МИМ1 и МИМ2, а Транспортно-Грузовые Корабли (ТГК) «Прогресс» – к портам модулей СО1 и СМ, однако при отсутствии места на предпочитаемых портах допускается использовать менее приоритетные. В онтологии концепт «Союз» имеет отношения «Лучше стыковать» с концептами стыковочных портов МИМ1 и МИМ2 и «Хуже стыковать» с портами СМ и СО1. Ситуация для концепта «Прогресс» обратная, т.е. имеются отношения «Лучше стыковать» с портами СМ и СО1, и «Хуже стыковать» с портами МИМ1 и МИМ2.

Рассмотрим пример появления нового транспортного средства «SpX». Поскольку SpX является подклассом концепта «Транспортное средство», то он наследует все его значения атрибутов с условиями планирования, такими как «Минимальный интервал между стартами» и «Минимальный интервал между стыковками на одном порту». С помощью создания нового отношения «Лучше стыковать» с концептом «Американский порт (Nadir)» для нового типа ТС задаются условия планирования, после чего экземпляры данного концепта (отдельные космические корабли) будут планироваться в соответствии с указанными пользователем требованиями.

4. Описание онтологии грузопотока

Задачу планирования доставок на борт МКС грузов можно свести к ПВ-сети, где возможностями является набор полётов к РС МКС с фиксированными датами, а потребностями – грузы с набором различных параметров и предпочтений. При формировании ПВ-сети посредством онтологии полёты представляются в виде экземпляров класса «Транспортное средство», имеющих свойство «Дата старта», а грузы описываются онтологией грузопотока МКС. Кроме основных атрибутов, таких как масса и габариты, интерес при планировании представляют следующие атрибуты и отношения концепта единицы груза:

- *Ресурс* – атрибут с численным значением ресурса работы груза. Планировщик будет стремиться доставить такой груз на ближайшем полёте перед истечением срока годности уже имеющейся на борту МКС единиц.
- *Доставки для ВнеКД* – атрибут грузов, расходуемых при проведении ВнеКД. Планировщик будет планировать такие грузы на ближайший полёт перед осуществлением очередного ВнеКД.
- *Минимальный остаток* – атрибут количества дней, в течение которых космонавты должны быть обеспечены грузом в случае пропущенного цикла доставки. При планировании доставок расходуемых грузов планировщик будет учитывать, что величина текущего запаса на борту МКС ни в какой момент не должна оказаться меньше минимального остатка.
- *Норма расхода, кг на чел. в сутки* – атрибут, значение которого указывается только для расходуемых грузов. Планировщик учитывает нормы расхода при определении доставок для поддержания минимального остатка.
- *Приоритет* – численный атрибут, показывающей приоритетность груза при планировании; по умолчанию равен приоритету родительской системы.
- *Регулярные доставки на ТГК* – атрибут, показывающий минимальное обязательное количество единиц груза, доставляемых на грузовом корабле «Прогресс».
- *Регулярные доставки на ТПК* – атрибут, показывающий минимальное обязательное количество единиц груза, доставляемых на транспортном корабле «Союз».
- *Резервный* – атрибут для грузов, используемых при нештатных ситуациях. Такие грузы учитываются планировщиком в зависимости от уже имеющегося их запаса на борту МКС
- *Предпочитаемый тип ТС* – отношение с концептом класса «Транспортное средство», на котором предпочтительна доставка груза. При отсутствии такого отношения планировщик не будет делать различий между ТС различных типов при планировании груза. Если же такое отношение имеется, то планировщик будет стремиться сначала запланировать груз на экземпляре ТС с наиболее выгодной датой старта, затем на других ТС того же

типа, и только в последнюю очередь на ТС прочих типов.

- Отношения «Груз-укладка» и «Груз-вложение» между двумя или более грузами свидетельствуют о наличии между ними пространственной связи.

Грузом-укладкой считается груз, который имеет массу и сложную внутреннюю структуру, при планировании грузопотока учитывается масса самой укладки, а не грузов в её составе.

Грузом-вложением считается груз, который входит в состав груза-укладки, при этом масса груза-вложения не учитывается при планировании грузопотока. В составе одного груза-укладки может находиться несколько разных грузов-вложений.

5. Использование онтологии при планировании грузопотока

Начальными условиями для формирования грузопотока является планируемый период с набором полётов ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс». При формировании грузопотока, значения атрибутов «Регулярные доставки на ТГК» и «Регулярные доставки на ТПК» определяют число единиц груза, в обязательном порядке планирующиеся на ТС каждого типа. Для прочих грузов адаптивное планирование выполняется посредством взаимодействий агентов грузов и улучшений ими своей текущей позиции в соответствии с принципами гомеостатической оптимизации. [Бидеев, 2014]

Рассмотрим появление нового типа ТС – концепта «Прогресс МС/Союз-2.1а», у которого отсутствуют отношения «Предпочитаемый тип ТС» с грузами онтологии грузопотока. По этой причине планировщик первоначально будет стремиться игнорировать ТС этого типа, планируя на них доставки в самую последнюю очередь. Изменить такое поведение посредством расширения онтологии возможно за счёт переноса в онтологию МКС данного концепта с верхнего уровня иерархии типов ТС на уровень дочернего элемента для уже существующего ТГК «Прогресс».

В этом случае для грузов с отношениями «Предпочитаемый тип ТС» с концептом «Прогресс» будут распространяться те же правила планирования на новый концепт «Прогресс МС/Союз-2.1а». Для тех грузов, условиям доставки которых удовлетворяет только новая модификация ТГК, следует создать отношения «Предпочитаемый тип ТС» с элементов «Прогресс МС/Союз-2.1а» напрямую, минуя его родительский концепт. Такие грузы планировщик будет стремиться распределить только на ТС соответствующего типа, не допуская их перераспределения на соседние полёты.

Заключение

Использование онтологий для адаптивного построения программы полета и грузопотока на РС

МКС позволило обеспечить гибкость системы планирования, а также расширить базу знаний без необходимости перепрограммирования системы. Полученные от специалистов ОАО «РКК «Энергия» оценки позволяют заключить, что система положительно зарекомендовала себя не только при штатной работе, но и при необходимости срочного согласования и корректировки планов по причине возникших нештатных и аварийных ситуаций.

Библиографический список

[Бидеев, 2014] Бидеев А.Г., Метод адаптивного планирования грузопотока в интерактивной мультиагентной системе расчета программы полета, грузопотока и ресурсов российского сегмента Международной космической станции / Бидеев А.Г. [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2014. №1(4). – С. 29-38.

[Иващенко, 2010] Иващенко, А.В. Мультиагентная подсистема построения программы полета Международной космической станции / А.В. Иващенко [и др.] // 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.98-101.

[Вакурина, 2014] Вакурина, Т.Г. Онтология российского сегмента Международной космической станции и ее практическое использование в интеллектуальных аэрокосмических приложениях / В.В. Котеля, О.И. Лахин, М.М. Матюшин, П.О. Скобелев // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014). - Минск: БГУИР, 20 – 22 февраля 2014 г. – С. 221-226.

[Кузьмин, 2014] Кузьмин В.В., Результаты внедрения интерактивной мультиагентной системы построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов МКС / В.В. Кузьмин [и др.] // Материалы XX Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов, ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», 10 – 14 ноября 2014 года. – С. 607-609.

DEVELOPING ONTOLOGIES FOR USE IN ADAPTING SCHEDULING OF FLIGHT PROGRAM FOR THE INTERNATIONAL SPACE STATION

Lakhin O., Polnikov A., Redkina K.

Software Engineering Company Smart Solutions,
Samara, Russian Federation

lakhin@smartsolutions-123.ru

polnikov@smartsolutions-123.ru

redkina@smartsolutions-123.ru

The task of adaptive scheduling of flight program and cargo flow of the Russian Orbital Segment of the International Space Station is solved using the Multi-Agent System for Scheduling of Flight Program, Cargo Flow and Resources of International Space Station. This paper describes the approach to building the ontology used by agents during the flight program planning stage and describes major concepts, attributes and relations involved. Included is an example of how they affect the result of the planning process.