

КОРПОРАТИВНАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ОНТОЛОГИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКИМ СЕГМЕНТОМ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Т.Г. Вакурина¹, О.И. Лахин², Ю.С. Юрыгина², Е.В. Симонова², Д.Н. Коршиков², А.И. Носкова²

¹РКК «Энергия» им. С.П. Королёва
141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, 4А, Россия
post@rsce.ru

тел: +7 (495) 513-77-63, факс: +7 (495) 513-86-20

²ООО «НПК «Разумные решения»
443013, Самара, Московское шоссе, 17, офис 1201, Россия
info@kg.ru

тел: + 7 (846) 279-37-78

***Ключевые слова:** российский сегмент международной космической станции, управление российским сегментом международной космической станции, мультиагентные технологии, корпоративная распределенная онтология, конструктор онтологий, сетцентрическая система.*

Abstract

The approach to the construction allocated enterprise ontology of Rocket and Space Corporation "Energia" to control the Russian segment of the International Space Station is proposed in this paper. This ontology integrates knowledge from various fields for constructing a conceptual model of the Russian segment of the International Space Station. Methods and tools for describing the conceptual model of the Russian segment of the International Space Station using ontologies activities are considered for this purpose, tools for working with corporate ontology are proposed. Examples of corporate ontology and its main elements and its practical use in intelligent aerospace applications are discussed in this article.

Введение

Международная космическая станция (МКС) является уникальным, сложным, инновационным научно-техническим и инженерным орбитальным комплексом большой размерности. В настоящее время в связи с усложнением конструкции МКС и устойчивым возрастанием объемов информации, требуемой для управления полетом российского сегмента международной космической станции (РС МКС) со стороны центров управления полетом (ЦУП), необходимо развитие процессов управления полетом РС МКС в рамках единой наземно-космической системы, направленной на достижение комплекса целей полета. Для принятия решения и осуществления согласованных действий специалистов группы управления полетом и экипажа РС МКС требуется обработка и анализ возрастающего объема информации, поступающего с бортов РС МКС, например, при управлении полетом РС МКС необходимо анализировать более 80 000 телеметрических параметров.

Для решения задач управления РС МКС была предложена концепция мультиагентного планирования, позволяющая учитывать специфику управления полетом РС МКС и повысить эффективность собственно процесса принятия решения за счет внесения элементов самоорганизации. Инструментом информационной поддержки принятия решений в процессах управления полетом РС МКС и описания контекста ситуации выступает корпоративная распределенная онтология управления полетом, представляющая собой набор различных онтологий, используемых для формальной спецификации понятий и отношений, характеризующих предметную область. Такой подход позволяет справляться с растущей сложностью данной задачи и высокой динамикой изменений, возникающей как в связи с непредсказуемым появлением но-

вых срочных потребностей в доставке грузов на борт РС МКС, переносом стартов транспортных грузовых кораблей «Прогресс» или транспортных пилотируемых кораблей «Союз», расширением номенклатуры объектов грузов, задержкой подготовки научной аппаратуры для проведения космических экспериментов, так и в процессах оперативного управления полетом РС МКС, требующих незамедлительного принятия решений в случае возникновения различных событий при парировании нештатных и аварийных ситуаций на борту РС МКС.

Использование элементов корпоративной распределенной онтологии в различных взаимодействующих между собой системах поддержки принятия решений при управлении полетом, приводит к необходимости применения качественно нового подхода для обеспечения взаимодействия различных систем принятия решений на основе корпоративной распределенной онтологии управления полетом, функционирование которой базируется на накапливаемых изменяющихся знаниях о РС МКС. Для управления всеми знаниями в корпоративной распределенной онтологии управления полетом и обеспечения взаимодействия систем поддержки принятия решений необходимо создать единую платформу.

В данной статье рассматривается подход к построению корпоративной распределенной онтологии ОАО РКК «Энергия» для управления РС МКС, интегрирующей знания из различных областей, представляются методы и средства управления корпоративной распределенной онтологией управления полетом, приводятся примеры реализации корпоративной онтологии и ее основных элементов (онтология бортовых систем, элементов и ресурсов РС МКС, онтология действий экипажа и специалистов ГОГУ, онтология правил полета, полетных процедур и бортовых инструкций, онтология программы полета и грузопотока, онтология научно-прикладных исследований и космических экспериментов, онтология организационной структуры и т.п.) и ее практического использования в интеллектуальных аэрокосмических системах.

1 Управление РС МКС

В настоящее время РС МКС состоит из функционального грузового блока (ФГБ) «Заря», служебного модуля (СМ) «Звезда», стыковочного отсека (СО1) «Пирс», малых исследовательских модулей (МИМ1) «Рассвет» и (МИМ2) «Поиск», транспортных грузовых и пилотируемых кораблей «Прогресс М», «Союз ТМА». В состав каждого из этих модулей входит множество различных систем, например, системы как БВС и СУБА, расположенные в СМ. БВС – бортовая вычислительная система, предназначенная для управления бортовыми системами СМ и для координации работы всех модулей РС МКС, решения задач долгосрочного планирования и автономного управления, обеспечения связи с системой управления бортовой аппаратурой американского сегмента. Подэлементами БВС являются системы: цифровая вычислительная машина (ЦВМ), терминальная вычислительная машина (ТВМ), устройства сопряжения (УС21, УС22), контроллер сетевых каналов (КСК), коммутатор согласующих резисторов (КСР), каждая из которых состоит из составляющих. СУБА – система управления бортовой аппаратуры, назначение, которой состоит в управлении, контроле и диагностике бортовых систем СМ. В состав СУБА входит порядка 100 элементов, большинство из которых также состоит из определенных блоков. Таким образом, РС МКС является сложной системой, состоящей из множества элементов, большинство из которых сами являются сложными системами, объединяющими более простые элементы. Сложность системы определяется не столько обилием элементов, сколько их сложностью, а также сложностью функциональных и логических связей между элементами и частями системы, ее многорежимностью, возможностью восстановления и невозможности восстановления отказов у одних и тех же элементов в зависимости от характера самого отказа и т.д. Элементы РС МКС связаны между собой в единое целое, причем эти связи отличают систему от простого соединения частей. Поэтому РС МКС является системой систем, включающей специалистов групп управления на Земле и экипаж МКС в качестве отдельных элементов. Структура связей внутри РС МКС является сложной вследствие

их большого количества, многочисленных пересечений и различной природы. Различают следующие виды связей: функциональные, логические (логика возникновения НШИАС), иерархические (уровень, описывающий состав элементов), пространственные (уровень, описывающий местоположение элементов). РС МКС характеризуется также множеством атрибутов (например, физические, химические свойства) и режимов. При описании объекта РС МКС следует использовать различные уровни классификации объекта, что позволяет охарактеризовать его с различных сторон и получить полную информационную картину.

Термин «управление РС МКС» в данной статье обозначает процесс последовательного изменения параметров состояния, включающий ряд последовательно выполняемых операций, направленных на изменение состояния РС МКС в соответствии с планом полета, предназначенным для реализации целей полета. План рассматривается, с одной стороны, как документ планирования полета, с другой стороны, как любая последовательность действий, направленная на достижение целей полета в текущей полетной ситуации на оцениваемом интервале времени. Под оперативным управлением понимается управление объектом в реальном и/или близком к реальному времени. Для оперативного управления полетом требуется достаточно точная оценка эксплуатационных качеств объекта на текущий момент времени. К таким качествам относятся: функциональные возможности, располагаемые ресурсы, характеристики операций, которые объект может выполнять в полете, состав бортовых систем и режимы их работы, методики управления бортовыми системами, описание каналов управления, методики контроля состояний и работы бортовых систем, ограничения на режимы работы [1]. Множество задач, которое возможно реализовать при помощи орбитальной космической станции, определяется совокупностью следующих факторов:

- располагаемыми ресурсами (топливо, запасы кислорода, электроэнергия и т.д.);
- функциональными возможностями, которые были заложены при разработке объекта.

Для орбитальных космических станций поставленные задачи, цели полета, характеристики системы, функционал могут варьироваться и уточняться в процессе продолжительного срока эксплуатации. РС МКС является многоцелевой системой. Основными задачами управления РС МКС являются:

- обеспечение безопасности экипажа и станции;
- планирование полетных операций и научных экспериментов, планирование и анализ действий экипажа;
- контроль работы бортовых систем;
- контроль параметров орбиты, расчёт маневров поддержания орбиты, сближения и спуска;
- координация работы средств управления полетом.

Процесс управления полетом, в частности, оперативное управление полетом, можно обобщенно представить в виде следующих взаимосвязанных процессов: планирование полета, реализации плана, контроль и принятия решения. На основе описания этих процессов и их взаимодействия строится модель управления полетом РС МКС.

Существует несколько уровней планирования, оказывающих взаимовлияние друг на друга:

- стратегическое планирование (временной интервал – несколько лет);
- тактическое планирование (временной интервал – около года);
- исполнительное планирование (временной интервал – от полугода (номинальный план полета) до суток (детальный план полета)).

При переходе от стратегического уровня планирования к исполнительному уровню идет уточнение планов, их конкретизация, более глубокая детализация.

Контроль полета проводится регулярно в процессе выполнения плана полета и включает в себя несколько этапов:

- получение информации, которая описывает фактическое состояние РС МКС (источником информации о состоянии параметров может быть телеметрическая информация, телевизионная информация, голосовые или письменные сообщения экипажа, информация со специализированной аппаратуры);
- обработка полученной информации для определения достоверных данных на момент контроля;
- анализ полученной информации.

По результатам контроля принимается решение следовать прежнему плану, или перейти к скорректированному плану для достижения поставленных целей, если контролируемые параметры находятся вне диапазона допустимых значений.

Описанная выше схема является обобщенной схемой управления РС МКС.

В управлении РС МКС задействованы различные группы специалистов, каждая из которых отвечает за «свою» предметную область. Причем каждый специалист должен владеть большим количеством информации в своей области и уметь выбрать на основе сопоставлений, логических рассуждений, расчётов и моделирования лучший вариант для достижения поставленных целей. При этом необходимо учитывать сложность объекта управления, рост количества требований и ограничений, перепланирование при возникновении нестандартных ситуаций в условиях дефицита времени, необходимость анализа большого количества данных и соблюдения ограничений при принятии решений.

Результатирующее решение принимается в результате совместной деятельности и переговоров специалистов различных групп управления. Однако из-за отсутствия взаимосвязи между ними увеличиваются сроки принятия решений, снижается их оперативность и эффективность.

2 Использование корпоративной распределенной онтологии для управления РС МКС

Корпоративная распределенная онтология управления полетом является средством связи между специалистами различных групп управления, специалистами и системами, системами различных групп управления. Применение онтологий, описывающих сложную систему управления в целом, способствует повышению уровня оперативности, согласованности, эффективности принимаемых решений. Онтология позволяет накапливать, структурировать знания и манипулировать ими, выступая в роли библиотеки, где знания представлены в единой форме и можно найти не только необходимую информацию, но и ее источник. Информация становится доступной специалистам различных групп управления, экономя трудозатраты и временной ресурс на ее поиски.

Формализованное представление знаний при управлении МКС в форме онтологий предоставляет следующие возможности:

- приведение терминологии различных групп специалистов управления полетом, инженеров и экипажа МКС к единой системе понятий для обеспечения единого толкования и взаимопонимания между различными специалистами;
- использование онтологии в качестве универсальной «энциклопедии» РС МКС, интегрирующей знания специалистов различных групп управления;
- моделирование различных ситуаций, возникающих при управлении полетом РС МКС, например, используемых для поддержки принятия решений;
- создание на основе общей онтологии системы, не требующей полного перепрограммирования при введении новых фактов и корректировок в предметной области;
- освоение специалистами новой информации с помощью онтологии для увеличения уровня их квалификации и профессиональная подготовки;
- выявление недостающих логических связей при построении онтологии;

- поддержка согласованной работы и координации планов в реальном времени, оптимизация ресурсов и взаимодействие подсистем групп управления.

В основе построения системы лежит онтология мира МКС (концептуальная модель МКС), описывающая:

- возможный структурный состав МКС (бортовые системы и элементы МКС, комплекс целевых нагрузок);
- возможные функциональные связи между подсистемами;
- возможное пространственное размещение устройств;
- правила полета, полетные процедуры и бортовые инструкции;
- возможные действия космонавтов и специалистов ЦУП;
- возможные действия с устройствами для парирования ситуации;
- подготовку и проведение научно-прикладных исследований;
- организационную структуру корпорации;
- программу полета и грузопоток;
- другие важные зависимости для принятия решений.

3 Онтологический базис

Для обеспечения единой структуры всех онтологий, входящих в корпоративную распределенную онтологию управления полетом, необходимо установить правила по обработке и занесению знаний, то есть выработать или выбрать единый онтологический базис.

На данный момент среди всех возможных подходов к формализованному представлению знаний наиболее используемыми являются подходы на основе фреймов, семантических сетей, логических и продукционных правил [3]. Детальное изучение этих подходов позволило понять, что семантические сети наиболее универсальны и удобны для концептуализации знаний, поэтому для построения онтологического базиса концептуальной модели РС МКС используются семантические сети.

Развитием подхода для представления знаний стали динамические семантические сети. В предлагаемом методе предоставляется возможность строить сетевые интеллектуальные системы или сети интеллектуальных систем. В основу концепции динамической семантической сети положены следующие принципы:

- интеграция процедурных и декларативных знаний;
- параллельное функционирование всех компонентов сети;
- эволюция сети в реальном времени.

Каждый узел динамической семантической сети является выполняемым вычислительным процессом, обладающим алгоритмами обработки информации и выработки решений, средствами общения с другими узлами сети, определенным поведением. Таким образом, каждый узел графа представляет собой выполняемый процесс, характеризуемый набором атрибутов и присоединенных функций, а структура графа отражает текущую модель предметной области [2].

Так как традиционного для онтологий декларативного представления знаний недостаточно для описания процессов и правил, являющихся основными знаниями, используемыми в системах корпорации, в качестве онтологического базиса была выбрана мета-онтология Аристотеля. Она предполагает следующие важные свойства [4]:

- существуют объекты, которые обладают свойствами и характеризуются состояниями;
- с каждым объектом можно что-то делать, изменяя состояние, свойства или отношения между объектами;
- отношения между объектами могут отражать структурные, функциональные, временные или любые другие виды связей;

- чтобы выполнить действие над объектом, необходимо соблюдение определенных условий, которые задаются свойствами и отношениями;
- сложные объекты строятся из простых объектов путем выполнения действий (процессов) над ними для установления отношений и связывания простых объектов в сложные;
- свойства выражают способность объектов вступать в процессы взаимодействия на основе законов мира;
- события, действия (процессы) изменяют состояния объектов, их свойства и отношения и запускают новые процессы;
- процессы состоят из действий с объектами, так же как сложные объекты состоят из простых;
- с каждым объектом мира можно что-то делать в любой момент времени (нет тупиковых состояний), но чтобы выполнить действие над объектом необходимо выполнить определенные условия;
- объекты, свойства, отношения, процессы (действия) характеризуются атрибутами различных типов, которые имеют диапазоны значений, а также конкретные значения в заданный момент времени;
- атрибуты объекта/отношения являются качественной или количественной характеристикой понятия;
- правила являются обобщенными понятиями для формализованных условий вида «если-то» (предикатов) и высказываний (утверждений, аксиом, фактов).

Отличительной чертой данной мета-онтологии является возможность описания процессов, действий, правил и законов. Таким образом, будущая корпоративная онтология, построенная на основании модели Аристотеля, будет наиболее полным и всеобъемлющим описанием предметной области, связанной с РС МКС.

4 Инструменты управления корпоративной распределенной онтологией

Системы поддержки принятия решений управления полетом используют один и тот же подход (мультиагентные технологии и корпоративную распределенную онтологию в качестве базы знаний), который позволяет создать единую сетевую платформу и организовать взаимодействие между системами, объединив их в единую систему систем корпорации для управления РС МКС [6].

Системы поддержки принятия решений управления полетом, построенные на основе сетевых платформ корпорации, отличаются следующими характеристиками:

- Все системы имеют общий унифицированный пользовательский интерфейс, обеспечивающий взаимодействие человека и системы на основе общих принципов, при этом применяется единая концепция построения пользовательского интерфейса, интуитивно понятного различным категориям пользователя. Таким образом, пользователь, работая в разных системах, не замечает особых различий, так как работа происходит в единой среде.
- С технической точки зрения системы используют одни и те же механизмы и компоненты.
- Все системы взаимодействуют через общую интеграционную сервисную шину, которая обеспечивает коммуникацию между различными системами.

Корпоративная распределенная онтология агрегирует в себе все существующие знания разных специалистов, исключая ненужное дублирование и обеспечивая общий доступ. Предварительно установленные правила и ограничения позволяют описать предметную область наиболее полно с точки зрения пользователя и доступно для обработки с точки зрения систем. Настраиваемые права доступа, с одной стороны, не дают возможности внести в онтологию какие-то критические изменения, противоречащие уже существующим знаниям, а с другой стороны, позволяют всем пользователям различных систем отслеживать изменения и корректировать свои части онтологий согласно новым данным.

Параллельно с созданием самой корпоративной распределенной онтологии ведется разработка и развитие удобного инструмента для ее построения. Обзор существующих конструкторов онтологий показал, что в настоящее время не существует инструмента, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к конечной онтологии предметной области. В связи с этим разрабатывается новый инструмент, обладающий всеми преимуществами существующих конструкторов и имеющий ряд своих особенностей, необходимых для создания и использования распределенной онтологии управления полетом.

Разрабатываемый конструктор онтологий представляет собой систему визуального проектирования семантических сетей онтологий деятельности, в которой пользователь может в удобной форме создавать и редактировать различные онтологии, специфицируя свои концепты и устанавливая связи между ними, а также формируя сценарии действий, и далее «проигрывать» ситуации в этих мирах с помощью исполняющей системы, реализующей законы описанной предметной области.

При этом такая система должна поддерживать взаимосвязи объектов из нескольких областей, объекты которых могут быть связаны между собой (в случае корпоративной онтологии, взаимосвязь между ее составными частями – онтологиями отдельных систем).

Помимо характеристик и возможностей, присущих всем существующим инструментам инженерии онтологий, разрабатываемый конструктор онтологий имеет следующие особенности:

- возможность свертки объектов по группам (принцип погружения), когда группу объектов можно свернуть в один объект, например, систему можно разложить на составные части, а затем свернуть в один объект (данная функция является реализацией холонической теории, согласно которой составной частью системы является холон – целое, являющееся частью другого, большего целого [5]);
- возможность создавать запросы, описываемые правилами, с помощью которых пользователь сможет легко вести поиск и навигацию по онтологиям (например, просмотреть всех наследников выбранного класса, или просмотреть все входящие элементы и т.д.);
- возможность отображать онтологию в различных вариантах: автоматическое отображение (библиотека шаблонов отображения) и ручное;
- наличие различных форм визуализации данных (диаграммы, графики, семантическая сеть, текст и т.д.);
- наличие различных дополнительных редакторов (редактор карты, редактор сети и т.д.), облегчающих задачу занесения новых данных в онтологию.

Относительно корпоративной распределенной онтологии управления полетом, основным преимуществом данного конструктора онтологий является разработка специальных меню и интерфейсов, адаптированных под конкретные разделы единой онтологии. Основная идея заключается в следующем: внешние системы интегрируются с конструктором онтологий таким образом, что в нем можно выполнять предметнонезависимые операции, то есть применительно к каждому разделу распределенной онтологии создается меню, с помощью которого можно быстро и без труда описать специфические знания, не нарушая общей структуры онтологии.

Другой важной особенностью данного конструктора онтологий является возможность многопользовательского доступа к единой онтологии. В таком случае может возникнуть ситуация, когда несогласованные действия пользователей приведут к нарушению целостности и логичности конечной онтологии. В связи с этим вводится понятие ролей, которые ограничивают круг возможностей пользователя конкретной системы в том или ином разделе корпоративной онтологии, то есть пользователь может либо просто просматривать онтологию, либо вносить определенные изменения. Данная функциональность связана с другой отличительной чертой нового конструктора: отслеживание изменений в разделах корпоративной онтологии.

Так как доступ к корпоративной распределенной онтологии планируется предоставить пользователям различных систем, логично предположить, что знания этих пользователей мо-

гут пересекаться и знания, относящиеся к одному из разделов корпоративной распределенной онтологии, могут влиять на знания из другого раздела (другой системы). Отслеживание изменений позволяет оповещать других пользователей распределенной онтологии о новых знаниях. На основании этих событий система может предложить другим пользователям внести свои изменения в онтологию, перестроить планы и т.д.

5 Применение корпоративной распределенной онтологии управления полетом

Корпоративная распределенная онтология управления полетом используется в РКК «Энергия» в следующих системах поддержки принятия решений при управлении полетом РС МКС:

- интерактивная мультиагентная система построения программы полета, грузопотока и расчета ресурсов РС МКС;
- интеллектуальная система поддержки принятия решений при использовании бортовых ресурсов в процессе парирования аварийных ситуаций;
- автоматизированная система организации оперативных работ смен главной оперативной группы управления (ГОГУ);
- адаптивный тренажер для формирования и восстановления навыков ситуационной поддержки принятия решений сменным руководителем полетов и специалистами ГОГУ;
- информационная система управления ресурсами РС МКС;
- система информационной поддержки процесса управления научно-прикладными исследованиями на РС МКС;
- система поддержки принятия решений в процессе выполнения экипажем полетных процедур.

Все системы построены на основе сетцентрической платформы, обеспечивающей взаимодействие между ними на основе корпоративной распределенной онтологии. Каждая система при этом является своего рода «многофункциональным агентом». При работе системы могут появляться события, которые требуют действий и информации от других систем. Таким образом, одна система формирует запрос другой системе, аналогично принципу взаимодействия агентов в мультиагентных системах. Инструменты единой платформы обеспечивают возможности гибкой настройки и управления такого взаимодействия, таким образом, единая платформа позволяет создать интеллектуальный сетцентрический корпоративный программный комплекс вместо разрозненных систем.

Основными преимуществами данного подхода являются:

- открытость к добавлению новых систем снизу и сверху, слева и справа;
- согласованность планов между отдельными системами (подразделениями);
- высокая гибкость за счет адаптивности планирования по событиям в реальном времени;
- в отличие от классического подхода «сверху-вниз», система строится «снизу-вверх»;
- масштабируемость в пределах предприятия.

Заключение

В работе описан подход к построению корпоративной распределенной онтологии для управления РС МКС, применяемой в ОАО РКК «Энергия», а также методы и средства описания концептуальной модели РС МКС с помощью онтологий деятельности.

Рассмотренный инструментарий для работы с корпоративной распределенной онтологией управления полетом позволит наиболее полно и точно описать все необходимые знания специалистов о предметной области и обеспечить взаимодействие между системами.

Список литературы

- [1] Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами. Ч.1-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 476 с.
- [2] Вакурина Т.Г., Котеля В.В., Лахин О.И., Матюшин М.М., Скобелев П.О. Онтология российского сегмента Международной космической станции и ее практическое использование в интеллектуальных аэрокосмических приложениях // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014), 20 – 22 февраля 2014 г. – Минск: БГУИР, 2014. – С. 221-226.
- [3] Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский // СПб. – 2000. – 384 с.
- [4] Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. №1(3). – С. 26–48.
- [5] Koestler, A. The Ghost in the Machine / A. Koestler. – London: Arcana books, 1989.
- [6] Иващенко А. В., Карсаев О. В., Скобелев П. О., Царев А. В., Юсупов Р. М. Мультиагентные технологии для разработки сетцентрических систем управления // VI Всероссийская научно-практическая конференция "Перспективные системы и задачи управления", 4 - 6 апреля 2011 г., Таганрог. – Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №3 (116). – С. 11-23.