

УДК 629.78

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Д.С. Будаев, В.Б. Ларюхин, Е.С. Левин, И.В. Майоров, А.Н. Мочалкин

Научно-производственная компания «Сетецентрические платформы»
Россия, 443013, Самара, Московское шоссе, 17, офисный центр «Вертикаль», офис 703.
E-mail: mayorov.igor@gmail.com

О.Ю. Аксенов, С.П. Морозов, Д.Ю. Убоженко, В.Н. Федюнин

НИЦ РКО 4 ЦНИИ МО РФ, 129345 Россия, Москва, ул. Осташковская 12А.
E-mail: fedvas@mail.ru

Ключевые слова: мультиагентная среда, моделирование, космическое пространство, принятие решений, распределение ресурсов

Аннотация: рассматривается задача построения мультиагентной среды для моделирования процессов управления ресурсами в целях мониторинга космического пространства. Предлагается архитектура и рассматриваются функциональные возможности мультиагентной среды для решения данного класса задач, а также преимущества предлагаемой системы.

1. Введение

Значительное повышение уровня обороноспособности страны, предусмотренное планами военного строительства на ближайшую перспективу, существенным образом обеспечивается за счет наращивания возможностей контроля обстановки в околоземном космическом пространстве и оценки степени ее военной опасности. Это, в свою очередь, обеспечивается дальнейшим развитием отечественной системы контроля космического пространства (СККП) и ее информационных ресурсов.

Однако одностороннее расширение группировки специализированных средств наблюдения за космическими объектами (КО), управляемых вручную с командного пункта системы, не позволит получить полного эффекта от их ввода. Для использования увеличенных ресурсных возможностей в полной мере необходимо создание новой интеллектуальной системы управления сбором информации, основанной на применении наиболее совершенных и прогрессивных технологий решения подобных задач.

В качестве одной из таких технологий для решения актуальных задач развития отечественной СККП предлагается использовать мультиагентные системы (МАС), которые применяются все шире в гражданских и коммерческих проектах [1]. Учитывая сложность, существенную специфику создания такой системы управления, а также отсутствие должного опыта применения МАС для этих целей целесообразно предвари-

тельно провести комплексные исследования открывающихся возможностей и выбора среди них наиболее рациональных и эффективных.

Наилучшим образом для этого в методическом плане подходит проведение исследований на специально созданных средствах имитационного моделирования. Практика проведения подобных исследований в интересах создания и испытания сложных систем РКО насчитывает уже более пяти десятилетий.

2. Задача управления ресурсами в целях мониторинга космического пространства

Задача управления ресурсами в СККП предполагает выдачу заданий пространственно распределенным информационным средствам на наблюдение различных КО, находящихся на околоземных орбитах. При этом под наблюдением понимается получение по сопровождаемому в зоне средства объекту координатной и некоординатной информации, обеспечивающей его инвентаризацию в главном каталоге системы (ГКС). Чтобы оценить степень сложности поставленной задачи нужно иметь ввиду, что количество наблюдаемых таким образом КО может достигать тысячи, а состав информационных средств может насчитывать несколько десятков.

Структурная схема модели решения данной задачи приведена на рис. 1.

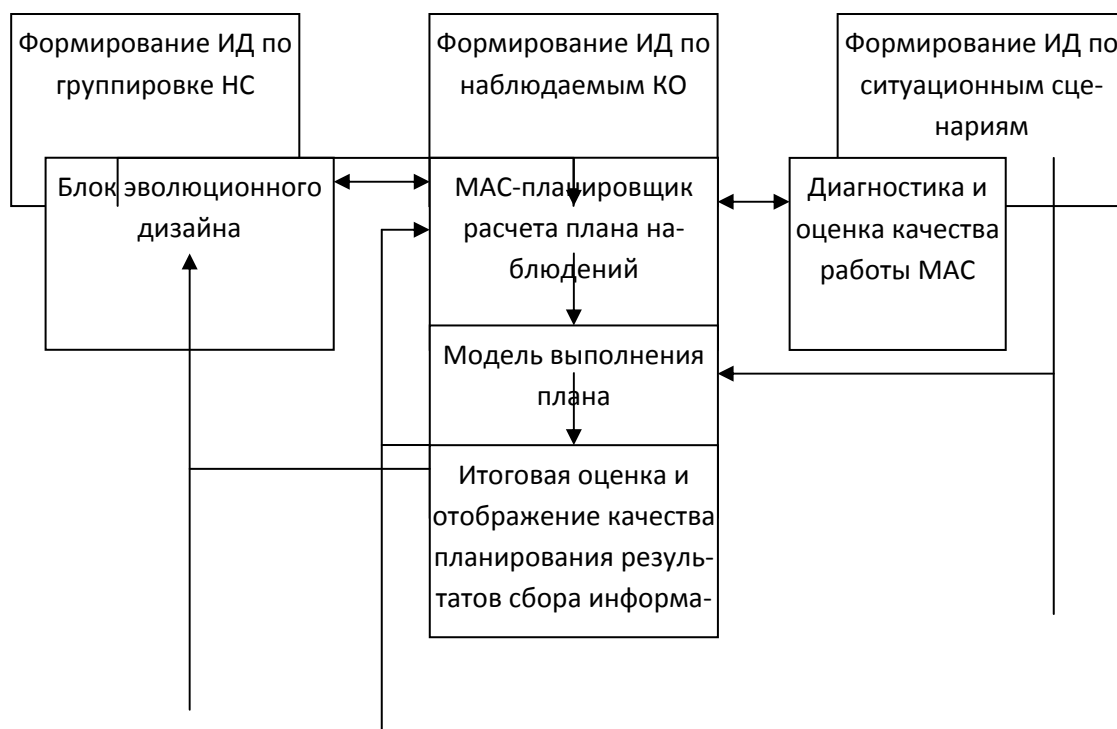


Рис. 1. Структурная схема модели.

Блок формирования исходных данных (ИД) по группировке наблюдательных средств (НС) выдает планировщику, построенному на принципах мультиагентной технологии (далее МАС-планировщик), информацию по возможностям и характеристикам функционирования каждого заданного НС (координаты точки стояния, зона действия, состав и качество получаемой информации, условия выполнения наблюдений КО, надежность характеристики и др.).

Блок формирования ИД по наблюдаемым КО выдает МАС-планировщику по каждому обслуживаемому КО информацию для организации его наблюдения (состав и качество необходимой для контроля данного КО информации, параметры орбит и ошибки их оценки, приоритет обслуживания, условия видимости и др.).

Блок ИД по ситуационным сценариям формирует для каждого задействованного в выполнении наблюдений КО средства состав, временной интервал и характеристики событий, способных повлиять на возможность его функционирования. Это позволяет оценивать реакцию МАС-планировщика на те или иные реальные внешние воздействия, требующие оперативной корректировки рассчитанного плана (изменение астроклиматических условий, возможные сбои в работе НС и др.).

МАС-планировщик по указанным формализованным исходным данным и на основании представленной ниже тактики работы мультиагентной системы производит расчет наиболее рационального плана наблюдения заданных КО. Эти данные являются для планировщика внешними, т.е. не учитывают и не зависят от особенностей его построения. Манипулируя ими можно проводить сравнительный анализ работы того, или иного конкретного планировщика в зависимости от изменения параметров полей потребностей, ресурсных возможностей или условий выполнения необходимых наблюдений.

Использование мультиагентных технологий при решении задачи динамического распределения информационных ресурсов обусловлено тем, что они реализуют адаптивные методы и средства распределения ресурсов, планирования, согласования, оптимизации, мониторинга и контроля исполнения планов в реальном времени, когда планы не строятся заново, а лишь постоянно адаптивно корректируются и перестраиваются по поступающим событиям или по мере их выполнения. В этих целях, в качестве методического подхода применяются сети потребностей и возможностей (ПВ-сети), которые позволяют выстраивать взаимодействия для получения согласованного по разным критериям решения, иными словами, поиск решения по одной целевой функции заменяется переговорами для достижения баланса интересов между многими разными целевыми функциями [2].

3. Архитектура среды для управления ресурсами в целях мониторинга космического пространства

Архитектура мультиагентной среды (МАС) для планирования ресурсов предполагает использование следующих основных взаимодействующих элементов:

- исполняющая система – представляет собой диспетчер, передающий квант времени каждому агенту, представляющему собой машину состояний, по заданной дисциплине, с необходимыми сервисами передачи сообщений, сохранения состояний и т.д.;
- подсистема адаптивного планирования – компоненты для поддержки работы ПВ-сетей и методов адаптивного планирования, выполняющая динамическое планирование по событиям и при необходимости контроль работы ресурсов в реальном времени (например, одного из средств обслуживания);
- мир агентов – компоненты, обеспечивающие работу конкретных агентов в системе, включая базовых и специализированных агентов ПВ-сети (задач, ресурсов, операций и др.), использующих информацию из онтологии мира и сцены данных в заданный момент времени;

- онтология – структура данных (классы объектов и отношений), содержащая знания (модель мира) предметной области в формализованном виде, отделенном от программного кода и доступном для пополнения и редактирования специалистами;
- сцена мира – структура данных (сеть экземпляров объектов), отражающая ситуацию в реальном мире, сформированный и текущий исполняемый план действий в заданный момент времени;
- конструктор онтологий, моделей и сцен – позволяет создавать онтологии предметной области и на их основе формировать концептуальные модели рассматриваемых объектов и их сцены состояния в заданный момент времени;
- база данных – для хранения начальных, промежуточных и конечных результатов работы системы;
- интерфейс пользователя – компоненты для ввода и отображения данных, а также коммуникации с пользователями, включая средства наглядной визуализации состояний объектов и процессов, отчеты и т.д.;
- специализированные компоненты – подсистемы (инструменты), характерные для каждой предметной области;
- интеграционные компоненты – компоненты для приема и передачи данных из внешних систем.

Важнейшей компонентой рассматриваемой системы является конструктор для работы с онтологиями, моделями и сценами, позволяющий создавать модели предметной области, которые используются агентами для решения поставленных задач.

Для распределения наблюдений объектов между имеющимися средствами должны быть созданы программные агенты, целью которых является оптимизация целевых параметров, например, обслуживание объекта необходимо выполнить как можно быстрее и с минимальной условной ценой, тогда как ресурс (средство обслуживания) должен быть максимально эффективно использован и не иметь простоев или перегрузок. Агенты делают это первоначально «эгоистично» (автономно), никого не спрашивая и потому очень быстро, если ресурсы свободны, но наталкиваясь на решения других агентов и выявляя конфликты, вступают в переговоры, идут на уступки и добиваются согласованного решения (консенсуса) в интересах объединяющего их целого (выполнить обслуживание всех объектов с заданным качеством за минимальное время).

Для отработки логики принятия решений агентов предлагается дополнительно генератор событий, модуль имитации (эмуляции) отработки рассматриваемых ресурсов и блок оценки и визуализации результатов моделирования.

3. Модель принятия решений на основе микроэкономики

В предлагаемом мультиагентном подходе решения о распределении ресурсов принимаются в консенсусе агентов, представляющих интересы потребностей и возможностей [3].

Развиваемая модель принятия решений построена на основе следующих принципов:

- 1) Каждый агент задач имеет идеальные и текущие значения показателей критериев (компонент вектора целевых функций), по которым рассчитывается «удовлетворенность» агента текущим планом.
- 2) В системе задаются динамические величины весовых коэффициентов скаляризации целевой функции виртуального денежного эквивалента. Каждый показатель имеет

свой коэффициент пересчета в виртуальные деньги, которые определяют способности агентов изменять расписание в свою пользу.

- 3) Общее решение системы рассчитывается агентом системы на основе решений отдельных агентов, имея информацию о том, какой из агентов лучше или хуже добился результатов по каждому своему критерию.
- 4) Каждый показатель (критерий) имеет свой коэффициент пересчета в виртуальные деньги, обеспечивая бонусы и штрафы за достижение своего идеального значения.
- 5) Каждый агент постоянно рассчитывает свой текущий виртуальный бюджет, который используется для улучшения локального места в расписании данного агента задачи или ресурса.
- 6) Виртуальный бюджет в каждый момент используется для устранения отклонения показателей от идеальных значений, для чего может использоваться вся прибыль агента или кредит, который он может получить у агента системы с учетом текущей ситуации.
- 7) В зависимости от величины текущего показателя компоненты целевой функции агента задачи имеют характерный вид (могут быть различными по форме для разных компонент вектора) с максимумом в оптимальном значении. Чем резче пик, тем больше чувствительность критерия к отклонениям от оптимума, чем шире основание – тем слабее зависит функция от неоптимального значения и расписание меньше зависит от деталей решения в разрезе данной компоненты. Варьируя через пользовательский интерфейс форму и параметры данной функции, можно увеличивать и уменьшать подвижность агентов по определенным критериям.
- 8) В каждом акте взаимодействия агентов работ (переговорах) агент определяет значения своей целевой функции и бюджет по текущему состоянию. Бюджет расходуется на перестройку расписания, но может и пополняться за уступки другим агентам.
- 9) Чем ближе состояние к оптимуму, тем выше удовлетворенность агента, и, возможно, тем меньше его активность. Чем дальше показатель от оптимума, тем, возможно, чаще он должен получать активность.

При всей своей привлекательности каждая система адаптивного планирования, построенная на указанных принципах – это сложная многофакторная система [4], получающая решение через значительное количество переговоров и итераций. Поэтому, чтобы раскрыть все заложенные в нее возможности, требуется не только корректное формирование указанных компонент и описаний, но и весьма существенный объем работ по их настройке, причем в дальнейшем – авто-настройки системы (саморегуляции).

С этой целью в качестве основного элемента моделирующей среды необходимо создание специальной программной платформы диагностики и оценки качества работы МАС-планировщика (далее – Платформы).

4. Разработка мультиагентной Платформы адаптивного планирования

Разрабатываемый прототип мультиагентной Платформы состоит из редактора начальной сцены, генератора событий, очереди событий с заданием их классов, моментов их появления и поступления в систему, мира агентов (движка системы), базовых классов агентов и протоколов переговоров, визуальных компонент для редактирования параметров агентов и их отображения, экспорта и импорта данных, подсистемы логирования и трекинга сообщений и финансовых счетов агентов, а также некоторых других вспомогательных компонент.

На рис. 2 показаны (слева направо) окна с представлением сети ресурсов (два в данном случае), Гант-Чарт диаграмма использования ресурсов заказами, загрузка ресурсов, степень удовлетворенности заказов и ресурсов и некоторые другие характеристики.

Рассмотрим работу Платформы на простых примерах.

Пусть имеется два ресурса обслуживания, на которые поступает поток заказов с требованиями обслуживания по срокам выполнения. Со временем свободного места в расписании остается мало и на 20-й секунде добавляется новый ресурс на обслуживание поступающих заказов. Далее, и он заполняется почти полностью, после чего на 28-й секунде добавляется еще один ресурс. Заказы продолжают прибывать, и в конце уже в системе накапливаются некорректно запланированные заказы, и даже незапланированные, получившие отказ в обслуживании в связи с недостатком ресурсов. На 50-й секунде пусть отменяется 20 заказов, тогда почти все незапланированные заказы сразу находят себе места в расписании. На 55-й секунде отменяется еще 20 заказов, после чего, на 60-й отключается 4-й ресурс, т.к. у него остается мало работы, и его незапланированная работа перераспределяется между оставшимися. Еще через 5 секунд отключается еще один ресурс по той же причине, и его заказы также перераспределяются.

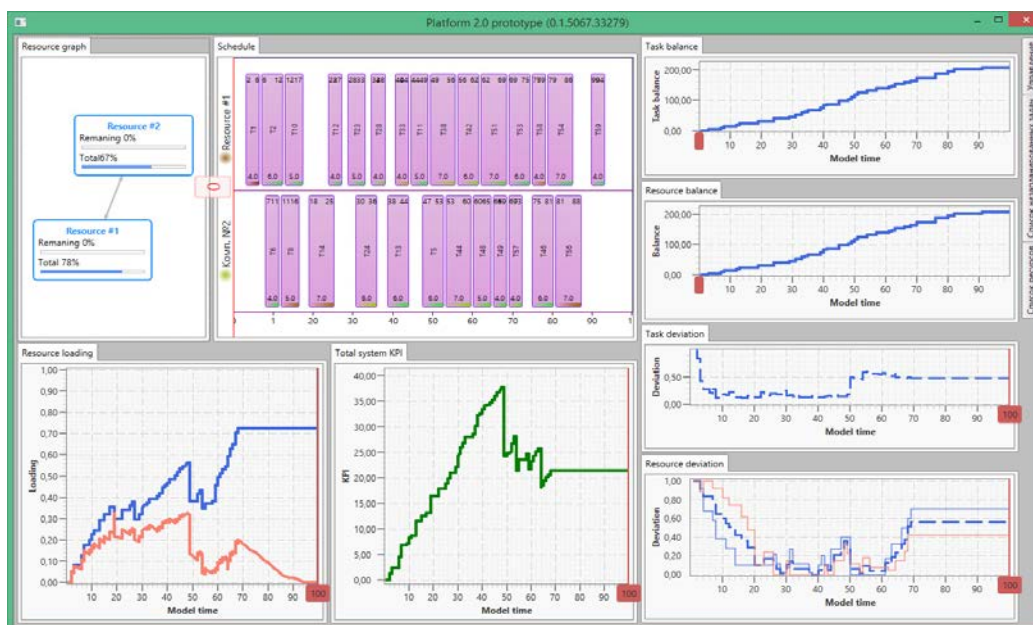


Рис. 2. Общий вид интерфейса Платформы.

Показывается, что система может адаптивно реагировать на происходящие изменения в плане, оперативно подстраивая план для уменьшения негативного эффекта от изменений. Активность переговоров агентов, соответственно, меняется и по ней можно судить о общем состоянии системы, о том, как она в данный момент работает, насколько загружена и т.д.

На графике баланса виртуальных бюджетных средств можно видеть увеличение виртуального баланса ресурсов, которые зарабатывают средства путем продажи своего свободного места заказам, и наоборот, как используют заказы свои бюджеты на захват наиболее подходящих ресурсов.

График удовлетворенности агентов ресурсов системы показывает, как система уменьшает их отклонения от идеала, причем как после внесения малых, так и больших возмущений. Например, на 40-й единице модельного времени было крупное возмуще-

ние, с которым система все-таки справилась за время порядка 10 единиц модельного времени.

Аналогичный график для агентов заказов также показывает адаптацию системы под изменения. Например, на 42-й единице модельного времени было большое возмущение, которое привело к большому падению удовлетворенности (и виртуальной прибыли), но система смогла «отыграть» назад около половины падения, причем очень быстро. На 46-й единице модельного времени также было внесено изменение, которое ухудшило ситуацию, оно также было смягчено, хотя и не так успешно (но тут уже ушло лишь около 3-4 единиц модельного времени).

На графике загрузки системы можно наблюдать происходящие изменения по загрузке ресурсов заказами, а также можно наблюдать изменения суммы значений целевых функций агентов системы и видеть адаптивную реакцию на ухудшающую состояние системы. После очередного раунда переговоров агентов суммарное состояние системы улучшается.

В настоящее время Платформа уже использована для быстрого построения прототипов новых мультиагентных систем управления ресурсами для вычислительных и энергетических сетей, управления проектами, производственного планирования и некоторых других. Первый опыт показывает, что разработанная Платформа позволяет в 3-4 раза ускорить разработку систем, что особенно важно для промышленных разработок рассматриваемых систем.

Если спланировать заданное обслуживание все же не удастся, то выдается соответствующее сообщение и при необходимости продолжения работы с изменением ресурсных возможностей управление передается на блок эволюционного дизайна, который на основании выбранных предпочтений по изменениям вырабатывает соответствующие предложения. Такими предпочтениями могут быть следующие:

- 1) увеличение группировки наблюдательных средств на основании выбранной тактики;
- 2) передислокация средств обслуживания (изменение географических координат);
- 3) увеличение зоны обслуживания для выбранного средства;
- 4) изменение временных параметров подготовки и переподготовки средства к наблюдению.

Если предложения будут приняты, МАС-планировщик может приступить к корректировке плана обслуживания на принятых условиях.

По окончании построения плана выдается соответствующая информация с основными результатами планирования и оценками показателей работы планировщика.

Модель выполнения плана включается по команде оператора и в соответствии с заданными ситуационными сценариями должна промоделировать запланированные прохождения КО через зоны НС. С этой целью используются специальные имитационные модели работы информационных средств ККП, которые не являются предметом данного рассмотрения, но которые уже отработаны и откалиброваны, имеется опыт их эксплуатации.

Блок анализа и отображения результатов выполнения плана производит указанные действия и выдает итоговую информацию в формализованном виде и в базу данных МАС-планировщика.

5. Заключение

Мультиагентная система для управления ресурсами мониторинга космического пространства призвана повысить оперативность, гибкость эффективность применения

рассматриваемых ресурсов, адаптивно перестраивая планы по мере поступления непредвиденных событий.

Создаваемая мультиагентная среда для моделирования указанных процессов позволит отработать разрабатываемые модели, методы и алгоритмы для полномасштабной разработки и применения указанной системы.

Список литературы

1. Аксенов О.Ю., Дедус Ф.Ф., Морозов С.П., Скобелев П.О. О применении мультиагентных технологий для решения актуальных задач развития системы контроля космического пространства // Сборник материалов Восьмой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». 2013. С. 14-22.
2. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. 2002. № 6. С. 45-61.
3. Виттих В. А., Скобелев П.О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автометрия. 2009. № 2. С. 78-87.
4. 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.