

## ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКОЙ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2015 П.О.Скобелев, Е.В.Симонова, М.Е.Степанов, А.А.Жиляев

*Скобелев Петр Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: [petr.skobelev@gmail.com](mailto:petr.skobelev@gmail.com)*

*Симонова Елена Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий. E-mail: [simonova.elena.v@gmail.com](mailto:simonova.elena.v@gmail.com)*

*Степанов Максим Евгеньевич, аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: [stepanov@smartsolutions-123.ru](mailto:stepanov@smartsolutions-123.ru)*

*Жиляев Алексей Алексеевич, аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: [zhilyaev@smartsolutions-123.ru](mailto:zhilyaev@smartsolutions-123.ru)*

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

Статья поступила в редакцию 30.05.2015

Рассматриваются принципы применения онтологии для решения нового класса задач управления поведением интеллектуальных подвижных объектов, способных действовать как полностью автономно, так и коллективно, на примере решения задач дистанционного зондирования Земли группировкой малоразмерных космических аппаратов. Описывается структура онтологии, основные функции редактора онтологий/сцен. Предлагается онтологическое описание объектов наблюдения и правил распознавания цели, метод поиска объекта, удовлетворяющего онтологическому описанию. Приведены примеры сцен, разработанных на основе онтологии, соответствующих задачам дистанционного зондирования Земли. Предлагаются направления дальнейших исследований и разработок рассматриваемой системы.

*Ключевые слова:* онтология, семантическая сеть, конструктор онтологии, сцена, мультиагентные технологии, коллективное управление.

## APPLICATION OF ONTOLOGY IN INTELLIGENT SYSTEM FOR DISTRIBUTED MANAGEMENT OF SMALL SPACECRAFT GROUP

© 2015 P.O.Skobelev, E.V.Simonova, M.E.Stepanov, A.A.Zhilyaev

*Skobelev Petr Olegovich, Doctor in Engineering Science, Professor of the Chair of Aircraft Designing. E-mail: [petr.skobelev@gmail.com](mailto:petr.skobelev@gmail.com)*

*Simonova Elena Vitalievna, PhD in Engineering Science, associate professor of the Chair of Informatics and Information Technology. E-mail: [simonova.elena.v@gmail.com](mailto:simonova.elena.v@gmail.com)*

*Stepanov Maxim Evgenievich, post-graduate student of the Chair of Aircraft Designing. E-mail: [stepanov@smartsolutions-123.ru](mailto:stepanov@smartsolutions-123.ru)*

*Zhilyaev Alexey Alexeevich, post-graduate student of the Chair of Aircraft Designing.*

*E-mail: [zhilyaev@smartsolutions-123.ru](mailto:zhilyaev@smartsolutions-123.ru)*

Samara State Aerospace University

Ontology application principles for the solution of new class of problems of intelligent moving objects behavior management that can act both fully autonomously and as a group in the context of solving tasks of Earth remote sensing by a group of small-scale spacecrafts are considered in this paper. Ontology structure and ontology/scenes editor main functions are described. An ontological description of observed objects and target recognition rules and method of objects search satisfying the ontological description are suggested. Examples of the scenes, developed on basis of the ontology that corresponds with Earth remote sensing problems are given. Directions for further research and developments of the considered system are proposed.

*Keywords:* ontology, semantic network, ontology designer, scene, multi-agent technology, collective management.

### Введение

Задача реализации распределенных сетей мониторинга поверхности Земли с помощью группировок малоразмерных спутников в последнее время является особенно актуальной. Группировки нано и пико спутников, рассматриваемые в соответствии с концепцией «интеллекта роя» (swarm intelligence), могут быть многофункциональными и гибко конфигурируемыми под задачи, дешевыми в исполнении, надежными и живучими в самых различных ситуациях при наблюдении Земли (дистанционном зондировании), исследовании объектов в космосе, решении телекоммуникационных и разнообразных других задач [1–4].

Для управления группировкой малоразмерных космических аппаратов (МКА) предлагается парадигма распределенного динамического управления, когда задачи ставятся не только отдельным КА, но и всей группировке КА в целом [5]. Данный подход позволяет динамически перераспределять задачи внутри группировки путем переговоров между спутниками непосредственно в процессе выполнения этих задач, причем в такой системе могут возникать заранее незапланированные события, например, появление новой срочной задачи, выход из строя одного из аппаратов, вывод на орбиту нового аппарата и др.

Для исследования методов распределенного управления подвижными объектами в группировках МКА разработана интеллектуальная система (ИС) Smart Satellites, построенная на основе мультиагентных технологий и технологий представления знаний (онтологий) [6–12]. В статье описываются принципы применения онтологии для решения нового класса задач управления поведением интеллектуальных подвижных объектов, способных действовать как полностью автономно, так и коллективно, путем объединения в группы или команды («рои»). В качестве примера такой задачи рассмотрена область управления роем миниатюрных роботов-спутников, предназначенных для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Возможности динамического планирования на основе мультиагентных технологий и онтологий позволяют создавать самоорганизующиеся команды взаимодействующих интеллектуальных объектов, самостоятельно принимающих решения и способных их согласовывать и координировать.

## **1 Подход к управлению коллективом подвижных объектов на основе мультиагентной технологии и онтологии**

Согласно мультиагентному подходу к управлению коллективом подвижных объектов, множество работающих асинхронно (квазипараллельно) со-программ, представляющих собой «легких» агентов, используют онтологию для представления знаний предметной области и общую память объектов данных (сцену), отражающую текущую ситуацию во внешней среде, а также формируют сети связей в ходе прямых переговоров. Мультиагентный подход к управлению коллективом подвижных объектов основан на методе согласованного планирования, важным преимуществом которого является возможность адаптивного построения и исполнения планов, когда план не строится всякий раз заново при возникновении новых событий, как это делается в классических методах оптимизации, а только корректируется по мере появления событий в реальном времени.

В мультиагентной системе коллективного управления подвижными объектами вводятся специальные классы агентов задач, операций и ресурсов, действующих от лица и по поручению своих владельцев, которые способны выявлять конфликты и достигать компромиссов в порождаемых ими динамических сетях операций, формирующихся на основе соответствующих протоколов взаимодействия и проведения переговоров.

Для описания знаний, необходимых агентам, входящим в состав мультиагентной системы, используется онтологический подход, согласно которому знания должны быть отделены от программного кода системы и должны храниться в онтологии, представляющей собой сеть понятий и отношений предметной области.

Онтология – это формализованные концептуальные знания о предметной области, представленные в форме, допускающей компьютерную обработку и используемые при принятии решений [13]. Концептуальность знаний онтологии означает, что эти знания формулируются в терминах основных концептов (наиболее общих понятий и отношений), описывающих фрагменты окружающего мира. Формально онтология состоит из терминов, организованных в таксономию, их определений и атрибутов, а также связанных с ними аксиом и правил вывода [14].

Термин «онтология» используется как для обозначения базы знаний в целом, содержащей описание данных с помощью некоторой концептуальной схемы, так и для обозначения собственно концептуальной схемы, при этом оперативная информация, отражающая текущее

состояние объектов, специфицированных с помощью концептов и отношений, выделяется в так называемую «сцену».

В настоящее время для создания и поддержки онтологий существует целый ряд инструментов, которые помимо общих функций редактирования и просмотра выполняют поддержку документирования онтологий, импорт и экспорт онтологий разных форматов и языков, поддержку графического редактирования, управление библиотеками онтологий и т.д. К наиболее известным инструментам инженерии онтологий можно отнести следующие: Ontolingua, Protégé, OntoEdit, OilEd, WebOnto и другие [15].

Онтологии широко применяются для представления знаний в мультиагентных системах различного назначения [16, 17].

## **2 Интеллектуальная система управления группировкой спутников Smart Satellites для дистанционного зондирования Земли**

Интеллектуальная система управления группировкой малоразмерных космических аппаратов (ИС Smart Satellites) предназначена для решения задач ДЗЗ.

Области применения ДЗЗ включают обновление топографических карт, контроль состояния гидротехнических сооружений на каскадах водохранилищ, реальное местонахождение морских судов в той или иной акватории, отслеживание динамики и состояния вырубок леса, природоохранный мониторинг, оценку ущерба от лесных пожаров и их последствий, мониторинг разливов нефти и движения нефтяного пятна, контроль несанкционированного строительства, прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений и др. При этом для решения данных задач могут использоваться космические аппараты (КА), оснащенные различной аппаратурой, например, видимого, инфракрасного, радиационного спектра.

К задачам ДЗЗ относятся:

- слежение за неподвижной точечной целью в известном районе: пример – обнаружение горящего трубопровода;
- слежение за движущейся точечной целью: пример – поиск потерявшихся, слежение за вооружением противника;
- слежение за площадной целью: пример – слежение за изменением границ наводнений, пожаров;
- поиск объектов с заданными свойствами, местонахождение которых неизвестно, определение координат этих объектов.

Для решения задачи управления группировкой малоразмерных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в динамически изменяющихся условиях наиболее целесообразно использовать стратегию коллективного управления, в соответствии с которой космическая система ДЗЗ представляется как совокупность автономных интеллектуальных объектов, объединенных общей глобальной сетью и способных действовать как самостоятельно, так и в группе для достижения общей цели. Такой подход требует высокой автономности бортовых систем космических аппаратов, а также реализации принципиально новых методов и средств построения систем управления на основе мультиагентных технологий и онтологий.

Основываясь на методе согласованного планирования, промежуточные спутники (агенты) выполняют функции ретрансляции и доставки сигнала для других спутников к заданному месту решения задачи, а спутники, приближающиеся к зоне действий, динамически формируют команду, распределяют между собой поставленную задачу и решают ее по частям, в зависимости от своей позиции и возможностей, имеющегося на борту оборудования и других параметров.

В разработанной системе каждый спутник может действовать как полностью автономно, так и коллективно сообща решать задачи, которые каждый из них в отдельности решить не способен. Спутники могут в определенных условиях взаимодействовать напрямую или посредством специальных ретрансляторов, находящихся на геостационарных орбитах. Сигнал

наземного комплекса экспериментальной обработки, тестирования и сопровождения бортовых автономных систем ДЗЗ (центра обработки данных (ЦОДа)) оперативно распространяется по сети спутников к заданному месту решения задачи, а спутники, приближающиеся к зоне действий, динамически формируют команду, распределяют между собой поставленную задачу и решают ее по частям, в зависимости от своей позиции и возможностей, имеющегося на борту оборудования и т.п. При этом задачи и роли каждого объекта в группе не являются изначально жестко заданными с Земли, а определяются в распределенном взаимодействии динамически, в реальном времени, причем могут адаптивно изменяться при изменении ситуации. Например, один спутник просматривает часть зоны и просит досмотреть оставшуюся часть другие спутники, или первый спутник анализирует найденный объект в видимом диапазоне, и просит второй уточнить определенные свойства искомого объекта – в тепловом и т.д.

Такой подход позволяет команде подвижных объектов, исходя из текущей ситуации и на основе поставленных целей, оперативно реагировать на возникающие задачи и события, формировать и корректировать планы каждого участника, согласовывать между собой планы, контролировать их исполнение, проводить перепланирование в случае отклонения намеченного плана от реальности.

Пусть в ДЗЗ участвует группировка малоразмерных космических аппаратов, в состав которой входят спутники, способные производить распознавание наземных объектов видимого, инфракрасного и радиационного спектра. Для наблюдения закрытых облаками или расположенных на неосвещенной стороне Земли объектов ряд спутников снабжается аппаратурой радиолокационного наблюдения. Каждый МКА оснащён датчиками глобальных навигационных спутниковых систем для определения положения центра масс МКА в геоцентрической вращающейся системе координат, а также имеет устройства двусторонней связи с другими спутниками. Для обеспечения коммуникации между МКА при отсутствии взаимной прямой видимости используются спутники-ретрансляторы, находящиеся на геостационарной орбите (круговая орбита, расположенная в экваториальной плоскости, находясь на которой спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси). Взаимодействие с пользователем осуществляется через ЦОД, который передает группировке исходные данные о задачах и принимает результаты ее выполнения. ЦОД характеризуется географическими координатами: долготой и широтой.

Из ЦОДа задаются координаты квадрата, где расположен объект наблюдения (ОН) (например, точечный объект со сложными свойствами): центр квадрата, радиус, широта и долгота. Необходимо идентифицировать объект как относящийся к объектам видимого, инфракрасного или радиационного спектра, причем возможна комбинация спектральных характеристик.

В задаче динамического управления коллективом подвижных объектов применительно к системе ДЗЗ агенты сопоставлены наземному объекту зондирования, ЦОДу и космическим аппаратам или спутникам.

### 3 Применение онтологии для настройки агентов ИС Smart Satellites

#### 3.1 Структура онтологии

В ИС Smart Satellites для описания знаний, необходимых агентам, входящим в состав ИС, разработана **структура онтологии**, на основе которой описаны основные концепты и отношения предметной области (классы концептов организованы в иерархию на принципах наследования, концепт характеризуется свойствами (атрибутами)):

- концепт Базовый наземный объект – описывает основные характеристики объектов на Земле;
  - атрибуты: Вероятность появления на исследуемой территории, Размер, Диапазон частот, в которых объект виден, Величина сигнала (яркость, температура и другие характеристики),

- отношения: Является частью концепта Составной наземный объект, Долгота, Широта;
  - концепт Видимый наземный объект – наследует от концепта Базовый наземный объект, описывает основные характеристики объектов, заметных в видимом диапазоне частот;
    - атрибуты: Основной цвет.
- Примеры видимых наземных объектов: Водоем, Дом, Дорога, Дерево, Кустарник, Трубопровод и т.п. Концепты в онтологию можно добавлять по мере необходимости.
- концепт Инфракрасный наземный объект – наследует от концепта Базовый наземный объект, описывает основные характеристики объектов, заметных в инфракрасном диапазоне частот;
    - атрибуты: Температура;
  - концепт Радиационный наземный объект – наследует от концепта Базовый наземный объект, описывает основные характеристики объектов, излучающих радиацию;
    - атрибуты: Уровень радиации;
  - концепт Произвольный наземный объект – наследует от концепта Базовый наземный объект, описывает основные характеристики объектов, заметных в заданном диапазоне частот;
  - концепт Составной наземный объект – описывает основные характеристики объектов, состоящих из базовых наземных объектов, находящихся между собой в какой-либо семантической связи;
    - атрибуты: Вероятность появления на исследуемой территории;
    - отношения:
      - ЦЕНТР – Составной наземный объект имеет по центру все базовые наземные концепты из списка связи,
      - РЯДОМ – Составной наземный объект имеет рядом все базовые наземные концепты из списка связи,
      - НЕ – Составной наземный объект не имеет по центру все базовые наземные концепты из списка связи,
      - ИЛИ – Составной наземный объект имеет по центру хотя бы один базовый наземный концепт из списка связи,
      - РАНЬШЕ – Составной наземный объект имел раньше по центру все базовые наземные концепты из списка связи;
  - концепт Диапазон спектра длин волн – описывает длину волны;
    - атрибуты: Начальное значение длины волны, Конечное значение длины волны;
  - концепт Центр обработки данных – описывает основные характеристики ЦОДа;
    - атрибуты: Готовность к коммуникации, Зона возможной коммуникации;
    - отношения: ЦОД выдает задание на исследование территории спутникам, ЦОД принимает окончательные результаты исследования от спутников, ЦОД прерывает задание на исследование территории спутниками;
  - концепт Спутник – описывает основные характеристики спутников;
    - атрибуты: Система координат, в которой работает спутник (инерциальная, гринвичская, вращающаяся, орбитальная неподвижная), Телесный угол съемки, Телесный угол межспутниковой коммуникации, Угловая скорость поворота спутника вокруг собственной оси, Приборный состав системы управления космическим аппаратом, Параметры аппаратуры, Разрешение аппаратуры, Диапазон частот измеряемого сигнала, Дальность передаваемого сигнала;
    - отношения: Спутник движется по орбите, Спутник исследует регион поиска, Спутник имеет целью найти составной наземный объект, Спутник получает задание от ЦОДа, Спутник отправляет задание ЦОДу, Спутник является шефом, т.е. инициатором создания группы исследования цели, состоящей из других спутников, Спутник состоит в группе исследования цели, созданной другим спутником;

- концепт Орбита – описывает основные характеристики орбиты;
  - атрибуты: Наклонение, Аргумент перигея, Истинная аномалия, Долгота восходящего узла, Большая полуось, Эксцентриситет;
  - отношения: По орбите движется спутник;
- концепт Регион поиска – описывает основные характеристики региона поиска целевого объекта на Земле;
  - атрибуты: Радиус, Долгота центра, Широта центра;
  - отношения: Регион поиска содержит в себе множество базовых объектов на Земле, Регион поиска имеет облачность;
- концепт Облачность – описывает основные характеристики облачности;
  - атрибуты: Процент заполнения (сплошной покров или нет), Скорость движения, Долгота центра, Широта центра;
  - отношения: Облачность перекрывает регион поиска.

Концепты могут быть представлены в виде дерева наследования и в виде семантической сети (Рис. 1). К преимуществам семантических сетей следует отнести наглядность визуального представления информационных объектов, а также возможность объединять элементы сети в единое целое и, напротив, выделять отдельный участок большой сети для работы над конкретной задачей [18].

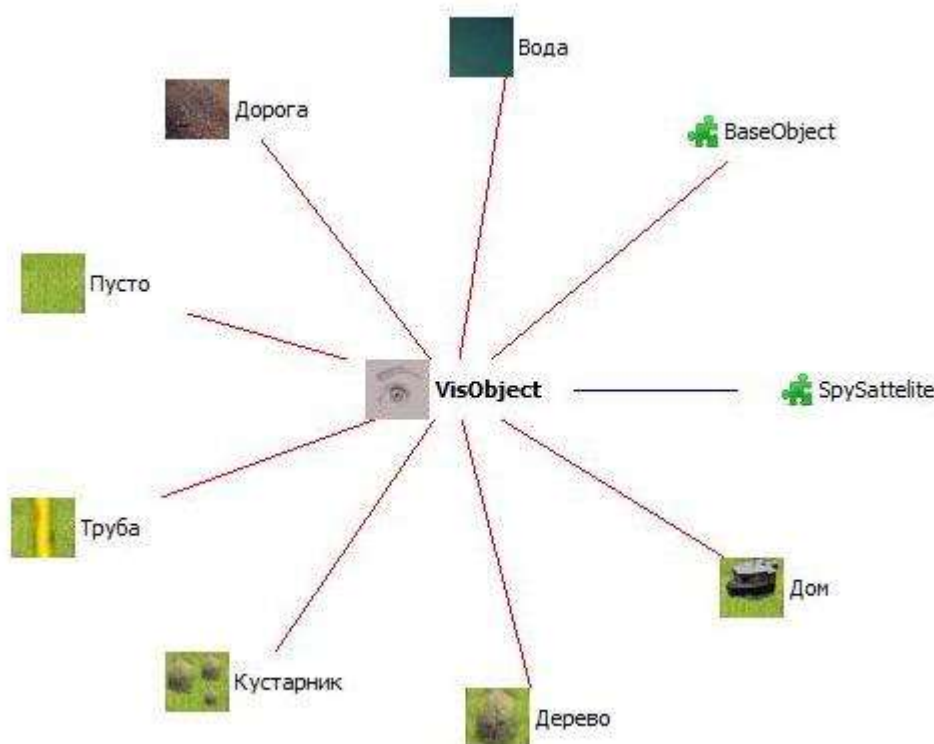


Рис. 1. Представление онтологии видимых объектов в виде семантической сети

### 3.2 Функции редактора онтологии

Конструирование онтологии и сцены осуществляется посредством редактора онтологии.

На рис. 2 показано окно редактора онтологии ИС. Онтология предназначена для описания знаний, используемых агентами при решении сложных задач управления группировкой подвижных объектов. В онтологии описываются основные составляющие системы слежения (объект, который должен быть обнаружен, регион слежения, центр обработки данных, спут-

ники, орбиты, по которым перемещаются спутники) в виде взаимосвязанных концептов, атрибутов, описывающие эти концепты, и основные взаимозависимости между концептами. Все эти знания используются агентами в процессе переговоров.

В левой части экрана представлена иерархия понятий предметной области в виде дерева концептов. Классы концептов организованы в иерархию на принципах наследования. Концепт характеризуется свойствами (атрибутами). В правой части экрана онтология представлена в виде семантической сети, где узлы отображают концепты, а ребра – отношения между концептами. Редактор онтологии выполняет следующие функции:

- добавление/удаление, редактирование концептов, атрибутов, отношений;
- добавление/удаление, редактирование правил распознавания целей, правил принятия решений о передаче управления и т.п.;
- навигацию по семантической сети онтологии с различным уровнем детализации представления;
- конструирование сцены по заданным параметрам: количество плоскостей орбит, радиус орбиты, количество космических аппаратов на одной плоскости орбиты, количество объектов наблюдения и т.д.;
- добавление/удаление, редактирование объектов сцены с заданными характеристиками;
- загрузка/сохранение онтологии и сцены.

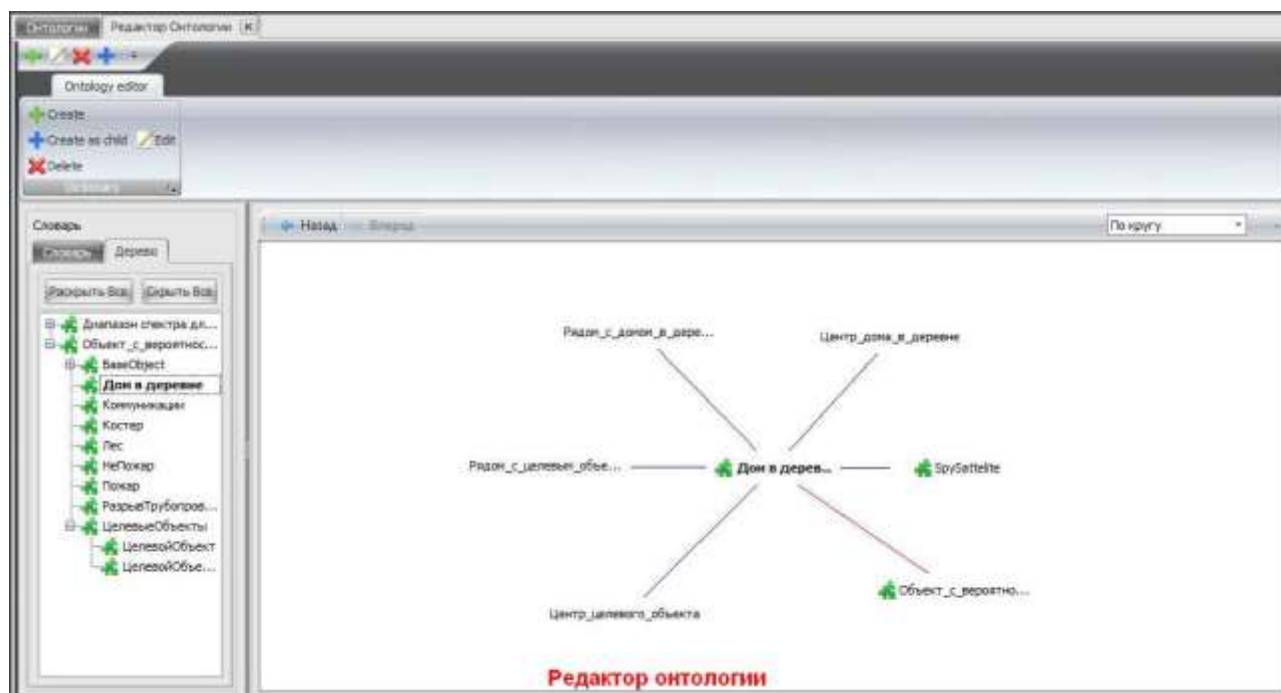


Рис. 2. Окно редактора онтологии ИС Smart Satellite

### 3.3 Онтологическое описание объектов наблюдения и правил распознавания цели

Описание искомого объекта передается из ЦОДа спутнику в виде дерева связей, где терминальные узлы (листья) представляют собой базовые концепты, нетерминальные узлы – составные концепты, а ребра – связи между ними. Дерево, в общем случае, может содержать концепты различных видов спектра. Составной концепт может конструироваться из базовых с помощью отношений «не», «или», «центр», «рядом», «раньше» и т. п.

Для того чтобы задать цель поиска, в онтологии необходимо определить концепт «Целевой объект» для объекта наблюдения. При этом в качестве концептов онтологии рассматриваются основные понятия предметной области, соответствующие распознаваемым объектам.

Для описания широкого спектра различных целей можно использовать следующие типы отношений между концептами:

- ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ – один концепт имеет в качестве свойства другой концепт,
- РЯДОМ – рядом с концептом находится концепт, имеющий в качестве свойства другой концепт.

Для описания концепта на основании ранее определенных концептов можно использовать следующие логические отношения:

- ИЛИ – достаточным для идентификации концепта является истинность одного из операндов. Например, концепт Растительность с отношением ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ (ИЛИ(Дерево, Куст)).
- НЕ – концепт идентифицируется при несоответствии объекта заданным свойствам. Например, имеется концепт Низкая температура, при этом концепт Высокая температура можно задать как НЕ(Низкая температура).
- РАНЬШЕ – поддерево онтологической связи будет проверяться не для текущей карты местности, а для предыдущей, сохраненной в памяти. Например, концепт Разрыв\_Трубопровода имеет свойства: НЕ\_Труба, РАНЬШЕ\_Труба.

С использованием суперпозиции, т.е. с помощью подстановки в качестве операнда отношения концепта, который сам связан с другими концептами отношением, можно получить онтологическое описание достаточно сложного объекта. Покажем, каким образом формируется онтологическое описание сложного объекта на примере описания концепта, задающего ЦЕЛЕВОЙ ОБЪЕКТ:

- Пусть имеется концепт Коммуникация, для которого задано отношение ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ.
- В качестве операнда используем логическое отношение ИЛИ(Труба, Дорога).
- Создадим еще один концепт – Деревня, который имеет отношения ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ(Дом), РЯДОМ(Дом, Дерево, Коммуникация).
- Опишем концепт Лес с отношениями ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ(ИЛИ(Дерево, Куст)), РЯДОМ(ИЛИ(Дерево, Куст)).
- Опишем концепт Разрыв\_Трубопровода с отношением ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ (НЕ(Труба)), РЯДОМ(Труба).
- Опишем концепт Костер с отношением ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ(Высокая температура, Низкая радиация).
- Опишем концепт Пожар с отношением ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ(Костер), РЯДОМ(Костер).
- Опишем финальный концепт ЦЕЛЕВОЙ ОБЪЕКТ, обозначающий цель поиска – разрыв трубопровода с пожаром, вблизи деревни или леса. Для этого объявим следующие отношения ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ(Разрыв\_Трубопровода, Пожар), РЯДОМ(ИЛИ(Деревня, Лес)).

Таким образом, при описании нового концепта с помощью принципа суперпозиции можно использовать не только базовые концепты, но и концепты, описанные ранее на основе базовых концептов.

Пример онтологического описания искомого объекта наблюдения в виде дерева представлен на Рис. 3.





Рис. 3. Онтологическое описание искомого объекта в виде дерева

### 3.4 Метод поиска объекта, удовлетворяющего онтологическому описанию

Согласно представленному на рисунке 3 описанию, искомым объектом является дом в деревне, дополнительно характеризующийся высокой температурой или уровнем радиации. Концепт Деревня определяется как группа домов, рядом с которыми находятся деревья, дорога или трубопровод.

Космический аппарат, получивший запрос на зондирование объекта наблюдения, выделяет из полного дерева поддереву, содержащее только те концепты, которые соответствуют его спектру видимости. В зависимости от типа МКА выделяются поддеревья онтологического описания объектов для трех типов спектра: видимого, инфракрасного, радиационного (Рис. 4). МКА проводит зондирование в соответствии со своим типом поддерева онтологического описания и, в случае положительного результата, отправляет космическим аппаратам запросы на зондирование в других спектрах, пересылая в описании задачи соответствующее поддерево.

Каждое поддерево онтологического описания объекта может быть исследовано космическим аппаратом соответствующего спектра видимости вне зависимости от космических аппаратов других спектров, кроме случаев, когда концепты различных типов спектра связаны отношением «ИЛИ» или «НЕ». Например, пусть концепт Опасность имеет свойства ИЛИ(Высокая температура, Радиация). Если МКА радиационного спектра провел исследование объекта наблюдения, но не определил наличие высокого уровня радиации, то данный факт не позволяет ему сделать вывод, что объект наблюдения не удовлетворяет онтологическому описанию, так как, возможно, объект имеет высокую температуру.

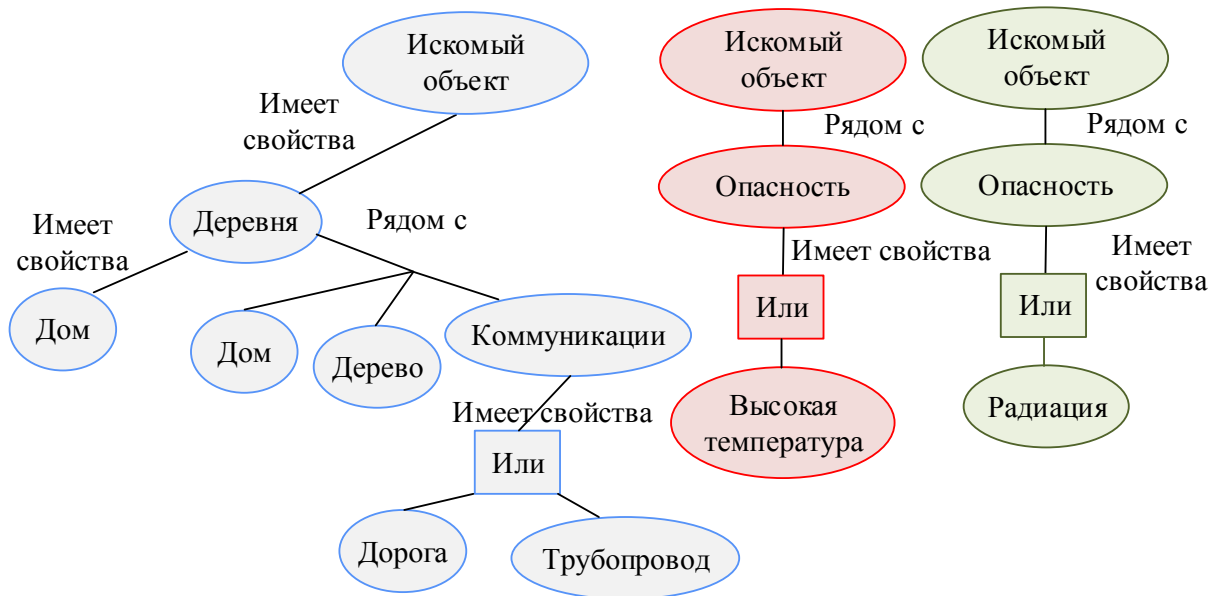


Рис. 4. Поддержка онтологического описания искомого объекта для трех типов спектра

Пусть спутник радиационного спектра провел исследование цели, но не обнаружил радиацию. Однако данный факт не позволяет ему сделать вывод, что цель не удовлетворяет онтологическому описанию, так как, возможно, объект имеет высокую температуру. Поэтому спутник радиационного спектра в качестве ответа спутнику-инициатору вместе с результатом исследования пересылает таблицу неопределенных узлов. Она представляет собой список номеров узлов поддерева онтологического описания, для которых возникла неопределенность. Каждому такому узлу ставится в соответствие список реальных физических координат объектов, для которых выполнялась проверка на соответствие данному узлу дерева онтологического описания, а также результат проверки.

Например, пусть требуется проверить на соответствие концепту «Искомый объект с высокой температурой или высокой радиацией» объекта, находящегося в квадрате с координатами (3,3) некоторой карты. При этом необходимо, чтобы в одном из квадратов (2,3), (3,2), (2,2), (4,4), (3,4), (4,3), (2,4), (4,2) находился объект, удовлетворяющий концепту «высокая температура» или концепту «высокая радиация». Спутник-инициатор исследования выдает соответствующие запросы на исследование спутнику радиационного спектра и спутнику инфракрасного спектра.

Если в результате проверки ни в одном из указанных квадратов радиация не обнаружена, спутник радиационного спектра формирует таблицу неопределенных квадратов, которую он пересылает спутнику-инициатору: (2,3)=0, (3,2)=0, (2,2)=0, (4,4)=0, (3,4)=0, (4,3)=0, (2,4)=0, (4,2)=0.

Спутник инфракрасного спектра обнаружил высокую температуру в квадрате (3,2) и пересылает спутнику-инициатору таблицу следующего вида: (2,3)=0, (3,2)=1, (2,2)=0, (4,4)=0, (3,4)=0, (4,3)=0, (2,4)=0, (4,2)=0.

Для разрешения неопределенности спутнику-инициатору достаточно, чтобы хотя бы в одной из таблиц в одном из квадратов было указано значение 1. В данном примере спутник-инициатор зафиксирует обнаружение объекта с высокой температурой в квадрате с координатами (3,3).

## 4 Примеры сцен, соответствующих задачам ДЗЗ

### 4.1 Обнаружение горящего объекта

Для демонстрации мультиагентного подхода на основе онтологии, используемого в ИС Smart Satellite, разработаны примеры сцен, соответствующим различным задачам ДЗЗ.

Рассмотрим задачу идентификации неподвижной точечной цели со сложными свойствами, например, горящего дома в деревне. Из ЦОДа задаются координаты квадрата, где расположена цель: центр квадрата, радиус, широта и долгота. Необходимо идентифицировать объект как относящийся к объектам видимого, инфракрасного или радиационного спектра, причем возможна комбинация спектральных характеристик. В онтологии определен следующий набор концептов:

- для видимого спектра – дерево, дом, отсутствие изображения;
- для инфракрасного спектра – высокая и низкая температура;
- для радиационного спектра – высокий и низкий уровень излучения.
- На базе этих концептов построим новые концепты:
- деревня – любой дом, имеющий рядом другие дома;
- лес – любое дерево, имеющее рядом другие деревья;
- костер – объект с высокой температурой и низкой радиацией.

В качестве целевого объекта выберем костер рядом с деревней и лесом (это может быть горящий дом). Онтология цели изображена на Рис. 5.

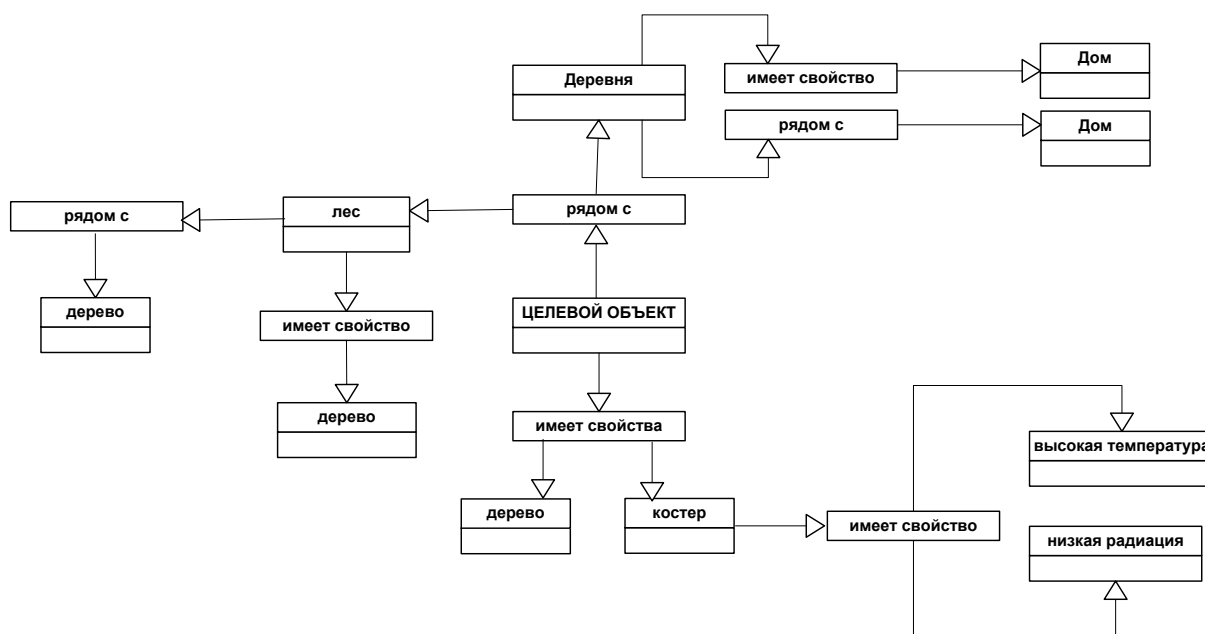


Рис. 5. Онтология цели: целевой объект – костер рядом с деревней и лесом

ЦОД выдает команду исследовать некоторый район на предмет обнаружения горящего дома в деревне.

Пусть первоначально ставится задача исследования в видимом спектре. Для постановки задачи исследования необходимо задать в онтологии отношение «Первичное изучение в → Видимый спектр» (Рис. 6).

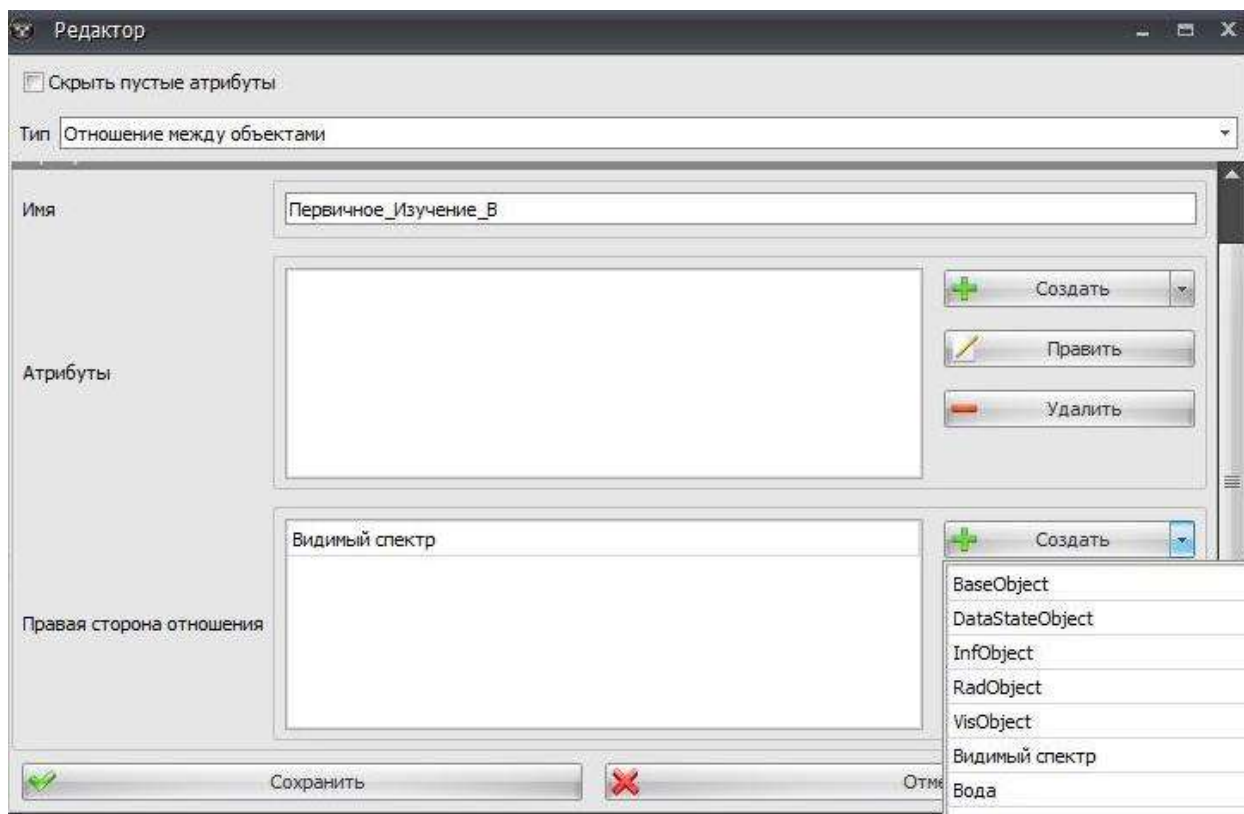


Рис. 6. Онтологическое описание постановки задачи исследования: начать поиск с видимого спектра

Спутник Sat31, имеющий аппаратуру наблюдения в видимом спектре, приступает к выполнению задания, последовательно проверяя квадрат за квадратом, и на определенном этапе поиска отправляет информационное сообщение: «Начинаю исследование квадрата (8,3)». В указанном квадрате спутник обнаружил в видимом спектре объект «Дом» (Рис. 7).

Сообщения				
	Сообщение	Отправитель	Получатель	Цель
▶	Начинаю исследования квадрата(8,3)	Sat31		TargetOnEarth1
	Исследование квадрата(8,3) в радиационном спектре не требуется	Sat31		TargetOnEarth1
	Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (8,3) в инфракрасном спектре.	Sat31	Все	TargetOnEarth1
	В квадрате (8,3) опасный объект не обнаружен в инфракрасном спектре.	Sat21	Sat31	TargetOnEarth1
	Квадрат(8,3) безопасен	Sat31	ЦОД	TargetOnEarth1
*				

Рис. 7. Лог переговоров агентов об исследовании в видимом спектре

Но, согласно онтологическому описанию, указанный квадрат необходимо исследовать еще на предмет обнаружения горящего объекта. Спутник Sat31 не имеет соответствующей аппаратуры и передает задание всем видимым ему спутникам, работающим в инфракрасном спектре: «Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (8,3) в инфракрасном спектре». Задание принимает спутник Sat21, который не обнаруживает повышенной температуры в квадрате (8,3), о чем передает сообщение спутнику Sat31: «В квадрате (8,3) опасный объект в инфракрасном спектре не обнаружен». Согласно онтологическому описанию, все необходимые исследования квадрата (8,3) выполнены, объект обнаружен, но он не горит. Спутник Sat31 отправляет в ЦОД сообщение: «Квадрат (8,3) безопасен».

В онтологии можно изменить цель исследования так, чтобы исследование начал спутник инфракрасного спектра. Изменим в онтологии цель исследования: инициатором является спутник инфракрасного спектра. Для постановки задачи исследования необходимо задать в

онтологии отношение «Первичное\_Изучение\_В» → Инфракрасный спектр» (аналогично Рис. 6). Спутник Sat19, имеющий аппаратуру наблюдения в инфракрасном спектре, приступает к выполнению задания, последовательно проверяя квадрат за квадратом, и на определенном этапе поиска отправляет информационное сообщение: «Начинаю исследование квадрата (5,6)». В указанном квадрате спутник обнаружил объект с повышенной температурой и отправил информационное сообщение: «Обнаружен опасный объект в инфракрасном спектре» (Рис. 8).

Сообщение	Отправитель	Получатель	Цель
Начинаю исследование квадрата(5,6)	Sat19		TargetOnEarth1
Обнаружен опасный объект в инфракрасном спектре!	Sat19		TargetOnEarth1
Исследование квадрата(5,6) в радиационном спектре не требуется.	Sat19		TargetOnEarth1
Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (5,6) в видимом спектре.	Sat19	Все	TargetOnEarth1
В квадрате (5,6) опасный объект обнаружен в видимом спектре.	Sat32	Sat19	TargetOnEarth1
В квадрате (5,6) опасный объект обнаружен в видимом спектре.	Sat3	Sat19	TargetOnEarth1
В квадрате (5,6) опасный объект обнаружен в видимом спектре.	Sat4	Sat19	TargetOnEarth1
Опасность в квадрате(5,6)	Sat19	ЦОД	TargetOnEarth1

Рис. 8. Лог переговоров агентов об исследовании в инфракрасном спектре

Согласно онтологическому описанию, необходимо исследовать, не дом ли горит в указанном квадрате. Спутник Sat19 не имеет соответствующей аппаратуры и передает задание всем видимым ему спутникам, работающим в видимом спектре: «Все, кто свободен, проведите исследование квадрата (5,6) в видимом спектре». Задание принимают спутники Sat32, Sat3 и Sat4, которые обнаруживают дом в квадрате (5,6), о чем передают сообщения спутнику Sat19: «В квадрате (5,6) опасный объект обнаружен в видимом спектре».

Согласно онтологическому описанию, все необходимые исследования квадрата (5,6) выполнены, обнаружен горящий дом. Спутник Sat19 отправляет в ЦОД сообщение: «Опасность в квадрате (5,6)».

#### 4.2. Обнаружение разрыва трубопровода

ЦОД поставил цель исследования – поиск разрыва трубопровода. Онтология цели, представленная в виде семантической сети, показана на Рис. 9.

В процессе наблюдения состояние объекта поиска должно измениться с неповрежденного на поврежденное. Для этого необходимо задать два онтологических описания. На Рис. 9 представлен составной концепт «Раньше\_Центр разрыва трубопровода». Одним из концептов, входящих в его состав, является концепт «Труба», что означает неповрежденный трубопровод.



Рис. 9. Составной концепт «Разрыв трубопровода» до разрыва

На Рис. 10 представлен составной концепт «Центр разрыва трубопровода». Одним из концептов, входящих в его состав, является концепт «Пусто», что означает поврежденный трубопровод.

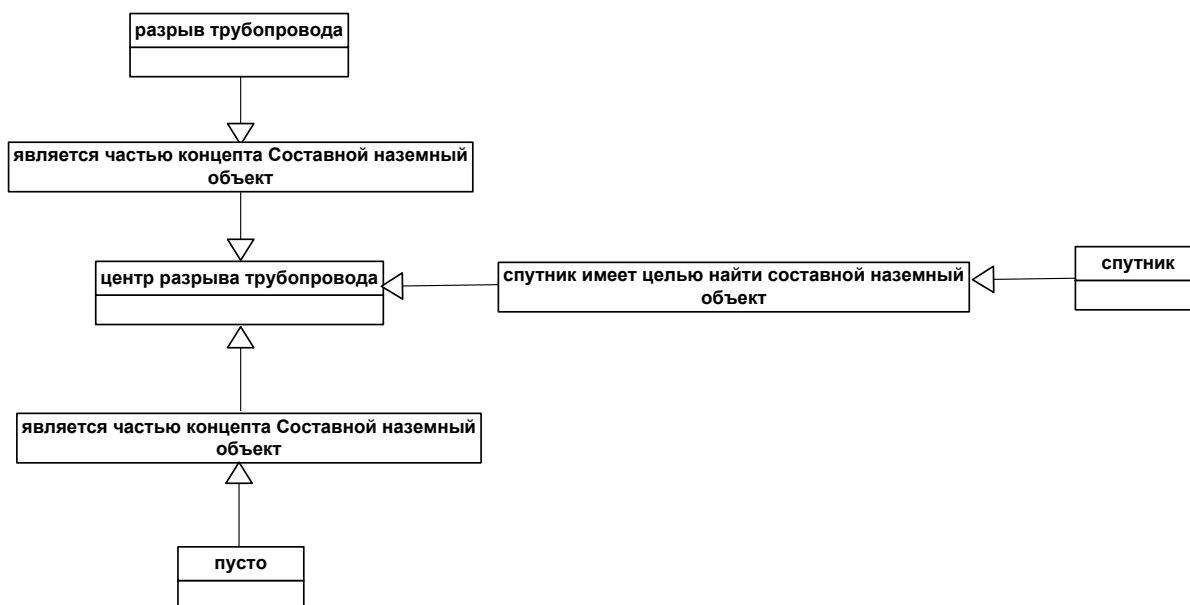


Рис. 10. Составной концепт «Разрыв трубопровода» после разрыва

Спутник Sat31, имеющий аппаратуру наблюдения в видимом спектре, приступает к выполнению задания, последовательно проверяя квадрат за квадратом, и на определенном этапе поиска отправляет информационное сообщение: «Начинаю исследование квадрата (9,1)». Спутник использует два онтологических описания, соответствующих поврежденному и неповрежденному трубопроводу. Если в течение интервала времени слежения спутник вначале обнаружил видимый объект, отвечающий первому онтологическому описанию, а затем – второму, целевой объект поиска найден. В указанном квадрате спутник обнаружил объект с изменившимся состоянием и отправил информационное сообщение: «Опасность в квадрате (9,1)».

## Заключение

В рассматриваемом подходе задачи ДЗЗ могут решаться путем создания самоорганизующейся команды интеллектуальных агентов спутников, способных как индивидуально планировать свое поведение в реальном времени, так и коллективно работать в группе, обеспечивая согласованность принимаемых решений на основе онтологии, что обеспечивает качественно новые возможности и преимущества коллективного взаимодействия в группировке спутников: сложность, оперативность, гибкость, эффективность, надежность и живучесть.

Преимущества использования онтологий:

- возможность добавления новых знаний в процессе работы;
- проверка и контроль вводимых знаний;
- анализ сценариев с точки зрения логики построения системы;
- интеграция знаний разных пользователей;
- способность работы с большим объемом данных;
- возможность настройки логики принятия решения агентами мультиагентной системы коллективного управления подвижными объектами.

Дальнейшие пути развития ИС Smart Satellites:

- Разработка системы управления сетью спутников и наземных станций слежения. Задача системы – спланировать эффективный сброс данных со спутников в сети так, чтобы он произошел в требуемое время и с минимальной задержкой от момента заполнения памяти спутника. Такая система будет отличаться высокой масштабируемостью и возможностью оперативного реагирования на возникающие события. Динамическое поддержание расписания в процессе переговоров агентов спутников, работ и ресурсов позволит учитывать меняющиеся внешние условия, связанные с изменением условий передачи данных, параметров орбиты, отказом оборудования спутников, перегрузкой каналов связи и другие.
- Создание орбитальной группировки (космический патруль) для отслеживания малых тел в Солнечной системе. Раннее обнаружение малых тел в околоземном пространстве имеет решающее значение для более эффективной защиты густонаселенных районов Земли от поражения. Наземные средства обнаружения ограничены атмосферными условиями. Создание околоземной группировки малых спутников способно повысить эффективность наземных систем слежения и обеспечить круглосуточное наблюдение за окрестностями Земли.

### Список источников

1. QB50, an FP7 European Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qb50.eu/>
2. De Florio, S. Performances Optimization of Remote Sensing Satellite Constellations: a Heuristic Method / S. De Florio // Proc. of 5th International Workshop on Planning and Scheduling for Space (IW PSS 2006), October 22–25, 2006. – Space Telescope Science Institute Baltimore, USA.
3. 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.
4. Макриденко, Л.А. Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов / Л.А. Макриденко, С.Н. Волков, В.П. Ходненко, С.А. Золотой // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. – 2010. – №1. – С.15-26.
5. Каляев, И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.
6. Скобелев, П.О. Решение задач дистанционного зондирования Земли с применением мультиагентных технологий / П.О. Скобелев, А.В. Соллогуб, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.В. Царев // Вестник СамГТУ, серия «Технические науки», №7(28), 2010. – С. 47-54.
7. Соллогуб, А. В. Применение мультиагентной системы коллективного управления группировкой малоразмерных космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли / А.В. Соллогуб, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов // Материалы международной научно-практической конференции «Управление большими системами-2011». – Т.3. М., 2011. – С. 259-262.
8. Соллогуб, А. В. Модели сетцентрических задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли / А.В. Соллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, М.Е. Степанов // Информационно-управляющие системы. – №1(56), 2012. – С. 34-38.
9. Соллогуб, А. В. Проблемы автономного согласованного межспутникового взаимодействия в гетерогенных мультиагентных системах МКА ДЗЗ / А.В. Соллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, М.Е. Степанов // Мехатроника, автоматизация, управление. –№4, 2012. – С. 65–70.
10. Соллогуб, А. В. Оценка эффективности кластера малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / А.В. Соллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова,

- М.Е. Степанов, А.В. Царев, А.А. Жилиев // Информационно-управляющие системы. – №5(60), 2012. – С. 24-28.
11. Соллогуб, А. В. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли / А.В. Соллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, М.Е. Степанов, А.А. Жилиев // Информационно-управляющие системы. – 2013, №1(62). – С. 16-26.
  12. Соллогуб, А. В. Мультиагентные технологии распределенного управления группировкой малоразмерных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / А.В. Соллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, М.Е. Степанов, А.А. Жилиев // Информационное общество. – 2013. №1-2. – С. 58–68.
  13. Gruber, T. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases / T. Gruber // Proc. of the 2nd Intern. Conf. On Principles of Knowledge Representation and Reasoning. – 1991. – P. 601-602.
  14. Константинова, Н.С. Онтологии как системы хранения знаний [Электронный ресурс] / Н.С. Константинова, О.А. Митрофанова // Санкт-Петербургский государственный университет, 2008. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/795/58795>
  15. Овдей, О.М. Обзор инструментов инженерии онтологий [Электронный ресурс] / О.М. Овдей, Г.Ю. Проскудина // Электронные библиотеки. – Том 7, выпуск 4, 2004. Режим доступа: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>
  16. Скобелев, П.О. Онтология деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2012, № 1(3). – С. 6-38
  17. Скобелев, П.О. Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2013, №2(8). – С. 26-48.
  18. Wojtinek, P.-R. [Электронный ресурс] Conceptual Knowledge Acquisition Using Automatically Generated Large-Scale Semantic Networks / P.-R. Wojtinek, B. Harrington, S. Rudolph, S. Pulman // Oxford University Computing Laboratory. – 2010. – Режим доступа: <http://www.cs.ox.ac.uk/files/2998/RR-10-04.pdf>

Published: П.О.Скобелев, Е.В.Симонова, М.Е.Степанов, А.А.Жилиев. Применение онтологии в интеллектуальной системе распределенного управления группировкой малоразмерных космических аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. Том 17, №2(5). – С. 1119-1130.