

**Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Институт Машиностроения, Материалов и Транспорта**

На правах рукописи

Куличенко Артём Дмитриевич

**Разработка алгоритмов самоорганизации гетерогенной группы роботов
для работы в радиационных полях**

Направление подготовки 15.06.01 «Машиностроение»

Код и наименование

Направленность 15.06.01 03 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы:
Артём Дмитриевич Куличенко
Научный руководитель: д.т.н.,
заведующий кафедры «Автоматы»
Андрей Николаевич Волков

Санкт Петербург – 2021

Научно-квалификационная работа выполнена в ВШ/на кафедре Института Металлургии Машиностроения и транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Директор ВШ/зав. кафедрой:

д.т.н., заведующий кафедры
«Автоматы», Волков А.Н.

Научный руководитель:

д.т.н., заведующий кафедры
«Автоматы», Волков А.Н.

Рецензент:

к.т.н., руководитель продаж в
Европейской части РФ ООО
«ФЕСТО-РФ», Знаменский И.С.

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В результате произошедших техногенных катастроф появилась потребность в создании и усовершенствовании роботизированных систем, позволяющих выполнять операции в экстремальных условиях в автоматическом или в супервизорном режимах. Изучение природы ионизирующего излучения позволило создать ряд детекторов для работы в широком диапазоне излучения, разработать принципы проектирования для работы в радиационных полях, разрабатывать ЭРИ и материалы устойчивые к специальным рецептурам. Нужно отметить, что пока не решены проблемы связанные с большим количеством отказов и быстрой деградацией составных частей технических средств, находящихся в радиационном поле.

Однако, учитывая специфику рабочей зоны (аварийные объекты, разрушенные здания, предприятия использующие источники ионизирующего излучения и др.) в которой необходимо найти, локализовать и изъять источники ионизирующего излучения, пребывание технических средств и операторов в зараженной зоне может быть длительным. Это ведет к уменьшению ресурса и срока службы робототехнических средств, уменьшает периодичность ТО, увеличивает стоимость единичных образцов, увеличивает негативное влияние на операторов. Вероятность выполнения задачи одним роботом не достигает своего максимума при некоторых условиях.

Учитывая известные преимущества от применения групп роботов считаю очевидным применение групповой робототехники. Для безусловного выполнения поставленных задач и сокращения времени нахождения в зоне радиационного заражения необходима организация группового взаимодействия и самоорганизации внутри группы.

Цель и задачи исследования

Цель: Разработка методов самоорганизации гибридной группы роботов (ГГР) для работы в радиационных полях в автоматическом режиме.

Задачи:

- Проведение аналитического обзора существующих решений
- Анализ и оптимизация выбранного состава гетерогенной группы
- Организация взаимодействия, согласованного управления группы
- Разработка модели объекта и среды
- Разработка формального языка взаимодействия
- Разработка и оптимизация алгоритмов и модулей системы

Научная новизна

Самоорганизация групп роботов ведет к увеличению эффективности. На сегодняшний день не существует самоорганизующихся гетерогенных групп роботов для работы например в радиационных полях.

Теоретическая и практическая значимость

Предлагаемый подход к построению взаимодействия и принятию решений объектами интеллектуального пространства весьма унифицированный. Полученные результаты работы могут быть применены для разработки

алгоритмов внутригруппового взаимодействия робототехнических средств, предназначенных для разнородных, мультидисциплинарных задач.

Апробация работы

2nd International Conference Cyber-Physical Systems and Control CPS&C'2021. St. Petersburg, Russia 29 June — 2 July 2021: Kulichenko A. D., Skripnichenko N.A., Polovko S.A., Smirnova E.Yu. Discrete event-based behavior model for group of ground-based mobile robots control to search and eliminate ionizing radiation sources.

5th International Conference «Arctic. History and Modernity». St. Petersburg, Russia, 2020: A D Kulichenko, S A Polovko, E Yu Smirnova, P K Shubin, V N Ulanov. Ontology for group of rescuing robots.

XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. г. Железногорск, 14 декабря 2019 г. В.М.Битный-Шляхто, С.А.Половко, А.Д. Куличенко, Н.А.Скрипниченко, Е.Ю. Смирнова. Организация взаимодействия специальных роботов на базе критерия осведомленности.

Грант РФФИ № 19-38-90327\19.

Публикации

Научно-технический журнал «Робототехника и техническая кибернетика» № 3(20)/2018. И.А. Васильев, А.Д. Куличенко. Алгоритмы подготовки группировки спасательных роботов для спасения людей, терпящих бедствие в морских условиях.

Представление научного доклада: основные положения

В настоящее время повышение эффективности использования группы роботов достигается путём применения гибридных групп. Зона работ гибридной группы может достигать десятков километров за счет формирования мобильной сети воздушных/наземных/надводных ретрансляторов или подводных гидроакустических маяков при выполнении работ под водой. Применение гибридной группы позволяет получить максимально полную и достоверную интегральную информацию об обстановке, поскольку гибридная группа роботов реализует принцип мультимодальной сенсорики, когда информация формируется принципиально разными способами с последующим её комплексированием. В том числе, становится возможным создание реалистичных интегральных многомерных цифровых моделей наземной, надводной и подводной обстановки.

В то же время, результаты практического применения технологий группового управления показывают, что многие решения ориентированы на функционирование группы роботов в идеализированной или хорошо детерминированной среде и не работают в условиях многообразия и высокой скорости изменения данных. Эта проблема обостряется для гибридных групп автономных роботов, поскольку увеличивается не только объем анализируемых данных, но и многообразие поведенческих реакций группы при невозможности вмешательства со стороны человека-оператора.

Отсутствие общей методологии решения задач, возникающих при групповом управлении разнородными автономными роботами в реальной, заранее неизвестной и динамически изменяющейся среде, существенно ограничивает их реальное применение. Это является сдерживающим фактором роботизации таких экономически значимых отраслей, как строительство, добыча ископаемых, геологоразведка, освоение труднодоступных регионов (шельф, Крайний Север, Арктика).

Цель настоящей работы исследовать и разработать методы создания онтологий, которые могут быть положены в основу автоматического формирования сценариев поведения группы роботов, функционирующих в слабо структурированной, динамически изменяющейся среде.

В рамках предыдущих работ была выявлена необходимость разработки общей методологии управления специальными мобильными роботами, предназначенными для работы в условиях неполной, противоречивой, неточной, нечёткой входной информации. Таких роботов можно считать когнитивными агентами, действующими с учётом динамической модели внешней среды. В настоящее время для диалогового управления когнитивным агентом используются общие онтологии, обеспечивающие эффективную коммуникацию человека и робота. При этом для когнитивного робота выбор решений, предсказание его состояний и состояний внешней среды выполняются с помощью знаний, которые формируются в результате обобщения поведенческого опыта в динамической среде.

Аналогичные подходы могут быть применены для организации взаимодействия членов гибридной группы роботов, имеющих поведенческие модели, путём формирования онтологий для организации семантической сети взаимодействия. Этот подход даст возможность синтезировать эффективные вычислительные алгоритмы решения задачи группового управления в условиях пространственно-ситуационной неопределенности как за счёт объединения декларативных и процедурных знаний в модель поведения отдельного робота, так и за счёт интеграции знаний в группе с получением модели группового поведения.

В данной НИР планируется, таким образом, обобщить накопленный опыт и создать методические основы для единого подхода к синтезу оптимального управления группой специальных роботов высокой степени автономности

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Интеллектуальным приложением (от англ, smart application) принято называть распределенную систему, обеспечивающую адаптируемого, проактивные (упреждающие) и персонализированные решения различных задач. Широко распространенные интеллектуальные информационные системы функционируют на доступных вычислительных устройствах, окружающих пользователей, выполняют мониторинг состояния физического и информационного миров из окружения человека, распределяют необходимую информацию между устройствами пользователей и

контролируют выполнение задач в соответствии с приоритетами текущей ситуации. Естественным образом появилась концепция «повсеместных вычислений», реализующихся микро-вычислителях, встроенных в бытовую, медицинскую, автомобильную и другую технику. Следующим шагом стало объединение разнообразных вычислительных устройств, сервисов и программных приложений в глобальную сеть, названную Интернет вещей (Internet of Things, IoT).

В области создания интеллектуальных информационных систем к настоящему времени реализовано огромное количество алгоритмических и программных решений, можно сказать, что их использование стало повседневной практикой. Покажем, что наработки в этой области можно применить и для решения задачи организации работы группы специальных роботов. При этом используются централизованная или децентрализованная стратегии группового управления. Централизованные стратегии группового управления основаны на строгой иерархии управления, в которой основную роль играет центральный компьютер. Это обуславливает усложнение и перегрузку каналов связи, приводит к большому запаздыванию в управлении и уменьшению надежности робототехнических систем, так как отказ центрального компьютера выводит из строя систему в целом.

Децентрализованные стратегии группового управления, основанные на локальной обработке информации, автономном управлении каждым роботом и «горизонтальными» связями внутри системы, используются для увеличения надежности, быстродействия, эффективности и адаптивности робототехнических систем. Однако при возникновении отказов и конфликтных ситуаций, требуется координация всех локальных стратегий управления роботами.

Результаты сравнительного анализа различных стратегий группового управления приведены на рисунке 1.

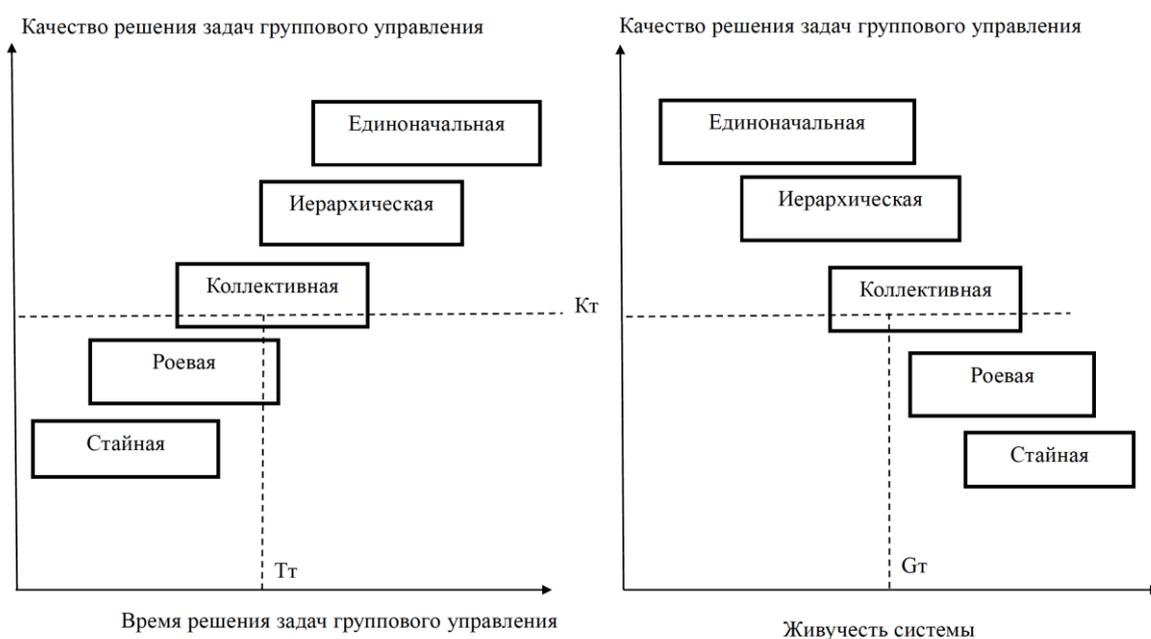


Рисунок 1 – Сравнение различных стратегий группового управления

С точки зрения организации работы группы специальных роботов, все показанные на рисунке стратегии имеют существенные недостатки. Здесь критичными являются противоречивые требования: высокое качество управления при выполнении сложных функций (выше при большей централизации) в сочетании с высокой живучестью системы (выше при увеличении степени децентрализации). Кроме того, плохо известна генеральная модель среды, локальные представления которой играют определяющую роль в формировании децентрализованных алгоритмов управления. Преимущество централизованного подхода в обеспечении качества управления в решаемой задаче может быть реализовано путем создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИС1111Р) на уровне центра (центров) управления. При этом группа или любая её подгруппа будет представлять собой мультиагентную систему, а каждый робот будет являться интеллектуальным агентом, способным воспринимать состояние окружающей среды, вырабатывать решение и взаимодействовать с другими агентами. Аналогичные подходы развиваются в сфере информационных систем. Существующие передовые информационные технологии ориентированы на решение трудно формализуемых задач управления в системах, характеризующимися динамичностью, сложностью компонентов, значительными объемами потоков разноплановой информации и высокими требованиями к времени её обработки.

В условиях недостаточной количественной информации о модели среды функционирования и модели взаимодействия роботов со средой ИСППР обеспечит качественный анализ ситуации. Это будет достигнуто за счет так называемого когнитивного подхода к анализу слабоструктурированных данных, основанного на моделировании субъективных экспертных представлений ситуации в виде концептуальных моделей. Пример открытой архитектуры когнитивного агента информационной системы приведен (см. рисунок 2).

Отличие использования этой методики в рассматриваемой задаче заключается в том, что для обеспечения централизации пользователь-потребитель результатов замещается когнитивным агентом-супервизором, контролирующим формирование моделей, интегрирующим базы знаний и проводящим настройку имитационного аппарата на агентах-исполнителях. Уровень интеллектуального интерфейса при этом будет отвечать за передачу в центр и из центра мета-данных в терминах модели формирования цели и оценки ситуации. Заменяемые структурные блоки на рисунке показаны красным.

Следует подчеркнуть, что архитектура агентов - членов группы идентична архитектуре когнитивного агента-супервизора. Разница между ними заключается в уровне детализации той или модели. Агенту лучше известны модели собственного поведения, а его исполнительная подсистема является по существу системой управления движением. Супервизор имеет

дело с более высоким уровнем обобщения и оперирует комплексными понятиями. Эта двухуровневость должна быть отражена и в используемых онтологиях, контекстных моделях и т.д., что будет подробнее рассмотрено ниже.

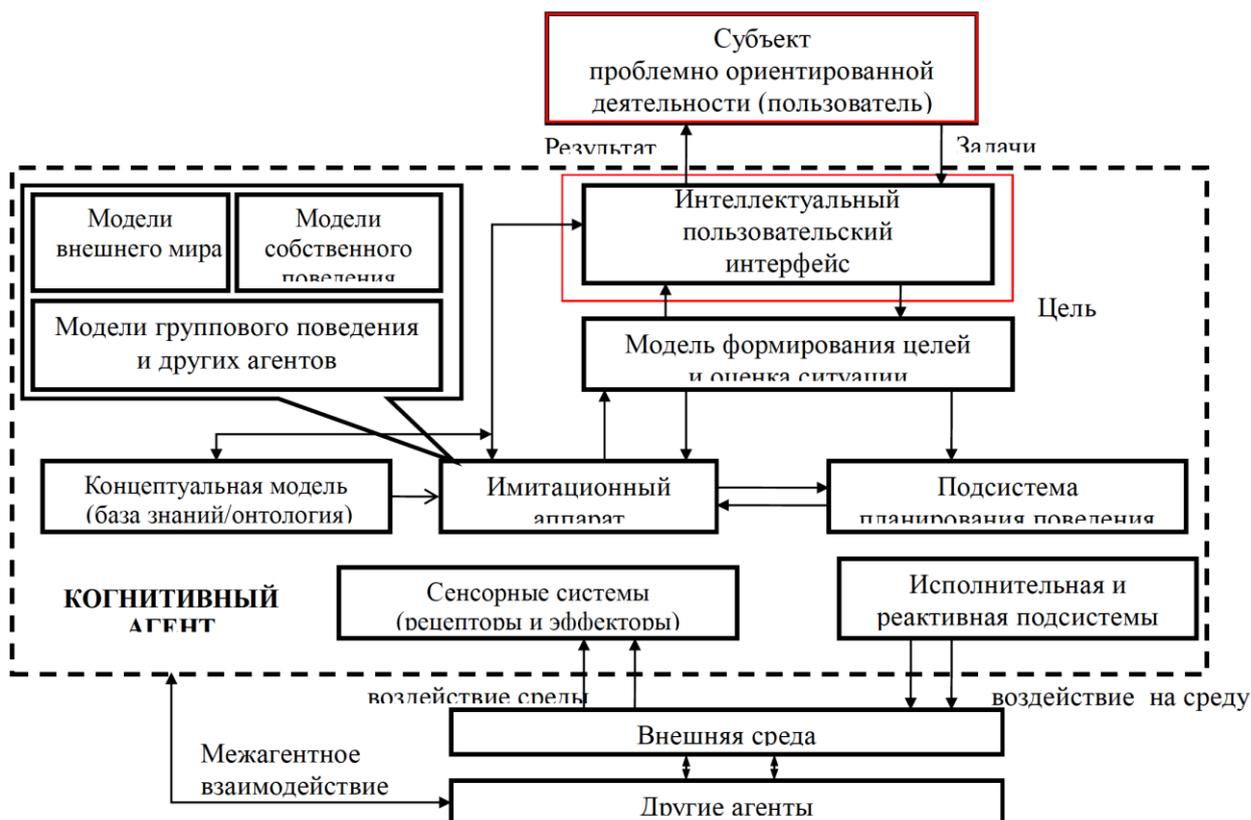


Рисунок 2 – Пример открытой архитектуры когнитивного агента информационной системы

Интерес с точки зрения поиска новых и перспективных решений одной из задач настоящего исследования - самоорганизации в группе роботов - представляют так называемые рекомендующие интеллектуальные информационные системы. Рекомендующие системы — это класс систем поддержки принятия решений, предназначенных для облегчения процесса выбора из большого множества вариантов. Рекомендующая система, таким образом, нацелена на обобщение и формализацию процесса субъективного выбора, то есть выбора в сложной и плохо формализуемой обстановке. Известным способом принятия решений интеллектуальной системой является использование методов экспертных систем. Экспертные системы решают задачу поиска объективно правильного решение задачи в относительно стабильных условиях, например, при проведении технической диагностики. Перспективные задачи группы специальных роботов могут выполняться в быстро меняющейся ситуации и содержать плохо формализуемые условия, например, такие как состояние спасаемых для роботов-спасателей. Поэтому, несмотря на огромную разницу в понятии «субъективный выбор» для человека и для робота, стоит обратить внимание

на возможность использовать подходы рекомендующих систем в каких-то случаях. Например, для многофункционального робота субъективный выбор будет обучающим выбором опытного человека-оператора в таких задачах, как разбор завала посредством манипулятора при выполнении аварийно-спасательных работ, оказание помощи пострадавшему.

Приведём краткую классификацию рекомендующих систем. Основным критерием классификации рекомендующих систем авторы предлагают считать вид информации, используемой для формирования рекомендаций. В соответствии с этим критерием выделяют 6 классов рекомендующих систем, которые мы перечислим в порядке возрастания сложности.

Демографические (demographic). Системы этого класса при формировании рекомендаций основываются на демографической информации о пользователе (возраст, пол). Данный класс рекомендующих систем очевидно ориентирован на пользователя-человека.

Коллаборативной фильтрации (collaborative filtering). Это наиболее распространенный класс рекомендующих систем. Формирование рекомендаций основывается на оценках, присваиваемых пользователями объектам. Данный класс рекомендующих систем очевидно ориентирован на пользователя-человека.

Социальные (community-based). В системах этого класса основной информацией является информация о явных отношениях между пользователями. Данный класс рекомендующих систем очевидно ориентирован на пользователя-человека.

Контентные (content-based). В основе таких рекомендующих систем лежит формализованное представление объектов и алгоритм сравнения (определения степени близости) объектов. Система будет рекомендовать такие объекты, которые обладают значительным сходством с объектами, высоко оцененными ранее. В нашей задаче в качестве объекта выбора может рассматриваться фрейм поведения робота или группы в целом.

Основанные на знаниях (knowledge-based). В основе рекомендующих систем этого класса лежит специальным образом представленная совокупность знаний об области применения системы, в которой явным образом указано, как те или иные характеристики объектов сочетаются с различными свойствами и задачами. По используемым методам этот класс рекомендующих систем близок к экспертным системам. Основными алгоритмическими подходами здесь являются: вывод на основе прецедентов (case-based reasoning) и удовлетворение ограничений.

Важным для данной НИР понятием из области интеллектуальных информационных систем является также модель общего пространства. Указанная модель определяет хранение и разделяемое использование информационного содержимого в общем пространстве кортежей.

Исходная модель была предложена для задач параллельного и распределенного программирования. В соответствии с ней, параллельные процессы взаимодействуют путем публикации и поиска упорядоченных списков, которые могут хранить как собственно данные, так и информацию о

выполняемых процессах. Ключевым свойством общего пространства является интероперабельность, то есть способность информационных систем или их компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена. В настоящее время интероперабельность позиционируется, как главное направление интеграции и эксплуатации беспилотных систем разного назначения. Обеспечение взаимодействия различных изделий на «верхнем уровне» позволяет упростить обслуживание и модернизацию роботов, облегчить интеграцию новых изделий в единую информационную сеть и в тактические Сети. Соответствующие требования определены в ГОСТ Р 55062-2012 Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения, включая следующие:

- 1) техническая интероперабельность при взаимодействии членов группы: унификация на уровне интерфейсов, протоколов взаимодействия и инфраструктуры, необходимой для функционирования этих протоколов,
- 2) синтаксическая интероперабельность при взаимодействии членов группы: унификация форматов передачи данных,
- 3) семантическая интероперабельность при взаимодействии членов группы: понимание смысла получаемой информации на базе единства онтологий предметной области. Семантическая интероперабельность агентов совместное выполнение технологических операций в реальной, плохо детерминированной обстановке.

Выполнение этих требований обеспечивает возможность объединения в группу РТС и других компонентов, создаваемых в разное время разными разработчиками.

Современная модель общего пространства воплощена в идее глобальной семантической сети Semantic Web. Это сеть, в которой передаваемая и сохраняемая информация с одной стороны допускает автоматизированную обработку, с другой стороны, является не просто структурированной НО осмысленной. Язык семантической сети позволяет описывать как данные, так и правила рассуждений об этих данных. Это дает возможность передавать по сети правила вывода для проведения рассуждений, методы выбора тактик выполнения операций и т.п. Смысл здесь выражается посредством языка RDF, который кодирует его с помощью множества триплетов типа субъект («подлежащее» описываемый предмет) - предикат («сказуемое», свойство предмета) - объект (значение свойства). Иными словами, триплет представляет собой элементарное предложение типа: Робот (субъект) изготовлен в (предикат), Пожар (субъект) начался в (предикат) 16:00 (объект).

В модели пространства триплетов данные структурируются в виде RDF- графа, и становится возможным использовать пространство как базу знаний: представлять знания некоторой предметной области на основе онтологических моделей, обеспечивать возможность поиска имеющихся знаний и логического вывода новых знаний. Такая модель позволяет

информационным объектам генерировать новые знания как реакцию на факты, опубликованные другими информационными объектами.

В целом модель общего семантического пространства предоставляет способ асинхронного взаимодействия распределенных участников на основе общей базы знаний, что делает её востребованной в задаче организации взаимодействия интеллектуальных роботов.

При создании интеллектуальных пространств, с помощью которых можно выполнять комплексный анализ текущей ситуации, используются следующие базовые технологии:

1) Представление данных с учетом контекста. Данные поступают из различных источников в разнородных форматах, и не могут быть использованы приложениями без учета контекста. Следовательно, интероперабельное интеллектуальное пространство требует такого способа явного представления данных в контексте, чтобы приложения могли их правильно интерпретировать.

2) Контекстный запрос. Интеллектуальное пространство поддерживает множество контекстов, и приложениям может потребоваться выборочный доступ к их подмножеству. Следовательно, интеллектуальное пространство отвечает на контекстно - ориентированные запросы. Например: когда закончится заряд батарей робота, который находится ближе всего к цели?

3) Контекстные рассуждения. Контексты высокого уровня (что делает член группы роботов? Что происходит в рабочей зоне?) формируют комплексные описания состояний узлов пространства, окружающей среды и ситуации в целом. При этом используются данные сенсоров, в которых непосредственно эта информация не содержится. В этой области наиболее интересной с точки зрения данной НИР является задача создания такой модели интеллектуального пространства, в которой информационные узлы могут передавать друг другу и интерпретировать контексты, организованные на базе формально описанных структур. Именно это дало бы возможность независимо разработанным роботам общаться друг с другом без переработки их программного обеспечения, с использованием понятных контекстных запросов и гибких контекстных рассуждений. Для решения этой проблемы предложено может быть использована контекстная инфраструктура «семантическое пространство». Это вычислительная инфраструктура с контекстной моделью, сформированной на основе онтологий и контекстной инфраструктурой.

4) Контекстная модель - детальная модель участников интеллектуального пространства и окружающей среды, обеспечивающая одинаковое для всех участников понимание изменяющихся ситуаций. Для контекстного моделирования используется онтологический подход, обеспечивающий обработку информации (интерпретацию, обмен и т.д.) на основе общего словаря. Использование онтологий для моделирования контекстов позволяет:

- интерпретировать контексты на основе их семантики.

- использовать однажды запроецированные онтологии предметной области при описании различных контекстов и построении различных контекстных моделей.

- использовать при создании семантического интеллектуального пространства известный инструментарий формирования запросов, рассуждений, выводов и баз знаний.

По понятным причинам наиболее интенсивно развиваются семантические интеллектуальные пространства типа «умный дом», «умный офис», «умный музей», «умный город», ориентированные на человека-пользователя. Однако, общие методические подходы к организации семантического интеллектуального пространства могут быть использованы для организации взаимодействия в группе роботов переменного состава, действующих в различных ситуациях. Выделяют фундаментальный и конкретный контекст задач, описываемых онтологией «умная среда обитания», для получения метаинформации о ситуации в этой среде на базе понятий: местоположение, пользователь, активность. Далее предполагается расширяемость модели для добавления концепций, описывающих конкретные области применения. Контекст в каждой предметной области разделяет общие понятия, которые могут быть смоделированы с помощью общей контекстной модели, в то же время существенно различается по детальным признакам. Таким образом, разделение областей применения способствует повторному использованию общих понятий и обеспечивает гибкий интерфейс для определения знаний, специфичных для конкретного приложения. Такая многоуровневая модель может быть использована при работе с любой онтологией.

При использовании формального подхода к моделированию контекста, он может быть обработан с помощью механизмов логического рассуждения. Для задачи комплексного анализа ситуации, в которой функционирует группа роботов важно то, что такое рассуждение обеспечивает вывод высокоуровневого, неявного контекста из низкоуровневого, явного контекста (данные датчиков и т.п.). При этом явный контекст извлекается непосредственно из контекстных источников, в то время как неявный контекст-это дополнительная информация, выводимая из явного контекста. Например, зная по данным GPS что «Робот 1» «находится» в зоне «Зона1», которая, в свою очередь, является частью «аварийной» области, логическое описание может быть использовано для вывода, что «Робот 1» находится в «аварийной» области, если пространственное отношение «находится в» является транзитивным.

Может быть реализован и более гибкий механизм рассуждения, правило которого определяются экспертом. Тогда из некоторого контекста низкого уровня может быть выведен широкий диапазон концептуального контекста более высокого уровня.

С учетом стратегии управления, описанной выше в этой главе, целесообразно выполнять контекстные рассуждения как на уровне центрального поста управления, так и на уровне роботов-агентов. На уровне

центра управления должна быть реализована масштабируемая контекстная модель, которая будет способна разделять онтологии, относящиеся к конкретной области, для различных роботов-агентов. На уровне интеллектуального агента должна быть реализована локальная контекстная модель, обеспечивающая простые неявные контекстные выводы и формирование мета-данных для передачи на верхний уровень

Приведем здесь краткий обзор существующих методов понятийного описания окружающей среды на базе онтологий для функционирования автономных роботов. Онтологии представляют собой попытку формального описания некоторой области знаний или процессов и сами должны быть описаны с помощью специальных языков описания знаний и отношений между ними. Существует несколько таких языков и их диалектов.

Одним из первых таких языков был язык KIF. Он представляет собой, по сути, исчисление предикатов, основан на языке LISP, имеет префиксную нотацию. Описание предметной области на языке KIF основывается на трёх основных понятиях - «множество», «отношение» и «функция». Наследником языка KIF стал язык SUO-KIF. На нём написана онтология верхнего уровня SUMO (Suggested Upper Merged Ontology). Для описания предметной области робототехники был предложен ряд дополнительных онтологий (CORA, CORAX, RPARTS, POS). Более современным языком описания онтологий является язык OWL (Web Ontology Language). OWL - это язык семантической разметки для публикации и обмена онтологиями во всемирной паутине. Данный язык развивается силами консорциума W3C. OWL предназначен для случаев, когда информация, содержащаяся в различных документах, должна не только предоставляться для восприятия пользователям, но и обрабатываться различными приложениями. OWL можно использовать для явного представления значения терминов в словарях и отношений между этими терминами. Такое представление терминов и их взаимосвязей называется онтологией. OWL имеет больше возможностей для выражения смысла и семантики, чем XML, RDF и RDF-schema, и поэтому OWL выходит за рамки этих языков в своей способности представлять машинно-интерпретируемый контекст.

Таким образом для понятийного описания окружающей среды на базе онтологий для функционирования автономных роботов необходимо использовать следующий инструментарий:

1) XML - обеспечивает синтаксис для структурированных документов, но не налагает семантических ограничений на смысл этих документов.

2) XML Schema - расширяет XML с помощью введения типов данных.

3) RDF - это модель данных для объектов («ресурсов») и отношений между ними. Обеспечивает простую семантику для этой модели данных. Модели данных могут быть представлены в синтаксисе XML. RDF представляет собой язык, позволяющий описывать информацию, расположенную в Web. Сущности в Web называются ресурсами. RDF —

язык описания таких ресурсов и различные программные агенты для чтения и обмена такими ресурсами.

Главный элемент языка RDF— это тройка или триплет. Тройка представляет собой совокупность трех сущностей: субъекта, объекта и предиката. С математической точки зрения, тройка представляет собой экземпляр некоторого бинарного отношения. Язык RDF основан на математическом аппарате дескриптивной логики — формализме семантических сетей и фреймов. Каждый ресурс в RDF характеризуется URI - Uniform Resource Identifier. RDF графы представляют собой множества троек вида «субъект, предикат, объект», элементы которых есть либо ресурсы, обозначаемые через URI, либо литеральные данные (литералы могут выступать только в качестве объектов). Иногда, в качестве элементов используется ресурс, который не имеет представителя в Web, так называемый пустой узел (blank node) RDF графа.

4) RDF Schema - это словарь для описания свойств и классов ресурсов RDF с семантикой для иерархий обобщения таких свойств и классов. RDF Schema представляет собой расширение языка RDF, позволяющее описывать простые онтологии данных, находящихся в хранилищах RDF. Также, как схема базы данных описывает структуру базы данных в виде заголовков таблиц и связей между ними, схема RDF позволяет описывать структуру RDF хранилища. Структура описывает в терминах типов и отношений между ними.

Например, имеется отношения «тип-подтип», которое вводится, если множество экземпляров одного класса представляет собой подмножество экземпляров другого класса. Отношение «тип-подтип» называют также отношением иерархии. Таксономия представляет собой наиболее простую форму классификации, в которой каждый объект принадлежит по крайней мере одному классу и типы классов образуют иерархическое дерево.

Если множество пар одного свойства является подмножеством пар другого свойства, то можно ввести соотношение вида «свойство-подсвойство».

5) OWL добавляет дополнительный словарь для описания свойств и классов: среди прочего, отношения между классами (например, дизъюнктность), мощность (например, «ровно один»), равенство, более обширное типирование свойств, характеристики свойств (например, симметрия) и пронумерованные классы.

Существуют также стандарты онтологий робототехники. Актуальный на данный момент - стандарт 1872-2015 - IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation. Он описывает онтологию CORA (Core Ontology for Robotics and Automation), и ряд дополнительных онтологий (CORAX, RPARTS, POS), разработанных рабочей группой по онтологиям в робототехнике и автоматизации. Так как данные онтологии расширяют онтологию SUMO, они тоже используют язык SUO-KIF. Следующим стандартом онтологий в робототехнике и автоматизации должен стать стандарт ROA от рабочей группы AuR. Принятие этого стандарта намечено

на декабрь 2021 года. Онтология ROA будет реализована на языке OWL и значительно расширит существующие онтологии CORA за счёт введения таких понятий, как архитектура, структура, поведение и функциональность робота, а также ряда прочих.

В качестве языка описания онтологий в данной НИР выбран язык OWL по ряду причин:

1) Развивающийся стандарт онтологий робототехники будет использовать язык OWL.

2) Язык OWL разрабатывается и поддерживается консорциумом W3C в рамках проекта по созданию семантического Web 3.0. Активной поддержки более старых и примитивных языков вроде KIF не обнаружено.

3) Существуют реализации текущих онтологий робототехники на языке OWL.

4) Для языка OWL, в отличие от языков семейства KIF, существует мощный инструмент редактирования онтологий с графическим интерфейсом - Protege.

5) Существуют библиотеки, позволяющие транслировать онтологии OWL в классы Python.

Одним из наиболее популярных редакторов OWL является редактор Protégé. Редактор обладает понятным интерфейсом, расширяемым с помощью установки дополнительных плагинов. Имеет версии под все настольные ОС, так как написан на языке Java. Также имеется веб-версия приложения, позволяющая просматривать и создавать онтологии. Есть удобный плагин отображения онтологии в виде графа. Также поддерживает несколько различных «решателей» - утилит, позволяющих генерировать знания на основе онтологии, которые изначально в систему не заложены. Поддержка языка OWL 2.

Объекты, (предмет) и методы исследования

Объектом исследования является методология автоматического синтеза оптимального управления поведением группы роботов на основе ситуационного анализа с применением семантических технологий. Исследования проведены с использованием аналитических методов.

Результаты и их обсуждение

Проведен аналитический обзор существующих решений.

Выбранного состав гетерогенной группы.

Выполнен критический анализ технологий организации группового взаимодействия и группового управления, выполненный на основе аналитического обзора публикаций по тематике исследований.

Разработан перечень сценариев работы группы роботов, функционирующих в слабо структурированной, динамически изменяющейся среде.

Разработана концепция базовых онтологий для описания автономных роботов.

Выполнено математическое описание средств генерации моделей среды.

Значимым результатом работы является выявленная на уровне формального описания общность сценариев функционирования групп роботов различного назначения. Указанная общность положена в основу единообразного высокоуровневого описания предметно-независимых понятий, касающихся организации и самоорганизации функционирования таких групп. К значимым результатам относится также концепция базовых онтологий для описания автономных роботов. Предложенная онтология является оригинальным расширением известной онтологии CORA.

Заключение

Критический анализ технологий организации группового взаимодействия роботов и группового управления роботами подтвердил актуальность темы НИР. При всей популярности тематики проектирования мультиагентных самоорганизующихся систем, к которым формально можно отнести исследуемые группы роботов, достигнутые результаты применимы в основном к промышленным роботам, сервисным роботам, агентам вычислительных сетей большого масштаба, логистическим, справочным, поисково-запросным и тому подобным системам.

Это, безусловно связано с потребностями основного рынка робототехники, средств автоматизации и цифровизации. Специальные многофункциональные роботы, выполняющие операции без жестко заданного сценария, в сложной обстановке, с ненадежной связью остаются вне поля зрения разработчиков новых информационных технологий.

Также можно указать ряд исследований, где авторы абстрагируются от таких понятий, как функциональность робота, ситуационный анализ, особенности внешней среды. Задача интеллектуального или согласованного управления рассматривается на примерах перемещения робота или роботов, мотивированных условным побуждающим фактором в идеализированной среде.

С другой стороны, можно уверенно сказать, что в последние полтора десятилетия в мире наработан большой научный задел в части исследования и апробации возможных механизмов самоорганизации агентов: обучение с подкреплением, кооперация, использование градиентных полей, рыночный механизм, биоморфные методы. Этот задел необходимо творчески применить в нашей предметной области.

Таким образом, анализ состояния проблемы показывает, что поставленная задача является актуальной и достижимой в рамках НИР.

Перечень сценариев работы группы роботов, функционирующих в слабо структурированной, динамически изменяющейся среде описан на примере задач, на первый взгляд, далёких друг от друга: ликвидация последствий радиационной аварии, спасание персонала труднодоступного

объекта, решение задач обследования акватории необитаемыми автономными аппаратами.

Несмотря на кажущееся разнообразие задач, решаемых группами специальных роботов, из описания базовых сценариев их работы очевидно, что на этом, достаточно высоком уровне формализации описания, наблюдается общность, если не идентичность разных проектов. Таким образом, были выявлены предпосылки к формированию базовой онтологии для единообразного высокоуровневого описания предметно-независимых понятий, касающихся организации и самоорганизации функционирования таких групп.

Кроме того, рассмотрение приведённых сценариев показывает, что ряд из них содержит блок «комплексного анализа обстановки». Иными словами, при организации и планировании работы требуется комплексное исследование текущей ситуации, выявление и группировка факторов, определяющих тот или иной выбор, прогноз развития ситуации и эффективности принятых решений с учётом этого прогноза. Таким образом, в НИР поставлена задача формализации понятия «ситуация», формирования обобщённой математической модели среды функционирования.

Были рассмотрены базовые онтологии робототехники, стандартизованные в настоящее время международным инженерным сообществом. Показано, что формализация описания функционирования специальных роботов предложенная в разделе 2 отчёта, не противоречит этим концептам, а естественным образом их дополняет. Установлено, что опора на международные стандарты описания понятийной области на стадии поисковой НИР в дальнейшем, на стадии прикладных НИР, обеспечит сопоставимость результатов и возможность их «бесшовного» взаимного использования с другими исследовательскими группами. В то же время, проведённый анализ работ в области создания стандарта онтологий автономных роботов выявил ряд недочётов в части описания поведенческого и ситуационного аспектов функционирования таких роботов. Для решения этой проблемы нами предложены непротиворечивые расширения имеющихся стандартов IEEE, сформулированные в терминах базовой онтологии SUMO.

Дальнейшие исследования в этой части будут направлены на разработку расширений предложенной онтологии в части описания специализированных подклассов и отношений, характеризующих поведение и взаимодействие специальных автономных роботов из состава гибридной группы. Разработку целесообразно выполнить на основе концептуальных карт соответствующих объектов и процессов.

В отчёте предложена общая методика формирования модели внешней среды, как модели динамической системы с возможностью интеграции пространственно-временных и пространственно-квалитативных данных. Для отработки поведенческих аспектов интеллектуальных автономных роботов предложено использовать структуру генератора моделей, предусматривающую обучение системы-агента. На следующем этапе НИР

должен быть сформирован перечень критериев оптимизации управления поведением, разработаны прикладные математические модели элементов группы роботов и внешней среды и проведена апробация предложенных решения методами компьютерного моделирования.

В рамках макетирования элементов групп роботов проведено дооснащение мобильных мини-платформ радарными и некоторыми другими комплектующими. На следующем этапе планируется завершение работ по макетированию.

Созданы предпосылки для успешного выполнения работ следующего этапа, а именно:

- разработки методов организации интеллектуальных пространств для взаимодействия членов гибридной группы роботов на базе онтологий,
- разработки критериев оптимизации управления поведением группы роботов,
- разработки математических моделей элементов группы роботов и моделей среды,
- разработки макета группы роботов.

В целях дальнейшего практического использования наиболее значимым является математическое описание средств генерации моделей среды для проведения дальнейших исследований по функционированию группировок роботов.

Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной работы (диссертации)

Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК

1. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 539 (2020) 012121. A D Kulichenko, S A Polovko, E Yu Smirnova, P K Shubin, V N Ulanov. Ontology for group of rescuing robots. doi:10.1088/1755-1315/539/1/012121
2. Springer. Communications in Computer and Information Science: 2021. Kulichenko A. D., Skripnichenko N.A., Polovko S.A., Smirnova E.Yu. Discrete event-based behavior model for group of ground-based mobile robots control to search and eliminate ionizing radiation sources.

Публикации в других изданиях

1. Материалы 12-й мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019, Дивноморское, Геленджик). Э.А. Абросимов, А.Д. Куличенко, А.Н. Можяев, Е.Ю. Смирнова. Перспективные технологии организации группового взаимодействия и группового управления для гибридных групп мобильных роботов

Аспирант _____ Куличенко А.Д.

(подпись)