Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.8

Ерофеев
Илья Александрович

Модели и средства автоматизации управления распределенными системами

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра наук
по специальности 07-06-0611-03 – искусственный интеллект

Научный руководитель
Шункевич Д.В.
кандидат т.н., доцент

Минск 2026

Краткое введение

Магистерская диссертация посвящена актуальной проблеме автоматизации управления в сложных распределенных производственных системах. Современные подходы к управлению требуют перехода от жестких иерархических схем к гибким, адаптивным моделям, способным эффективно функционировать в условиях неопределенности и динамично изменяющейся среды.

В работе в качестве предметной области для исследования и апробации предлагаемых методов рассматривается железнодорожный транспорт, представляющий собой классический пример распределенной системы с высокой степенью связности элементов и жесткими временными ограничениями. Основной акцент сделан на разработку интеллектуальных механизмов поддержки принятия решений диспетчерским персоналом при возникновении нештатных ситуаций. Для решения поставленных задач применяются технологии семантического представления знаний (OSTIS) и принципы построения мультиагентных систем, что позволяет обеспечить семантическую интероперабельность компонентов и повысить автономность принятия решений на локальном уровне.

Общая характеристика работы

Цель и задачи проводимых исследований

Целью диссертационной работы является разработка моделей и программных средств автоматизации управления распределенными системами на основе семантической интеграции знаний и мультиагентного взаимодействия для повышения адаптивности систем к динамическим изменениям внешней среды.

Указанная цель определяет следующие задачи исследования:

1 Анализ существующих средств и методов автоматизации управления распределенными системами.

2 Разработать онтологическое представление знаний о структуре и динамике распределенной системы (на примере железнодорожного транспорта), обеспечивающее семантическую совместимость управляющих агентов.

3 Разработать архитектуру мультиагентной системы и алгоритмы ситуационного управления (на примере железнодорожного транспорта), включая методы классификации ситуаций и стратегии разрешения конфликтов.

4 Осуществить программную реализацию прототипа системы и выполнить оценку эффективности предложенных решений на имитационной модели.

Объектом исследования являются процессы управления в распределенных интеллектуальных системах.

Предметом исследования являются модели, методы и программные средства автоматизации ситуационного управления на основе семантических технологий.

Личный вклад

Диссертационное исследование является квалификационной научной работой, выполненной соискателем самостоятельно на основе изучения отечественной и иностранной литературы, а также проведения собственных теоретических и экспериментальных изысканий.

Автором лично:

- выполнен анализ предметной области и существующих методов управления распределенными системами;
- разработана онтологическая модель железнодорожной инфраструктуры и перевозочного процесса;
- предложены алгоритмы классификации эксплуатационных ситуаций и разрешения конфликтов в расписании;
- спроектирована и реализована архитектура мультиагентной системы на базе технологии OSTIS;
- проведены экспериментальные исследования на имитационной модели.

Основные выводы, теоретические положения и практические разработки принадлежат автору диссертации и составляют содержание данной работы.

Опубликование результатов диссертации

По материалам выполненных исследований опубликовано 3 научные работы, в том числе 2 статьи в сборниках научных статей, включённых в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертаций высшей атестационной комиссией Республики Беларусь, а так же 1 статья в сборнике тезисов конференции.

Апробирование результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на OSTIS-2024, (Минск, 2024); OSTIS-2025 (Минск, 2025).

Краткое содержание работы

В первой главе проведен системный анализ современных методов и средств управления в распределенных интеллектуальных системах. Рассмотрены архитектурные принципы построения промышленных распределенных систем управления (DCS) и методы управления группами автономных агентов. Выявлены ограничения классических подходов при работе в условиях неопределенности и обоснована целесообразность применения гибридных интеллектуальных методов, сочетающих логическое управление, мультиагентный подход и семантические технологии.

Во второй главе осуществлена постановка задачи разработки управляющего элемента распределенной системы на примере задачи оперативной диспетчерской корректировки графика движения поездов. Разработана онтологическая модель предметной области, интегрирующая описание инфраструктуры железнодорожной сети и динамических процессов перевозки.

В третьей главе предложен метод формализации эксплуатационных ситуаций и механизмы их классификации на основе деревьев решений, где листьями являются алгоритмы корректировки.разработано алгоритмическое и программное обеспечение интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Спроектирована архитектура мультиагентной системы, включающая агентов мониторинга, прогнозирования и разрешения конфликтов. Описан алгоритм индукции дерева решений для темпоральных данных, позволяющий классифицировать ситуации отклонения от графика. Реализован базовый набор агентов, обеспечивающих цикл ситуационного управления: от регистрации события до формирования скорректированного расписания.

В четвертой главе проведена экспериментальная проверка разработанных методов на имитационной модели участка железной дороги. Продемонстрирована работоспособность алгоритмов выявления и разрешения конфликтов в расписании при возникновении задержек поездов. Оценена эффективность предложенной мультиагентной архитектуры и определены направления дальнейшего развития системы, включая расширение базы знаний и внедрение усовершенствованных стратегий оптимизации.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1 На основе анализа методов управления распределенными системами выявлено противоречие между жесткостью классических иерархических моделей и динамичностью процессов в реальных распределенных

средах. Обоснована необходимость перехода к децентрализованному управлению на базе мультиагентных систем и семантической технологии OSTIS, обеспечивающей смысловую интероперабельность компонентов системы принятия решений.

2 Разработана онтологическая модель предметной области (на примере железнодорожного транспорта), интегрирующая знания о топологии распределенной сети, ресурсах и динамических процессах. Предложена структура базы знаний, позволяющая формализовать эксплуатационные ситуации и стратегии управления в едином семантическом пространстве.

3 Создано алгоритмическое обеспечение системы ситуационного управления, включающее метод классификации темпоральных ситуаций на основе индуктивных деревьев решений и протоколы асинхронного взаимодействия интеллектуальных агентов (регистрации, прогнозирования, анализа и коррекции) через общую семантическую память.

4 Для выполнения поставленных задач был создан программный прототип мультиагентной системы. Численные исследования на имитационной модели показали работоспособность предложенной архитектуры: система продемонстрировала способность автономно обнаруживать и разрешать ресурсные конфликты, возникающие вследствие динамических возмущений, обеспечивая адаптивную корректировку плана функционирования системы.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1 *Расширение базы знаний и онтологических моделей.* Рекомендуется детализировать онтологию предметной области, включив в нее дополнительные формализованные параметры (типы вагонов, специализация путей, приоритеты грузов) и эвристические знания (особенности работы бригад, специфика взаимодействия составов). Это позволит повысить точность семантического моделирования.

2 *Развитие мультиагентной архитектуры.* Перспективным направлением является разработка новых классов агентов: агентов-регистраторов для взаимодействия с реальными источниками данных внешних информационных систем; агентов-планировщиков для решения задач грузовой логистики; усовершенствованных агентов-прогнозировщиков, учитывающих метеорологические условия и техническое состояние ресурсов.

3 *Совершенствование алгоритмов принятия решений.* Для повышения качества управления необходимо внедрение расширенного спектра

стратегий разрешения конфликтов (изменение маршрутов, динамическая регулировка скорости) и применение методов роевого интеллекта или генетических алгоритмов для нахождения глобально оптимальных решений при высокой плотности событий.

4 *Реализация подсистемы самообучения.* Важным этапом развития является разработка агентов оценки эффективности решений, обеспечивающих обратную связь для дообучения деревьев решений и адаптации стратегий управления к изменяющимся условиям эксплуатации.

Список опубликованных работ

1–А. Ерофеев, И. А. Использование интеллектуальных решателей задач в системе управления железнодорожной станции / И. А. Ерофеев // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – С. 49–50.

2–А. Ерофеев, А. А. Основы онтологии перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев, Ерофеев И.А // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 183–188.

3–А. Ерофеев, А. А. Идентификация и классификация отклонений в графике движения поездов с использованием технологий OSTIS / А. А. Ерофеев, Ерофеев И.А // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем – Минск, 2025. – Вып. 9. – С. 373–378.