ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.М. МАТРОСОВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 004.5+528.9

№ госрегистрации АААА-А17-117032210081-4

Инв. № 2017-4

УТВЕРЖДАЮ

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ ПО ПРОЕКТУ

«Разработка новых подходов к созданию и исследованию моделей сложных информационно-вычислительных и динамических систем с приложениями»

Программа № I.33П фундаментальных исследований Президиума РАН по стратегическим направлениям развития науки «Фундаментальные проблемы математического моделирования. Фундаментальные проблемы факторизационных методов в различных областях. Алгоритмы и математическое обеспечение». Часть «Фундаментальные проблемы математического моделирования"

Координатор программы: академик В.Б. Бетелин

Организация-исполнитель: ФГБУН Институт динамики систем и теории управления

имени В.М. Матросова Сибирского отделения РАН

(ИДСТУ СО РАН).

Научный руководитель проекта:

академик И.В. Бычков

Отчёт утверждён Учёным советом ИДСТУ СО РАН

Протокол № 10 от 30 ноября 2017 г.

Иркутск – 2017

Список исполнителей

Зав. отделением д-р технич. наук

Зам. директора по н.р. д-р технич. наук

Зам. директора по н.р. канд. технич. наук.

Вед. науч. сотр. канд. технич. наук.

Ст. науч. сотр. канд. технич. наук.

Зав. лаб. канд. технич. наук.

Ст. науч. сотр. канд. технич. наук.

Ст. науч. сотр. канд. технич. наук.

Ст. науч. сотр. канд. технич. наук.

Науч. сотр. канд. технич. наук.

Науч. сотр.

Младший науч. сотр.

Программист

Программист

Программист

Программист

Нормоконтролёр

Г.М. Ружников (введение, глава 2, заключение)

Г.А. Опарин (введение, глава 1, заключение)

H.H. Максимкин (введение, глава 3, заключение)

Р.К. Федоров (Глава 2)

А.Е. Шигаров (Глава 2)

С.А. Ульянов (Глава 3)

Н.В.Нагул (Глава 3)

В.Г. Богданова (Глава 1)

А.Г. Феоктистов (Глава 1)

В.В. Парамонов (Глава 2)

А.В. Давыдов (Глава 3)

М.Ю. Кензин (Глава 3)

А.С. Шумилов (Глава 2)

Ю.В. Авраменко (Глава 2)

А.А. Пашинин (Глава 1)

Ю.А. Дядькин (Глава 1)

Е.С. Фереферов

РЕФЕРАТ

Отчет 29 с., 9 рис., 1 табл., 27 публикаций.

Ключевые слова: методы, модели, распределённые информация и вычисления, имитационное моделирование, очистка и анализ, сервис-ориентированная технология.

Объекты исследования – средства автоматизации организации и проведения имитационного моделирования сложных динамических систем с использованием высокопроизводительных вычислений, а также методы, модели и технологии создания информационно-вычислительной среды обработки распределённой разноформатной региональной эколого-экономической информации, в том числе пространственной, для поддержки принятия решений в различных областях.

Цели НИР – проекта является разработка новых подходов к созданию и исследованию моделей сложных информационно-вычислительных и динамических систем с приложениями.

В результате выполнения НИР:

- 1. Разработана новая технология автоматизации подготовки и проведения экспериментов с имитационными моделями систем массового обслуживания (СМО) в распределенной сервисно-ориентированной вычислительной среде (РСОВС), которая обеспечивает в отличие от известных автоматизацию всех необходимых этапов проведения вычислительного эксперимента в распределенной вычислительной среде.
- 2. Созданы оригинальные методы и модели обработки распределённой информации для формирования сервисно-ориентированной технологии анализа и поддержки решений в задачах территориального развития.
- 3. Разработаны моделированию, построению новые подходы К анализу И интеллектуальных роботов, стратегий управления группировками подводных обеспечивающих надежное автономное функционирование группы при выполнении широкомасштабных обследованию, мониторингу долговременных миссий ПО патрулированию водной среды.

Методология проведения НИР базируется на комплексном применении методов автоматизации конструирования имитационных моделей основе на парадигм концептуального, каркасного и сервисно-ориентированного программирования, методов планирования вычислений распределения ресурсов, И методов организации многовариантных расчетов в распределенной информационно-вычислительной среде, а также методов статистического анализа данных.

Ожидаемый эффект от внедрения результатов НИР:

- сокращение времени организации и проведения исследований, связанных с проведением широкомасштабных вычислительных экспериментов на основе имитационного моделирования сложных динамических систем с использованием высокопроизводительных вычислений.

Степень внедрения – разработана методология создания распределенной сервисноориентированной вычислительной среды моделирования, с использованием вычислительных систем сверхвысокой производительности, сложных информационно-вычислительных и динамических систем и разноформатных данных.

Все поставленные в проекте задачи на 2017 г. успешно выполнены в установленные сроки и в полном объеме в соответствии с государственным заданием. Содержание работы раскрыто в Планах научно-исследовательских работ ФГБУН Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН на 2017 год.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	3
СОДЕРЖАНИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	9
Глава 1. Разработка новых сервисно-ориентированных технологии, методов и инструментальные средств подготовки и проведения экспериментов по распределенному имитационному моделированию СМО)
Глава 2. Разработка новых методов и моделей обработки распределённой информации для создания сервисно-ориентированной технологии анализа и поддержки принятия решений в задачах территориального развития.	
Глава 3. Разработка новых методов построения интеллектуальных стратегий управления группировками автономных роботов	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	.25
Публикации по проекту	.26

ВВЕДЕНИЕ

Исследование процессов функционирования сложных технических, экологоэкономических систем на различных этапах их проектирования, испытания и эксплуатации является одной из важных проблем в области системного анализа. Данная проблема обусловлена наличием у сложной системы таких свойств, как большая размерность и неоднородность ее объектов, динамичность и стохастичность процессов взаимодействия объектов, отсутствие унифицированного математического формализма для описания любого объекта системы с требуемой степенью детализации его свойств и невозможность проведения полномасштабных натурных экспериментов с этой системой из-за больших объёмов и разноформатности используемых данных.

В настоящее время эффективное решение больших задач математического моделирования невозможно без применения высокопроизводительных систем, таких как суперкомпьютеры, кластеры, распределенные информационно-вычислительные среды различного назначения и облачные, туманные и телекоммуникационные инфраструктуры. Однако известные сегодня средства имитационного моделирования, как правило, не позволяют широкому кругу исследователей эффективно использовать все преимущества таких систем, а также не всегда обеспечивают пользователей высокоуровневыми средствами доступа к информационно-вычислительным ресурсам, таким как сервисно-ориентированные интерфейсы.

Таким разработка образом, актуальна средств моделирования сложных информационно-вычислительных интегрированных динамических систем, высокопроизводительными системами. Проект направлен на разработку новых сервисноориентированных технологий, методов, инструментальных средств подготовки и проведения экспериментов по распределенному имитационному моделированию систем: массового обслуживания, обработки больших объёмов распределённой пространственной информации анализа и поддержки принятия решений территориального развития, построения интеллектуальных стратегий управления группировками автономных подводных роботов.

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы и обоснование необходимости проведения НИР. Существующие глобальные зарубежные, отечественные математические модели и программные системы, реализующие анализ и обработку больших объёмов данных практически, не применимы, так как чаще всего решают только одну задачу или это связано с отсутствием необходимых вычислительных мощностей и отсутствием необходимых данных, полно описывающих состояние исследуемого объекта. Задача объединения моделей и программных систем не тривиальна, так как они реализованы на основе разных платформ с разным программным окружением и программным

интерфейсом. Поэтому актуально создание распределенной информационновычислительной среды математического моделирования, которая обеспечит, с одной стороны, регламентированный сбор больших объемов данных, их структурированное хранение и комплексное применение различных инструментальных систем. Исследование процессов функционирования сложных систем на различных этапах их проектирования, испытания и эксплуатации является одной из важных проблем в области имитационного моделирования. Анализ современного состояния в области имитационного моделирования, представленный в работах В.В. Девяткова, А.В. Нечаевского, Ю.И. Рыжикова, Соколова Б.В., Р.М. Юсупова, D.Т. Brunner, R. Buyya, R.M. Fujimoto, C.M. Macal, T.J. Schriber, J.S. Smith, а также других российских и зарубежных специалистов, показывает, что спектр средств имитационного моделирования достаточно широк. Тем не менее, поддержка автоматизации всех этапов информационно-вычислительного эксперимента (постановка задачи, описание предметной области, построение модели, планирование и проведение моделирования) c экспериментов, анализ результатов использование высокопроизводительных вычислительных систем в существующих инструментах имитационного моделирования, как правило, не осуществляется. Многие инструменты не используют в достаточной мере возможности высокопроизводительных вычислений, не обеспечивают учет специфики предметных областей для широкого спектра решаемых задач или не предоставляют высокоуровневый сервисно-ориентированный доступ к параллельным или распределенным вычислительным средам.

Актуальность и новизна исследований. Тенденция развития сложных систем заключается совершенствовании В постоянном технологий ИΧ организации, функционирования и коммуникации, расширении множества выполняемых операций, повышении уровня сложности этих операций и возникновении множества альтернатив реализации вышеперечисленных принятия решений по технологий операций. Необходимость обеспечения принятия качественных управленческих решений функционированию системы требует построения согласованного семейства моделей (аналитических и имитационных), позволяющих проводить комплексное исследование и оптимизацию системы на разных уровнях детализации, и зачастую приводит к значительным техническим и методическим трудностям использования моделей системы. В их числе потребность проведения масштабных многовариантных расчетов с целью наиболее полного учета набора факторов, влияющих на показатели качества функционирования системы, и множеств допустимых значений этих факторов, а также обеспечения достоверности стохастических результатов моделирования. В настоящее время качественное решение обозначенных выше проблем невозможно без применения высокопроизводительной вычислительной техники, эффективных информационных систем и телекоммуникационной инфраструктуры центров коллективного пользования (ЦКП).

Процесс построения моделирующей программы, адекватно отображающей исследуемую систему, во многом является нетривиальной задачей и требует от ее разработчика наличия высокой математической и программисткой квалификации, тем более, если речь идет о параллельной или распределенной программе. Таким образом, возникает потребность в новых высокоуровневых инструментальных средствах автоматизации этого процесса, которые позволят максимально использовать потенциал высокопроизводительной вычислительной техники и обеспечат построение сложной технологической цепочки: от математика (эксперта-«предметника»), формализующего предметную область системы, к программисту, создающему имитационную модель системы и сервисно-ориентированные средства доступа к этой модели и ее применения в распределенной вычислительной среде, и только затем – к конечным пользователям (сотрудникам профильной организации), которые занимаются непосредственно расчетами. Именно в этом направлении осуществляется выполнение НИР.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки. При выполнении НИР разработаны фундаментальные основ, методы и инструментальные средства автоматизации организации и проведения имитационного моделирования сложных систем в распределенной сервисно-ориентированной вычислительной среде (РСОВС). На основе перечисленных разработок созданы технология, система и сервисы поддержки научных исследований и автоматизации вычислительных экспериментов пол имитационному моделированию сложных систем в различных предметных областях.

Цель проекта является разработка новых подходов к созданию и исследованию моделей сложных информационно-вычислительных и динамических систем с приложениями.

Задачи проекта на 2017 г.:

- Разработка новых сервисно-ориентированных технологии, методов и инструментальные средств подготовки и проведения экспериментов по распределенному имитационному моделированию СМО.
- Разработка новых методов и моделей обработки распределённой информации для создания сервисно-ориентированной технологии анализа и поддержки принятия решений в задачах территориального развития.
- Разработка новых методов построения интеллектуальных стратегий управления группировками автономных подводных роботов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Глава 1. Разработка новых сервисно-ориентированных технологии, методов и инструментальные средств подготовки и проведения экспериментов по распределенному имитационному моделированию СМО.

В рамках создания технологии автоматизации подготовки и проведения экспериментов с имитационными моделями СМО в РСОВС разработаны:

- новые методы и средства генерации и параллельного выполнения экспериментов по факторному анализу данных для моделей СМО, реализованных на языке GPSS, в распределенной вычислительной среде;
- специализированные модели и методы концептуального программирования для спецификации наблюдаемых переменных имитационной модели СМО и их агрегирования с целью отображения качественных критериев функционирования системы;
- оригинальный алгоритм создания контрольных точек для имитационных моделей на GPSS, обеспечивающий надежность при их выполнении в PCOBC при возникновении отказов и сбоев программно-аппаратных средств среды;
- инструментальные средства автоматизации построения и поддержки функционирования предметно-ориентированных композитных сервисов и способы декомпозиции, реализованные на основе включения агентов-сервисов логики выполнения в состав композитного сервиса.

Все новые разработки интегрированы в единую технологическую цепочку для решения задачи автоматизации процесса подготовки и проведения экспериментов в РСОВС [8, 14, 31].

На рис. 1.1в приведено схематичное представление процесса выполнения имитационной модели в РСОВС. Развертывание сервиса производится с помощью системы HPCSOMAS Framework (рис. 1.1а). Для развертывания сервиса с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН» применяется технология тонкого клиента. Пользователь выбирает модель с помощью сервиса файлового менеджера, web-интерфейс которого представлен на рис. 1.1в. Если модель отсутствует в пространстве пользователя на сервере, ее можно загрузить с внешнего ресурса с помощью кнопок в нижней части формы «Выберите файл» и «Загрузить». Дополнительные файлы модели вводятся аналогично. Если постановка задачи осуществляется первый раз, должны быть введены связанные с моделью варьируемые входные параметры и наблюдаемые переменные. В web-интерфейсе сервиса SimQS для ввода этих данных

используются табличные элементы управления. Шаблон постановки задачи с введенными входными данными может быть сохранен, тогда при повторном исполнении модели можно загрузить (и отредактировать) сохраненную ранее постановку задачи. Для выполнения имитационной модели нужно нажать кнопку на web-интерфейсе сервиса SimQS «Создать задание». После завершения задания на вкладке «Результаты» web-интерфейса hpcsomasагента можно получить и просмотреть итоговый отчет «report.txt» (рис. 1.1в).

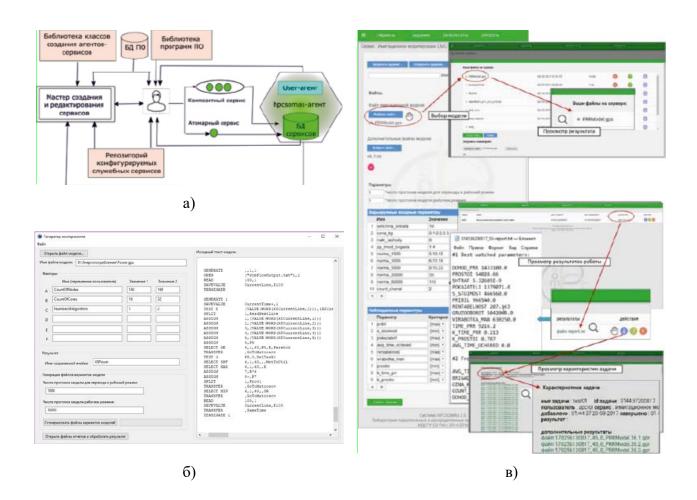


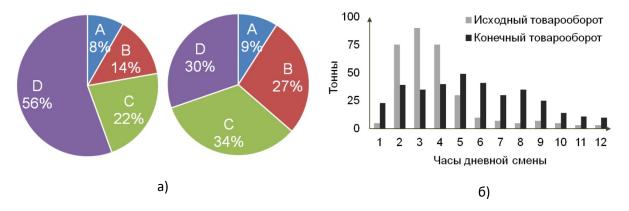
Рис. 1.1б иллюстрирует работу генератора эксперимента по факторному анализу. Факторный анализ используется для оценки влияния одной или нескольких независимых входных переменных (факторов) модели на зависимую наблюдаемую переменную. Для автоматизации проведения такого анализа в РСОВС разработан специализированный компонент «Генератор эксперимента» [10].

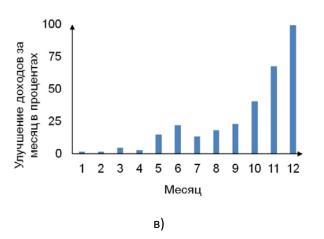
Разработчик модели задает значения входных переменных (переменных пользователя) модели. Затем на основе сочетаний этих значений формируется множество вариантов исходных данных и экземпляры модели параллельно прогоняется с каждым из этих вариантов в ГРВС с помощью виртуальных машин. После завершения прогонов всех экземпляров модели производится сбор полученных значений наблюдаемой переменной,

автоматически генерируется текст программы для проведения стандартного эксперимента по дисперсионному анализу и выполняется его запуск в системе GPSS Wold.

Разработанная технология применена [1, 9, 11, 13, 30] в процессе решения сложных практических задач моделирования работы рефрижераторного складского комплекса ООО «Иркутский хладокомбинат», являющегося в России вторым по единовременному объему хранения продукции промышленным предприятием от Урала до Дальнего востока. Предоставление складских услуг данного предприятия осуществляет ООО «Терминал Комплекс».

В результате решения задач улучшена долевая структура клиентов складского комплекса — численный состав категорий A-D (рис. 1.2a), увеличен и сбалансирован его суточный товарооборот (рис. 1.26) и увеличен доход от сдачи в аренду дополнительных объектов коммерческой недвижимости по сравнению с предыдущим годом (рис. 1.2в). В том числе улучшены следующие критерии (рис. 1.2г): c_1 — эффективность работы грузчиков (9%); c_2 — среднее время выполнения погрузочно-разгрузочных операций (6%); c_3 — средняя прибыль от погрузочно-разгрузочных операций (11%); c_4 — среднее время обработки возвратных отходов (10 %); c_5 — прибыль от реализации возвратных отходов (75 %); c_6 — число кладовщиков (20 %); c_7 — число вызовов лифтов (12 %); c_8 — наполнение склада (8 %); c_9 — прибыль от сдачи в аренду дополнительных объектов коммерческой недвижимости (23 %). По результатам решения задач получен акт о внедрении программы для ЭВМ «Конструктор имитационной модели» [37] в эксплуатацию в ООО «Терминал Комплекс».





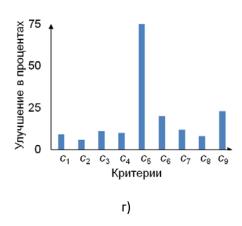


Рис. 1.2. Результаты решения задач: улучшение структуры клиентов (а), увеличение и балансировка суточного товарооборота (б), увеличение дохода от сдачи в аренду дополнительных объектов коммерческой недвижимости (в), улучшение критериев эффективности функционирования склада (г)

Прогон имитационной модели может занимать достаточно длительное время, поэтому возникает необходимость в обеспечении надежности выполнения данного процесса, а также его восстановления после возникновения сбоев или отказов. Наиболее доступным способом восстановления процесса моделирования является применение аппарата контрольных точек, который реализован посредством управления объектом «процесс моделирования» (стандартный *.sim-файл) системы GPSS World. Контрольные точки создаются на занятом узле ГРВС через определенные интервалы времени и, в случае различного рода отказов, процесс моделирования можно продолжить с момента создания последней контрольной точки, а не воспроизводить его заново.

Системный модуль создания контрольных точек [10] реализован в виде программной оболочки, представляющей собой надстройку над системой GPSS World. Данный модуль осуществляет управление объектом GPSS World «процесс моделирования». Алгоритм создания контрольных точек включает следующие этапы:

- I. Запуск системы GPSS World.
- II. Открытие *.gps-файла модели.
- III. Трансляция *.gps-файла модели в *.sim-файл средствами системы GPSS World.
- IV. Выполнение процесса моделирования до момента обнуления счет-чика модельного времени.
- V. Создание контрольной точки сохранение процесса моделирования (оттрансли-рованной модели и всех ее состояний) в *.sim-файле и стандартного отчета с результатами моделирования на момент создания контрольной точки в *.gpr-файле.
 - VI. Открытие *.sim-файла контрольной точки.

VII. Запуск процесса моделирования путем на период времени до создания новой контрольной точки.

Глава 2. Разработка новых методов и моделей обработки распределённой информации для создания сервисно-ориентированной технологии анализа и поддержки принятия решений в задачах территориального развития.

Для комплексного исследования моделей сложных информационно-вычислительных и динамических систем управления территориальным развитием наиболее эффективной технологической базой является использование сервисно-ориентированного подхода и облачных вычислений [6,7]. При этом, как правило, необходимо использовать набор сервисов (композиции сервисов) со сложной логикой взаимодействия (сценарием).

В рамках развития фундаментальных основ организации распределённых облачных вычислений целью проекта являлось разработка методов, алгоритмов и технологий динамического планирования вычислительного процесса композиции сервисов с учетом готовности данных для обработки сервисом, длительности выполнения сервиса, анализа загруженности узлов облачной среды и характеристик СПД для обеспечения эффективного по времени и/или по затрачиваемым ресурсам [15-21, 38].

При выполнении проекта получены современные методы автоматического построения графа потока выполнения сервисов для композиций web-сервисов. Сервисы в композиции могут быть зависимы друг от друга по данным, что формирует требования к последовательности выполнения сервисов. Для сервисов реализовано автоматическое построение графа потока выполнения в процессе интерпретации сценария. При таком подходе можно точно определять зависимости по данным сервисов и их готовность к запуску в асинхронном режиме. Задание композиции представляет собой разработку JavaScript кода, в котором вызов сервисов осуществляется с помощью специальных функций, параметры этим функциям передаются с помощью объекта-контейнера. Новизна данного подхода заключается в том, что разработчик не тратит времени на организацию параллельного выполнения web-сервисов, не настраивает передачу данных между вызовами web-сервисов, а только определяет логику взаимодействия сервисов стандартными средствами программирования [26, 32, 33].

Управление интерпретацией сценария осуществляется с помощью специального объекта-контейнера ValueStore. Блокирование интерпретации производится только в случае, если есть необходимость ветвления алгоритма в зависимости от результата выполнения сервиса. Для получения результата сервиса в JavaScript сценарии используется метод Get объекта ValueStore, который производит блокирование выполнения сценария до получения

результата, т.е. завершения работы сервиса и передачи данных. Новизна подхода заключается в том, что это единственный метод, который необходимо использовать, что упрощает разработку асинхронного и параллельного выполнения композиции сервисов.

По мере выполнения композиций web-сервисов, задаваемых с помощью языка программирования JavaScript, граф зависимостей сервисов по данным постоянно изменяется, таким образом, происходит динамическое перестроение плана вызова сервисов на вычислительных узлах. Новизна предложенных методов динамического планирования заключается в том, что при перестроении плана учитывается фактическое состояние вычислительной среды, то есть степень выполнения заданий, степень загруженности и доступность вычислительных узлов. Таким образом, вкупе с использованием эффективных эвристик, достигается приемлемое время выполнения композиции сервисов. Алгоритм обрабатывает ситуации, добавление перестроения такие как или отключение вычислительного узла, изменение ожидаемого времени выполнения задания, изменение списка вычислительных узлов, поддерживающих выполнение определенного задания. Актуальность данного подхода заключается в том, что при выполнении длительных композиций распределённых сервисов в гетерогенных средах часто происходят изменения в вычислительной среде, таким образом, разработанный алгоритм осуществляет планирование выполнения композиций в соответствии с этими изменениям и в то же время стремится завершить выполнение композиции сервисов за минимальное время [18-21, 32].

На основе рассмотренных подходов к заданию, планированию и выполнению композиций распределённых сервисов была разработана геопортальная информационновычислительная среда, предоставляющая удобные пользовательские интерфейсы для регистрации web-сервисов, задания и выполнения композиций сервисов. Интерфейс выполнения композиций сервисов предоставляет набор элементов управления для ввода параметров композиции (элементы управления делают ввод данных удобным, а также проверяют и корректируют вводимые данные), консоль выполнения композиции (вывод сервисной информации), визуализация составляемого в процессе выполнения композиции DAG и визуализация загруженности вычислительных узлов в распределённой среде.

Также разработана новая сервисно-ориентированная технология очистки и отслеживания происхождения слабоструктурированных табличных данных [5, 12, 36, 39]. Технология демонстрирует новые возможности в трансформации данных из произвольных электронных таблиц в реляционную форму на основе исполнения правил их анализа и интерпретации.

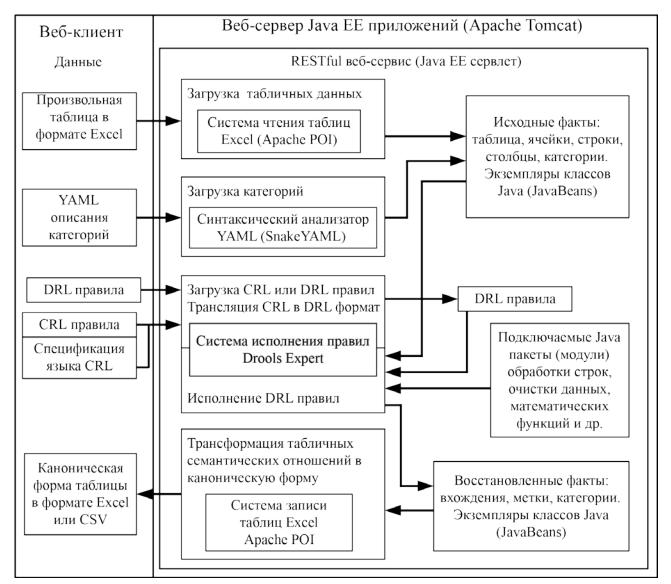


Рис. 2. 1 Архитектура RESTful веб-сервиса трансформации произвольных электронных таблиц, реализующего предлагаемую технологию очистки и отслеживания происхождения слабоструктурированных табличных данных

Представление данных рабочей памяти в процессе исполнения правил реализуется двухуровневой объектной моделью таблицы. Предлагаемая модель описывает, как физическую (синтаксическую), так и логическую (семантическую) табличную структуру. В отличие от известных подходов она не опирается на функциональные регионы (например, боковик, шапка и тело), а напротив предполагает произвольное расположение функциональных единиц содержания внутри ячеек. Для выражения правил анализа и интерпретации таблиц используется предметно-ориентированный язык CRL (Cells Rule Language). По сравнению с известными языками трансформации данных он выстраивает этот процесс как последовательность шагов автоматического понимания таблиц: их ролевого анализа, структурного анализа и интерпретации. В отличие от языков правил общего назначения CRL позволяет фокусироваться на предмете (понимании таблиц), скрывая не

существенные детали. На базе технологии разработан опытный RESTful веб-сервис трансформации произвольных электронных таблиц, архитектура которого представлена на рис. 2.1.

Как правило, произвольная электронная таблица не включает метаданные, описывающие её отношения. Неизвестно то, какие роли играют её ячейки (например, содержат ли они данные или атрибуты), как они связаны между собой (например, заголовок и значение данных), какими предметными понятиями (категориями) описывается её содержание. Для того чтобы перейти к структурированному представлению, необходимо, в том числе, выделить внутри содержания произвольной таблицы функциональные единицы (значения, метки, категории, агрегированные значения, сноски, название и др.), восстановить не представленные явным образом отношения между значениями данных (вхождениями) и описывающими их ключами (метками), соотнести её содержание с понятиями (категориями) внешнего словаря (концептуальной онтологии или тезауруса).

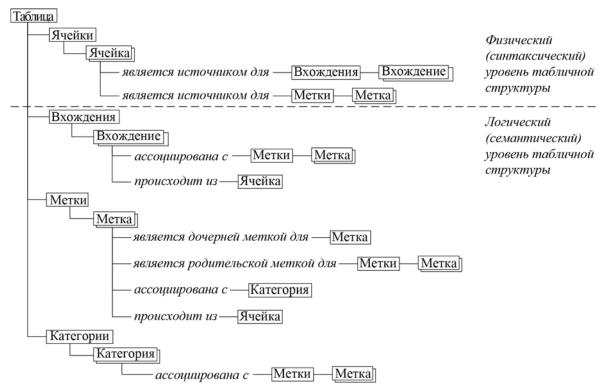


Рис. 2. 2 Двухуровневая объектная модель произвольной таблицы

В основе представления исходных и восстанавливаемых фактов о таблице в рабочей памяти системы исполнения правил лежит двухуровневая объектная модель (рис. 2.2). Её физический (синтаксический) уровень описывает компоновочные (координаты в пространстве строк и столбцов), стилевые (шрифтовое форматирование, выравнивание, цветовое выделение и др.) и содержательные (текст, отступы) свойства ячеек. Логический (семантический) уровень определяет связанные функциональные единицы данных: вхождения, метки и категории. Данная модель позволяет представлять таблицы с

произвольным расположением функциональных единиц внутри содержания ячеек. Она также предусматривает взаимные ссылки между двумя уровнями. С одной стороны, это обеспечивает отслеживание происхождения данных, с другой позволяет организовать удобный доступ к её объектам.

В разработанной системе TabbyXL процесс трансформации табличных данных строится как последовательность следующих этапов (шагов) анализа и интерпретации таблиц.

- 1. Реформатирование и очистка табличных данных необходима для изменения синтаксической структуры и содержания ячеек, в тех случаях, они представлены неаккуратно, содержат ошибки, несогласованности и неточности. При этом для очистки данных могут привлекаться различные готовые алгоритмы обработки строк.
- 2. *Ролевой анализ таблицы* состоит в том, чтобы восстановить отдельные функциональные единицы: вхождения (значения данных) и метки (ключи, описывающие значения данных) из естественно-языкового содержания ячеек.
- 3. *Структурный анализ таблицы* позволяет ассоциировать (связать) между собой вхождения и метки, т.е. восстановить пары «вхождения-метка» и «метка-метка».
- 4. *Интерпретация таблицы* служит для того, чтобы определить категории меток, т.е. восстановить пары «метка-категория».

В системе ТаввуХL каждый шаг может быть выражен одним или несколькими продукционными правилами, отображающими известные факты (объекты) обоих уровней в неизвестные изначально факты. Такие правила выражаются на предметно-ориентированном языке правил CRL, который ограничен рассматриваемой областью — пониманием таблиц.

Один набор CRL правил может охватывать широкий диапазон таблиц, разделяющих общий набор свойств, например, статистических таблиц или паспортов безопасности продуктов. Предполагается, что такие таблицы имеют различную на просвет структуру ячеек, однако разделяют общие неизменяемые компоновочные, стилевые или содержательные свойства, например, наличие критической ячейки, разделяющей таблицу на функциональные области, постоянное количество отступов, идентифицирующих некоторый уровень в иерархии заголовков, или числовой литеральный тип для всех значения данных.

В процессе исполнения CRL правила отображают имеющиеся изначально факты о компоновке, стилях и содержании ячеек таблицы в отсутствующие факты о её семантике (вхождениях, метках, категориях и отношениях между ними). Все факты рабочей памяти системы исполнения правил представляются с помощью объектной модели таблиц. Реализация процессов анализа и интерпретации данных не обеспечивает абсолютной точности и полноты. Трансформация произвольных таблиц может приводить к накоплению

ошибок данных. Поэтому TABBYXL позволяет отслеживать происхождение данных. Эта информация накапливается в представленной объектной модели таблицы.

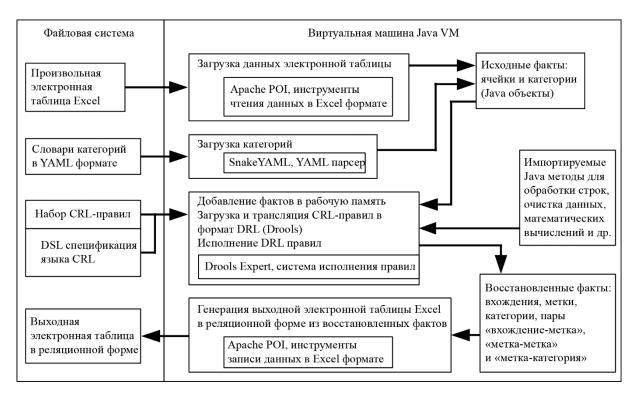


Рис. 2. 3 Архитектура системы трансформации данных произвольных электронных таблиц TABBYXL

Архитектура и программная реализация. Архитектура ТАВВҮХL представлена на Рис. 2.3. Трансляция и исполнение CRL правил реализовано в свободной системе Drools Expert (https://drools.jboss.org/drools-expert). В результате трансформации из восстановленной семантической информации генерируются электронные таблицы в реляционной (канонической) форме, которая включает поле DATA — данные (вхождения) и поля CAT_1,..., CAT_n меток для каждой восстановленной категории. Исходные коды проекта разработки системы TABBYXL опубликованы под свободной лицензией по адресу: https://github.com/cellsrg/tabbyxl.

В рамках продолженной технологии развиваются методы идентификации вычислимых значений, определённых в электронных таблицах. Для этого проводится построчный, постолбцовый анализ данных таблицы и для отклоняющихся от средних значений проводится исследование возможности применения гипотез проверки на наличие агрегированных значений.

Анализируя структурные элементы таблицы выделяются диапазоны значений находящихся между словами соответствующим операциям агрегации: «минимум», «максимум», «среднее», «сумма», «нарастающий итог», «за период» и т.п. Список

возможным операций агрегации и действия над предполагаемым набором данных содержится в специальном глоссарии. После вычисления значения выбранного множества данных проводится сверка со значением фактически содержащимся в ячейке. Если возможно экстрагировать формулу, то проверяется на сколько проводимые операции и набор данных соответствуют имеющейся формуле. В случае, если вычисленное и фактическое значения различаются, то проводится анализ других вычисляемых значений, относящихся к данной области, т.к. требуется установить является некорректным значение в ячейке или операция вычисления выполнена не корректно.

Наиболее сложным представляется способ идентификации вычисляемых данных, когда не доступна (или нет возможности однозначно её интерпретировать) информация, их характеризующая. В таком случае проводится анализ значений содержащихся в соседних ячейках. И, в случае определения, отклонения проводится перебор возможных формул для идентификации значений. При этом для анализируемых в области ячеек ведутся вычисления агрегированных значений, т.е. для каждой ячейки проверяется ряд гипотез. Число гипотез зависит от числа вхождений в глоссарий. Как только гипотеза подтвердилась, проводится её проверка для смежного строки (столбца). Если для соседнего набора данных гипотеза не подтверждается, то исследуемая область расширяется. Операция продолжается пока не будет гипотеза не подтверждена либо пока не достигнут конец данных по строке (столбцу). Разработаны WPS сервисы поддержки принятия решений на основе пространственного анализа объектов территориальной инфраструктуры, транспортной сети и т.д.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКАМИ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

В рамках разработки методов построения интеллектуальных стратегий управления группировками автономных подводных роботов предложен подход к формализации дискретно-событийных систем (ДСС) [3] с помощью первопорядкового логического языка позитивно-образованных формул (ПОФ), в ограниченном их классе, в древовидной структуре которых запрещается ветвление после узлов с кванторами всеобщности, содержащих неограниченные переменные в конъюнктах. Показана применимость подхода на примере супервизорного управления миссией автономного подводного робота (АПР), в котором формализована упрощенная ДСС, моделирующая функционирование АПР при выполнении некоторой миссии. Исчисление ПОФ обладает рядом особенностей, одной из которых является простая настройка и модифицируемость стратегий поиска вывода. Была предложена такая стратегия, при которой логический вывод формулы, представляющей

формализацию генератора, строится таким образом, что каждый шаг вывода соответствует возникновению некоторого события в соответствующем состоянии системы. При этом, язык спецификации, как целевая ПОФ, строится автоматически при поиске вывода, в котором отвергаются недопустимые в спецификации (целевом языке) события. Таким образом, с помощью логического вывода в ПОФ, моделируется работа супервизора.

Представим разработанный подход на примере простой ДСС модели автономного подводного робота (АПР), функционирующего во время выполнения некоторой миссии (рисунок 3.1). Для этой ДСС множество состояний $Q = \{\text{ready, check, complete}\}$. Состояния соответствуют готовности АПР для миссии, проверке аппаратного и программного обеспечения и завершения миссии. Алфавит (множество событий) $\Sigma = \{\text{start, tuning, perfom, end}\}$ соответствует началу функционирования АПР, проверке систем АПР, выполнению миссии и прекращению работы соответственно. Начальное состояние $q_0 = \{\text{ready}\}$. Предположим, что множество управляемых событий имеет вид $\Sigma c = \{\text{start, tuning, perfom}\}$.

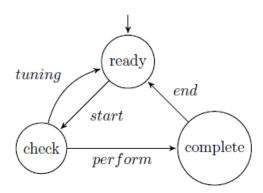


Рисунок 3.1 – ДСС модель автономного робота

Предположим, что спецификация поведения АПР требует, чтобы после первой процедуры проверки систем АПР, он возвращается в состояние настройки или калибровки датчиков до выполнения основной миссии. Автомат, генерирующий язык спецификации K, показан на рисунке 3.2.

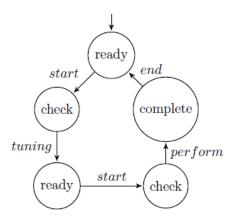


Рисунок 3.2 – Генератор языка спецификаций

В этом случае легко проверить, что K управляем и Lm(G)-замкнут, поэтому супервизор $J=(S,\,\phi)$ такой, что $K=L_m(J/G)$ существует и может быть построен на основе автомата для K. Несокращенное множество S будет иметь пять состояний $X=\{x0,\,x1,\,x2,\,x3,\,x4\}$, все маркированные, а его структура будет совпадать со структурой автомата для K. Функция ϕ показана в таблице 3.1. Прочерки обозначают что не имеет значения, включено или отключено событие в системе.

Таблица 3.1 – Таблица значений функции супервизора ф

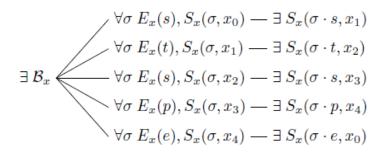
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
start	enable	_	enable	_	_
tuning	_	enable	-	disable	_
perform	_	disable	_	enable	_

Описанный выше пример ДСС может быть формализован с использованием метода ПОФ. Для этого потребуются следующие предикаты. E(x) будет интерпретироваться как «x - событие», S(x, y) будет обозначать «x - текущая последовательность событий в состоянии у». Функциональный символ «x» будет обозначать конкатенацию строк, а символ «x» будет обозначать пустую строку. Для краткости события будем записывать их первыми буквами и обозначать состояния ready, check, complete, как x_1 , x_2 и x_3 , соответственно. Генератор x_1 0, соответствующий автомату на рисунке x_1 1, описывается с помощью ПОФ следующим образом:

Здесь B – конъюнкт $\{E(t), E(s), E(p), E(e), S(\epsilon, s_1)\}.$

Рассмотрим первые шаги вывода этой формулы, чтобы продемонстрировать стратегию, которая будет генерировать язык L(G) в базовом коньюнкте B как первые аргументы атомов S. B начале поиска вывода есть единственный возможный ответ $\{\sigma \to \epsilon, x \to s_1\}$ к первому вопросу, который добавит $S(s, s_2)$ к B. Следующие шаги включают ответы на второй и третий вопросы, которые добавят $S(st, s_1)$, $S(sp, s_3)$ к B. После этих последних пополнений базы будет новый возможный ответ на первый вопрос и дополнительный ответ на последний вопрос. Но они не будут использоваться до следующего цикла обхода вопросов, т.е. правило вывода будет применяться один раз к каждому вопросу за один цикл. Первый цикл обхода вопроса завершится ответом на последний вопрос, добавив $S(spe, s_1)$ к B. Следующий цикл начинается с трех возможных ответов на первый вопрос, поскольку существует три атома S с аргументом S в базе. Один из этих ответов такой же, как и первый использованный, генерирующий $S(s, s_2)$, который будет поглощаться существующей базой, поэтому наша стратегия не будет использовать ответы, которые уже были использованы. Далее, база будет пополняться атомами $S(spes, s_2)$, $S(sts, s_2)$, затем $S(stst, s_1)$, $S(spesp, s_3)$, $S(spespe, s_1)$ и так далее.

Формула, генерирующая язык супервизора (рисунок 2), является следующей:



где Вх есть $\{Ex(t), Ex(s), Ex(p), Ex(e), Sx(\varepsilon, x_1)\}.$

Объединение супервизора и системы гарантирует, что язык спецификации будет построен. ПОФ, имитирующая параллельную работу супервизора и системы, будет следующей:

$$\forall \sigma \ E_x(s), S_x(\sigma, x_0) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot s, x_1)$$

$$\forall \sigma \ E_x(t), S_x(\sigma, x_1) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot t, x_2)$$

$$\forall \sigma \ E_x(s), S_x(\sigma, x_2) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot s, x_3)$$

$$\forall \sigma \ E_x(p), S_x(\sigma, x_3) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot p, x_4)$$

$$\forall \sigma \ E_x(p), S_x(\sigma, x_4) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot p, x_4)$$

$$\forall \sigma \ E_x(e), S_x(\sigma, x_4) \longrightarrow \exists \ S_x(\sigma \cdot e, x_0)$$

$$\forall \sigma, x \ E(s), S(\sigma, s_1), S_x(\sigma \cdot s, x) \cdot \exists \ S(\sigma \cdot s, s_2)$$

$$\forall \sigma, x \ E(t), S(\sigma, s_2), S_x(\sigma \cdot t, x) - \exists \ S(\sigma \cdot t, s_1)$$

$$\forall \sigma, x \ E(p), S(\sigma, s_2), S_x(\sigma \cdot p, x) \cdot \exists \ S(\sigma \cdot p, s_3)$$

$$\forall \sigma, x \ E(e), S(\sigma, s_3), S_x(\sigma \cdot e, x) \cdot \exists \ S(\sigma \cdot e, s_1)$$

Данная формула состоит из двух групп вопросов: первая соответствует супервизору, вторая – исходной системе после добавления атомов, описывающих состояния супервизора. Вопросы последней группы не допускают неправильных ответов, в результате которых к базе добавляются атомы, содержащие последовательности событий, не относящиеся к языку спецификации К.

Кроме того, предложен подход к построению двухуровневой системы управления группировкой автономных подводных роботов (АПР) [2] при обследовании (сканировании) придонной области путем обеспечения движения группы на заданной глубине по сгенерированным специальным образом траекториям, покрывающим исследуемую область, с сохранением заданной геометрической конфигурации (формации) группы во время рабочих ходов и избеганием столкновений с препятствиями. Выделены характерные для такой обследовательской миссии режимы функционирования группы: рабочий сканирования, режим сбора формации и режим обход препятствий. Эти режимы составляют гибридной системы управления. Синтез основу нижнего уровня регуляторов, обеспечивающих требуемое поведение системы в различных режимах, выполнен с использованием векторных функций Ляпунова с учетом дискретности по времени измерений, их погрешностей, неопределенности динамических характеристики АПР, а также ограничений на ресурсы управления. Для построения верхнего уровня управления, ответственного за переключение режимов, используется теория супервизорного управления (ТСУ) логическими ДСС. Для рассматриваемой обследовательской миссии с использованием специальных алгоритмов ТСУ построены ДСС, моделирующие на верхнем уровне поведение лидера группы, а также других роботов, действующих как ведомые. Выполнено численное моделирование построенной двухуровневой системы управления, результаты которого подтвердили работоспособность предложенного подхода.

Одной из первостепенных задач, возникающих при выполнении широкомасштабных

подводных миссий, связанных с обследованием значительного количества целей (заданий), является задача их распределения между аппаратами обследовательской группы и нахождения рационального порядка их обхода при действующих ограничениях. При решении задачи необходимо учитывать, что реальная система является полуавтономной, в ней могут возникать сбои и другие непредвиденные события, а сама программа миссии может изменяться по мере ее выполнения. При этом расчет нового группового маршрута в случае изменения условий должен производиться оперативно, чтобы уменьшить время простоя аппаратов группы, и в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, выделяемых бортовой системой. Состав действующей робототехнической группировки также не является однородным и постоянным. Аппараты группы могут различаться по своим качественным и функциональным характеристикам, набору предустановленного бортового оборудования, они могут входить в систему и оставлять ее уже в процессе выполнения миссии вследствие возникновения сбоев, ротации оборудования, добавления новых возможностей и платформ.



Рисунок 3.3 – Генератор языка спецификаций

Для решения описанной задачи групповой маршрутизации предложена схема управления группой на основе периодов функционирования [4]. Согласно разработанной схеме, осуществляется разбиение всего времени выполнения миссии на множество конечных периодов. Разбиение изначально осуществляется по предрассчитанным заранее моментам запланированной ротации АПР для восполнения запаса аккумуляторных батарей (рисунок 3.3), однако, уже в процессе выполнения миссии может обновляться в связи с возникновением незапланированных событий, изменений групповой стратегии и др. Групповой маршрут для каждого периода функционирования рассчитывается параллельно всеми аппаратами группы во время движения на предыдущем периоде с учетом ближайшей ротации АПР (уход на зарядку, возвращение с зарядки). Для согласования групповой стратегии и внесения корректировок вся действующая группировка АПР собирается в конце каждого периода для осуществления обмена данными в рамках единого информационного пространства (рисунок 3.4). Единое информационное пространство позволяет обеспечить полную актуализацию всех полученных АПР данных, обновить состав действующей группировки, осуществить корректировку параметров систем навигации и обмен

наилучшими найденными различными АПР решениями. По результатам обмена устанавливается общий единый групповой маршрут на новый период функционирования до ближайшей ротации АПР.



Рис. 3.4. Блок-схема работы группы АПР на одном периоде функционирования

Расчет группового маршрута на каждом периоде функционирования обеспечивается модификацией эволюционных разработанной алгоритмов. Предложены процедура адаптивного выбора наиболее эффективных операторов на текущем этапе вычислений и алгоритмическая схема поддержания разнообразия популяций. Оригинальные авторские эвристики и генетические операторы добавлены для гарантии получения рациональных решений уже на первой итерации алгоритма и последующей работы с исключительно допустимыми решениями. Все генерируемые решения удовлетворяют двум требованиям: на соответствие оборудования каждого АПР выделенному ему набору задач и на обязательный сбор группировки в конце периода функционирования. Механизм сохранения наилучших локальных решений обеспечивает накопление в некотором рода базы знаний для оперативного перепланирования в случае возникновения незапланированных событий. Целевая функция алгоритма построена таким образом, что строить маршруты, которые не только обеспечивают максимальную эффективность групповой работы на текущем периоде планирования, но и обеспечивают благоприятное конечное состояние миссии по окончанию движения группы. Так как это состояние будет начальным для следующего периода планирования, такой подход к построению целевой функции позволяет избежать жадной оптимизации на каждом периоде, и обеспечить эффективное выполнение миссии в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все исследования в рамках НИР выполнены в полном объеме в соответствии с государственным заданием. Содержание работы раскрыто в Плане научно-исследовательских работ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН на 2017 г.

В процессе выполнения работ на этапе НИР созданы методология и технология создания и исследования моделей сложных информационно-вычислительных и динамических систем с приложениями.

В частности разработаны:

- новые сервисно-ориентированные технологии, методы и инструментальные средств подготовки и проведения экспериментов по распределенному имитационному моделированию систем массового обслуживания с использованием высокопроизводительных вычислений, а также создана распределенная сервисно-ориентированная вычислительная среда имитационного моделирования СМО;
- эффективные методы и модели обработки больших объёмов распределённой информации (в том числе неструктурированной) для создания сервисно-ориентированной технологии анализа и поддержки принятия решений в задачах территориального развития, базирующаяся на сервисах, выполненных по стандартам Open Geospatial Consortium (OGC) и реализующая инфраструктурные функции информационно-аналитической среды (ИАС) в виде комплекса WPS-сервисов и взаимосвязанных математических моделей мониторинга, анализа состояния и развития территорий региона, в том числе с элементами пространственного анализа;
- новые методы построения интеллектуальных стратегий управления группировками автономных подводных роботов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ПРОЕКТУ

Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus

- 1. Bychkov I., Oparin G., Tchernykh A., Feoktistov A., Bogdanova V., Dyadkin Yu., Andrukhova V., Basharina O. Simulation Modeling in Heterogeneous Distributed Computing Environments to Support Decisions Making in Warehouse Logistics // Procedia Engineering. 2017. V. 201. P. 524-533.
- 2. Bychkov I., Davydov A., Nagul N., Ul'yanov S. Hybrid Control Approach to Multi-AUV System in a Surveillance Mission // Information Technology in Industry. 2017. (в печати)
- 3. Davydov A., Larionov A., Nagul N. The formal description of discrete-event systems using positively constructed formulas // 2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2017. P. 1161-1165. DOI: 10.23919/MIPRO.2017.7973599.
- 4. Kenzin M.Yu., Bychkov I.V., Maksimkin N.N. An evolutionary approach to route the heterogeneous groups of underwater robots // Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2017 40th International Convention on. 2017. P. 1328-

5. Mihailov A., Shigarov A. Rule-based spreadsheet data transformation from arbitrary to relational tables // Information Systems. — 2017. — T. 71, — C. 123 – 136.

Публикации в изданиях, индексируемых в РИНЦ

- 6. Богданова В.Г., Пашинин А.А. Web-сервис для проведения экспериментов с имитационными моделями систем массового обслуживания // Фундаментальные исследования. 2017. № 10-2. С. 177-182.
- 7. Феоктистов А.Г., Корсуков А.С., Башарина О.Ю. Классификация масштабируемых программных комплексов // Вестник ИрГТУ. 2017. № 11. С. 92-103.
- 8. Дядькин Ю.А. Автоматизация моделирования алгоритмов управления заданиями с учетом энергопотребления вычислительных ресурсов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017. № 4. С. 64-68.
- 9. Bychkov I., Oparin G., Tchernykh A., Feoktistov A., Bogdanova V., Dyadkin Yu., Andrukhova V., Basharina O. Toolkit for Simulation Modeling of Logistics Warehouse in Distributed Computing Environment // Информационные технологии и нанотехнологии: Сб. тр. III Междунар. конф. и молодежной шк. Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2017. С. 1106-1111.
- 10. Бычков И.В., Михайлов А.А., Парамонов В.В., Ружников Г.М., Шигаров А.О. ТАВВҮХL: система трансформации данных из произвольных электронных таблиц в реляционную форму // Сборник трудов «XVI Российской конференции "Распределенные информационно-вычислительные ресурсы. Наука цифровой экономике"» (DICR-2017), Новосибирск: , 2017, ИВТ СО РАН С. 150-156.
- 11. Феоктистов А.Г., Дядькин Ю.А., Фереферов Е.С., Башарина О.Ю. Моделирование систем массового обслуживания в гетерогенной распределенной вычислительной среде // Тр. VIII Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017). Санкт-Петербург: НП «НОИМ», 2017. С. 96.
- 12. Феоктистов А.Г., Дядькин Ю.А., Башарина О.Ю. Модель исследования процесса функционирования лечебно-профилактического учреждения // Техника и технологии: новые перспективы развития: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: 2017. С. 83-86.
- 13. Фёдоров Р. К., Шумилов А. С., Авраменко Ю. В. Обработка векторных данных с помощью спецификаций в соответствии с моделью MapReduce // Вестник Бурятского государственного университета. 2017. Т. 2, С. 12–19.
- 14. Фёдоров Р.К., Шумилов А.С. Расчет временной доступности для географических объектов с помощью системы распределенных сервисно-ориентированных вычислений //

- Информационные и математические технологии в науке и управлении.. 2017. T. 4, C. 94-104.
- 15. Бычков И. В., Ружников Г. М., Парамонов В. В., Шумилов А. С., Фёдоров Р. К., Будням С. Инфраструктурный подход обработки пространственных данных в задачах управления территорией // Сборник трудов всероссийской конференции "Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов" Новосибирск: 2017, ИВТ СО РАН, С. 7 9.
- 16. Бычков И.В., Хмельнов А.Е., Ружников Г.М., Фёдоров Р.К., Маджара Т.И., Верхозина А.В., Сороковой А.А. Информационно-аналитическое и телекоммуникационное обеспечение междисциплинарных научных исследований территориального развития // Материалы XII международной конференции «Окружающая среда и устойчивое развитие монгольского плато и сопредельных территорий», Улан-Удэ, БНЦ СО РАН, 2017, С. 230 233.
- 17. Бычков И. В., Хмельнов А. Е., Гаченко А. С., Никитин В. М., Абасов Н. В., Осипчук Е. Н. Подход к 3D моделированию русла реки Ангара // Материалы XII международной научной конференции "Окружающая среда и устойчивое развитие Монгольского плато и сопредельных территорий" Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2017. С. 233 235.
- 18. Давыдов А.В., Ларионов А.А.. Логический уровень управления группой роботов // Технические проблемы освоения Мирового океана: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток: ИПМТ ДВО РАН, 2017. С. 380-386.
- 19. Кензин М.Ю., Бычков И.В. Максимкин Н.Н. Гибридный эволюционный подход к маршрутизации гетерогенной группы подводных роботов // Труды XI международной Четаевской конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление» Казань). 2017. Том 1, С. 189-196.
- 20. Нагул Н.В. Сохранение свойства безотказности супервизора для дискретнособытийной системы // Труды XI международной Четаевской конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление. Том 1» (13-17 июня 2017 г., Казань). 2017. (РИНЦ)
- 21. Фёдоров Р. К., Бычков И. В., Ружников Г. М., Авраменко Ю. В. Реализация функций принадлежности в логическом методе идентификации объектов // САИТ-2017 Труды конференции Седьмая международная конференция "Системный анализ и информационные технологии" Калининград: , 2017. С. 592 596.

Прочие публикации

- 22. Bychkov I., Davydov A., Kenzin M., Maksimkin N., Nagul N., Ulyanov S. Hierarchical control of multi-AUV systems // Industry 4.0. Year II. 2017. Is. 2. P. 60-63.
- 23. Будням С., Батбилэг С., Баянжаргал Д., Ружников Г.М., Федоров Р.К. Математическая модель производственного потенциала и оценки технологической эффективности

- регионального производства // Материалы «10-ой научной конференции Финансово-Экономического Университета Монголии». 2017. Улан-Батор, — С. 94 — 100.
- 24. Feoktistov A.G., Dyadlin Yu.A., Fereferov E.S., Basharina O.Yu. Modelling of systems of means service in the heterogeneous distributed computing environment // Тр. VIII Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017). Санкт-Петербург: НП «НОИМ», 2017. С.103.
- 25. Дядькин Ю.А. Инструментальные средства имитационного моделирования процессов мультиагентного управления распределенными вычислениями // Ляпуновские чтения: Материалы конференции. Иркутск: Научно-организационный отдел ИДСТУ СО РАН, 2017. С. 64.
- 26. Шигаров А. О., Парамонов В. В. Идентификация вычисляемых значений в слабоструктурированных табличных документах // Материалы международной научной конференции "Информационные технологии и системы-2017" (ИТС-2017) Международная научная конференция "Информационные технологии и системы-2017" Минск: БГУИР, 2017. С. 256 257.

Свидетельства об официальной регистрации программ

27. Дядькин Ю.А. Генератор имитационной модели. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017610648. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2017.