

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

Подкорытов Дмитрий Игоревич

**Разработка отказоустойчивых мульти-агентных
средств имитационного моделирования систем
с дискретными событиями**

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: **Родионов Алексей Сергеевич**, д.т.н., с.н.с.

Официальные оппоненты: **Окольнишников Виктор Васильевич**, д.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник КТИ ВТ СО РАН

Куликов Игорь Михайлович, к.ф.-м.н., научный сотрудник ИВМиМГ СО РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “**Новосибирский государственный технический университет**”

Защита состоится **02 октября 2012г.** в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 003.061.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 630090, г. Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 6

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан 1 сентября 2012г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н., проф.



Сорокин Сергей Борисович

Общая характеристика работы

Актуальность работы: Имитационное моделирование с применением информационных технологий – эффективный и широко распространенный метод исследования сложных систем, используемый практически во всех отраслях науки и техники. Параллельное исполнение имитационных моделей является признанным способом ускорения экспериментов. Необходимость распараллеливания обуславливается потребностями построения детализированных моделей, обладающих высокой степенью правдоподобия. Одним из современных подходов к организации параллельных моделей является применение мульти-агентных систем (МАС).

Цель диссертационной работы состоит в разработке масштабируемой, отказоустойчивой, агентно-ориентированной среды имитационного моделирования комплексных неоднородных систем с дискретными событиями, а так же в создании масштабных моделей конкретных систем, работающих в этой среде.

Основные задачи работы. В диссертации поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследованы существующие современные системы имитационного моделирования, в частности, системы, использующие мульти-агентный подход.
2. Разработана архитектура МАС имитационного моделирования AGNES (AGent NETwork Simulator).
3. Разработаны и реализованы:
 - среда исполнения AGNES.
 - библиотека агентов для построения моделей локально-вычислитель-

ных сетей, и модель исследования методов проведения и средств защиты от DDoS атак.

- библиотека агентов для построения моделей сенсорных сетей, и модель исследования способов маршрутизации в сенсорных сетях.
- библиотека агентов для построения моделей больших параллельных вычислений, и модели ряда алгоритмов больших вычислений для анализа их масштабируемости.

Научная новизна заключается в:

- разработке новой архитектуры системы мульти-агентного имитационного моделирования систем с дискретными событиями;
- предложении нового механизма обеспечения отказоустойчивости исполнения имитационных моделей;
- разработке новых моделей алгоритмов высокопроизводительных вычислений и поведения локальных и сенсорных сетей.

Практическая значимость работы продемонстрирована на примере разработки имитационных моделей “супер” вычислений, которые использованы при выполнении Государственного контракта № 07.514.11.4016 “Исследования и разработка методов имитационного моделирования функционирования гибридных эксафлопсных вычислительных систем” в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы”.

Основные защищаемые положения. Основными защищаемыми положениями диссертационной работы являются:

1. Мульти-агентная система имитационного моделирования AGNES (AGent NEtwork Simulator).

2. Специальные методики повышения отказоустойчивости мульти-агентной среды моделирования.
3. Имитационная модель SYN flood атаки на ЛВС и средств защиты от неё. Найдены пути по повышению эффективности атаки, а также потенциальные возможности, для повышения эффективности защиты.
4. Имитационная модель сенсорной беспроводной сети, предназначенная для сравнительного анализа алгоритмов широкополосной доставки сообщений.
5. Имитационные модели вычислений сеточных методов и методов статистического моделирования Монте-Карло. Результаты имитационного моделирования вычисления методов Монте-Карло, позволившие улучшить структуру алгоритма для исполнения на высокопроизводительных (более 100,000 ядер) вычислительных системах.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях:

- Всероссийская конференция “Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования”, Новосибирск, 2012
- 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, Kuala Lumpur, Malaysia, 2012
- Международная суперкомпьютерная конференция “Научный сервис в сети Интернет: экзафлопсное будущее”, Абрау-Дюрсо, 2011
- Конференция молодых ученых ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, 2011
- 8-я Российская конференция с международным участием “Новые информационные технологии в исследовании сложных структур”, Томск,

2010

- Пятая международная научная конференция по проблемам безопасности и противодействия терроризму, Москва, 2009
- XLVII Международная научная студенческая конференция, Новосибирск, 2009

Публикации. Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в 5 печатной работе соискателя [1–6], включая 2 работы в журнале из списка ВАК и 1 регистрацию программы в Фонде Алгоритмов и Программ СО РАН.

Личный вклад автора. В перечисленных работах все результаты, связанные с разработкой принципов и средств обеспечения отказоустойчивости исполнения, программной реализацией системы AGNES, разработкой и реализацией имитационных моделей описанных в работе, получены автором лично. Разработка архитектуры системы AGNES выполнена совместно с А.С. Родионовым, интерпретация результатов моделирования в работах [3, 4] выполнена совместно с соавторами этих работ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения, библиографии и приложения с кодом агента. Общий объём диссертации 96 страниц, из них 83 страницы текста, включая 26 рисунков. Библиография включает 67 наименований на 8 страницах.

Первая глава диссертации посвящена исследованию современных подходов имитационного моделирования. В этой главе приводится описание и сравнительный анализ наиболее популярных подходов и продуктов.

Вторая глава описывает разработанную систему мульти-агентного имитационного моделирования AGNES. Описываются архитектурные особен-

сти и преимущества системы, а так же приводится пример создание модели, работающей в AGNES.

Третья глава описывает реальные задачи, которые решались с использованием имитационного моделирования, модели построенные для решения этих задач и анализ полученных результатов.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе рассматриваются существующие подходы к имитационному моделированию, существующие средства мульти-агентного моделирования, выставляются требования к мульти-агентной системе моделирования, а так же на основании обзора делаются выбор в пользу JADE, в качестве основы разрабатываемых средств моделирования систем с дискретными событиями.

Цель имитационного моделирования состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами или другими словами – разработке симулятора исследуемой предметной области для проведения различных экспериментов. Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. Причём плюсом является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Можно имитировать поведение тех объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны. С наступлением эпохи персональных ком-

пьютеров производство сложных и уникальных изделий, как правило, сопровождается компьютерным трёхмерным имитационным моделированием.

Агентное моделирование – относительно новое направление в имитационном моделировании, которое используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы[7]. Цель агентных моделей – получить представление об этих глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении её отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе. Каждый из агентов взаимодействует с другими агентами, которые образуют для него внешнюю среду, и в процессе функционирования может изменить как внешнюю среду, так и свое поведение. Обычно в таких системах не существует глобального централизованного управления, агенты функционируют по своим законам асинхронно.

Платформа JADE (Java Agent DEvelopment Framework)[8] – это бесплатное программное обеспечение, распространяемое в исходных кодах и написанное на java. Она состоит из двух взаимосвязанных компонент. С одной стороны JADE — это среда разработки java-агентов, а с другой — это платформа, в рамках которой могут функционировать эти агенты. JADE ориентировано на использование спецификации FIPA (the Foundation for Intelligent Physical Agents).

Для системы моделирования важны следующие характеристики:

- Кросс-платформенность.
- Возможность распределенного запуска.
- Возможность полунатурного моделирования.

- Отказоустойчивость.
- “Простота” усвоения системы моделирования.

Почти все из этих свойств есть в JADE, что позволяет сфокусировать все усилия на создание среды моделирования на готовой МАС, повышение отказоустойчивости и улучшения простоты использования.

Во второй главе приводится архитектура AGNES, дается детальное описание основных управляющих агентов, образующих среду имитационного моделирования, даётся описание механизмов обеспечения отказоустойчивости, а так же приводится пример создания простой модели.

Среда моделирования AGNES состоит из агентов, которых можно разделить на две группы: управляющие агенты, которые создают среду моделирования, и функциональные агентов, которые образуют модель, работающую в среде моделирования. Основная задача функциональных агентов – это имитация работы исследуемой системы. Основные задачи управляющих агентов:

- Инициализация и запуск модели
- Сбор и хранение информации о ходе моделирования
- Синхронизация модельного времени
- Перераспределение нагрузки между вычислителями, участвующими в моделировании
- Взаимодействие с пользователем (вывод отчетов и предоставление возможности влиять на ход моделирования)
- Обеспечение отказоустойчивости, восстановление модели
- Балансировка нагрузки

Внутри AGNES циркулируют два типа сообщений: управляющие команды и информационные сообщения внутри модели. Для обеспечения отказоустойчивости, AGNES реализует несколько механизмов.

- Отсутствие централизованного хранения данных для восстановления. Хранение необходимой информации ведется подобно peer-to-peer сетям, т.е. информация располагается частями на разных агентах среды моделирования, и эта информация хранится с избытком, для гарантии её восстановления.
- Динамическое изменение хранилищ информации во время работы среды моделирования. То есть в ходе моделирования хранилище данных о конкретном агенте изменяется, эта обязанность переходит от одного агента к другому.

Т.е. основные принципы улучшенной отказоустойчивости среды моделирования, это децентрализация хранилищ и избыточность информации. Эффективность средств обеспечения отказоустойчивости проверена на экспериментах с физическими нарушениями аппаратной среды (локальной сети персональных ЭВМ) исполнения модели сенсорной сети.

Основными особенностями архитектуры AGNES являются:

- разделение агентов среды моделирования на управляющих и функциональных;
- включение в стандартные интерфейсы агентов средств взаимодействия в интересах обеспечения отказоустойчивости;
- использование системы JADE в качестве платформы, что избавляет разработчика моделей от необходимости заботиться о базовых функциях МАС: средствах взаимодействия, регистрации агентов, распределённого запуска приложения, совместимости с другими МАС и т.д.

Результаты второй главы опубликованы в работе [5, 6].

В третьей главе рассматриваются реальные задачи, исследования которых проводилось при помощи среды моделирования AGNES

Модель исследования DDoS атак типа SYN flood и средств защиты от них создавалась в рамках выполнения Проекта 1.1.7. (2.2.6) СО РАН “Исследование и разработка математического аппарата и программной среды для решения задач анализа и синтеза систем информатики”. Для модели были созданы следующие функциональные агенты:

- Web сервер (имитация HTTP и FTP серверов);
- Web клиент (имитация действия обычного пользователя Интернет);
- клиент-“зомби” (пользователь зараженный вредоносным ПО, проводящим атаку);
- консоль-атаки (инициатор и координатор проведения атаки SYN flood).

Проводились различные испытания с целью повышения эффективности атаки, от простой атаки, когда все “зомби” пытаются завалить запросами “жертву”, до более интеллектуальной, когда атака проходит небольшими, но интенсивными частями, с целью забить пул соединений к серверу, но не быть обнаруженной.

Модель беспроводной сенсорной сети создана для исследования алгоритмов передачи сообщений внутри сети. На модели пробовались алгоритмы доставки сообщений с минимальным количеством передач до хранилища, когда шла широковещательная передача сообщения, и энергосберегающий алгоритм, когда сообщения шли только по узлам покрывающего множества. В AGNES есть специальный графический пакет для отображения графоподобных моделей. Пример сенсорной сети в этом пакете показан на рисунке 1.

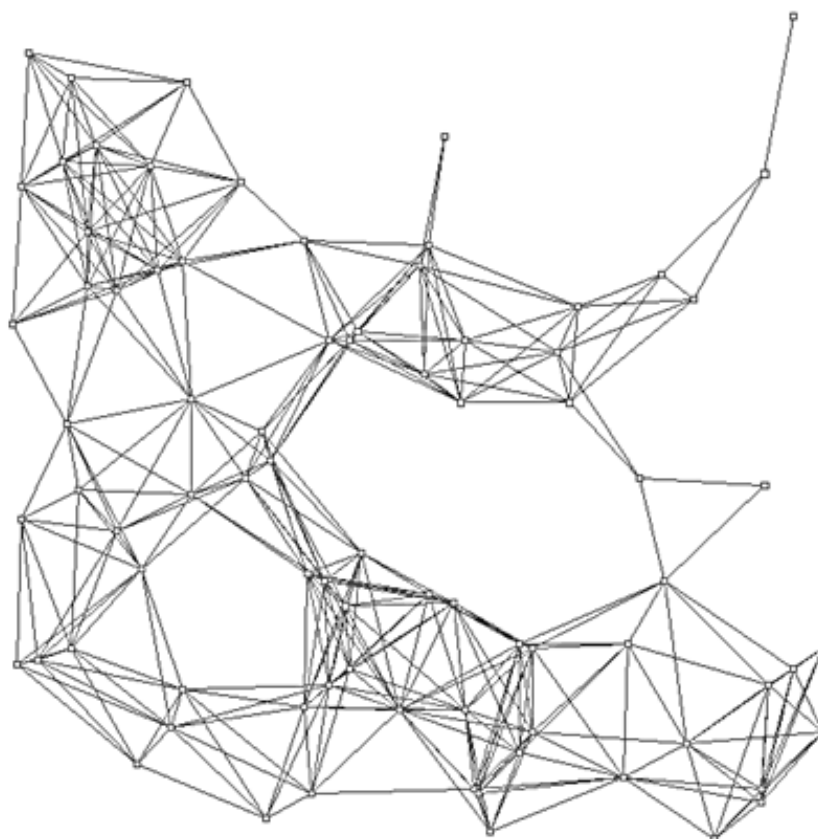


Рис. 1. Модель сенсорной сети в среде моделирования AGNES.

Модели вычислений созданы в рамках выполнения Государственного контракта № 07.514.11.4016 “Исследования и разработка методов имитационного моделирования функционирования гибридных экзафлопсных вычислительных систем” в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы”.

В качестве алгоритмов для исследования были выбраны методы статистического моделирования (методы Монте-Карло) и сеточные методы. Атомарной, независимой частицы в модели вычислений выбран вычислительный узел и исполняемый на нем код алгоритма. Каждый функциональный агент эмулирует поведение вычислительного узла кластера, и программу вычислений, работающую на этом узле. Вычисления в модели представляются в виде

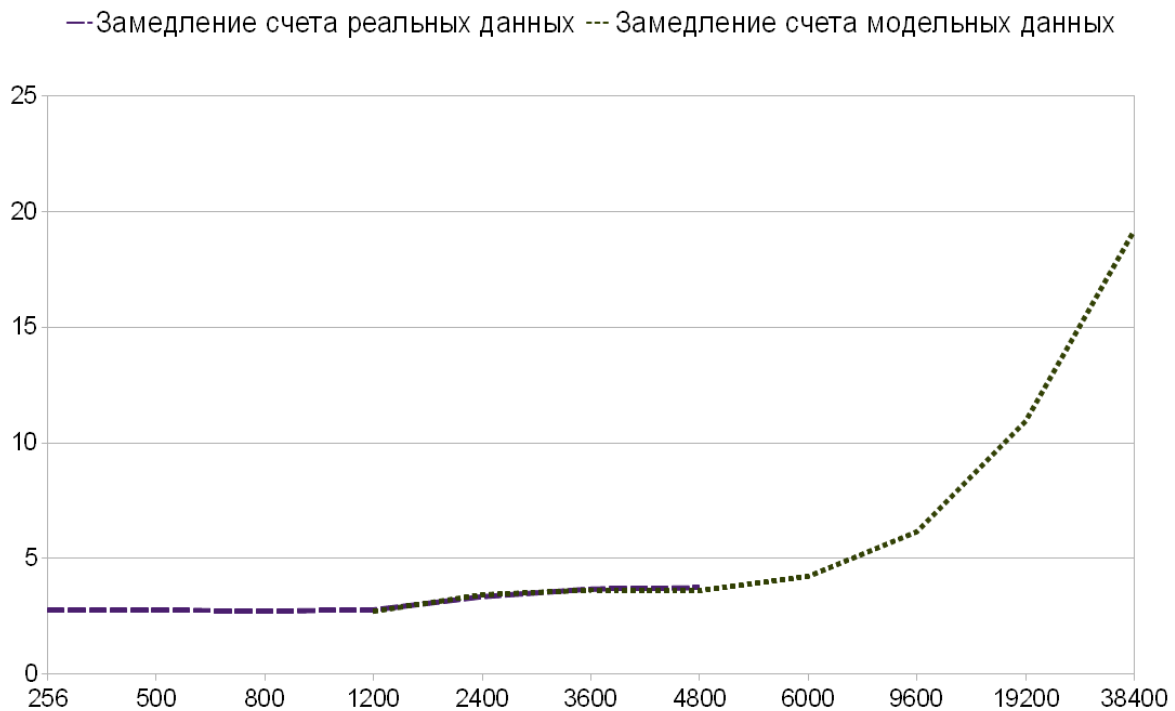


Рис. 2. Ухудшение производительности при росте количества вычислителей.

набора примитивных операций и временных характеристик каждой операции.

В результате исследования сеточных методов, следует отметить, что алгоритм хорошо распараллеливается до определенного предела, а затем происходит падение эффективности. Как видно из рисунка 2 на небольших объемах вычислений алгоритм ведёт себя хорошо и рост производительности линеен, т.е. прямо пропорционален увеличению ресурсов, но с ростом количества вычислителей, прирост производительности начинает существенно ухудшаться. После 10 тысяч вычислителей, при росте количества вычислителей, общее время счета уменьшается незначительно, а длительность одной итерации заметно возрастает. Модельные результаты подтвердили себя в реальных экспериментах.

Во время исследований методов Монте-Карло, на модели был замечен эффект, что до определенного момента идет линейный рост производительности

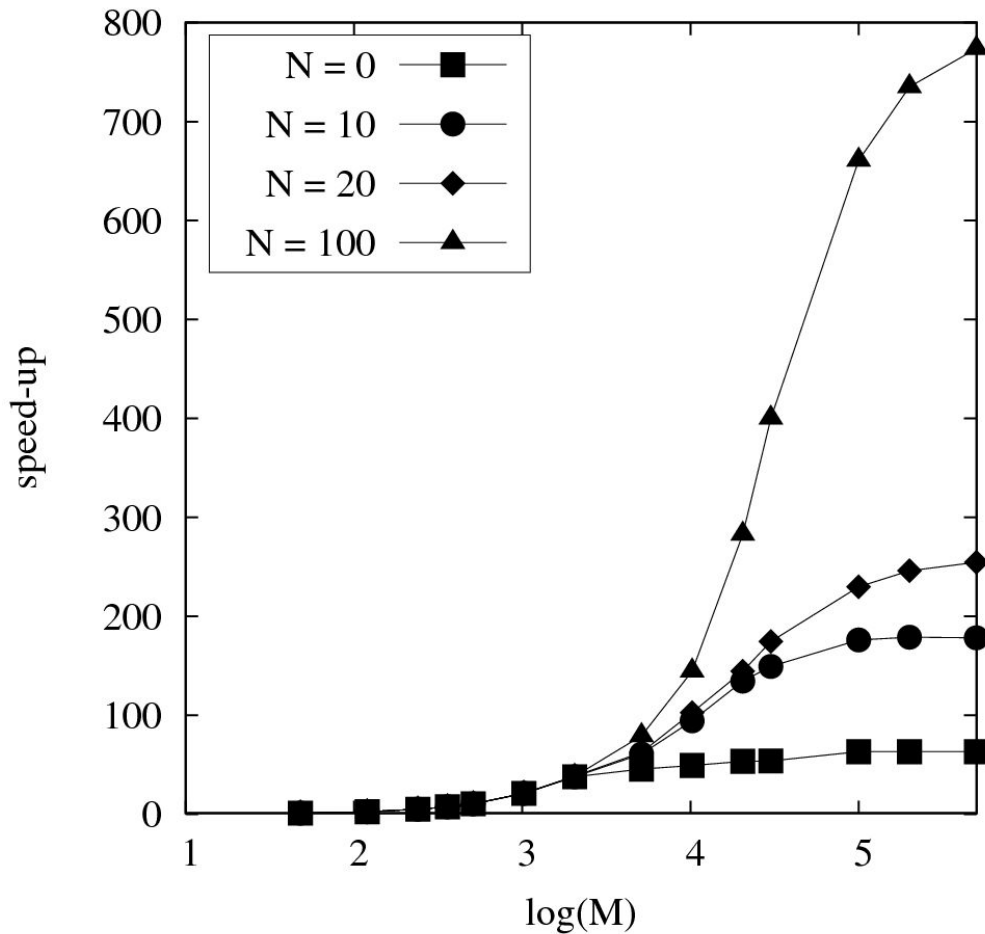


Рис. 3. Сравнение ускорения распределенного статистического моделирования для разных вариантов организации обмена данными для числа ядер M до 500 000 (горизонтальная ось – в логарифмическом масштабе).

сти, а затем наступает момент (после 100,000 агентов), когда узел-“сборщик” не справляется с потоком приходящих на него данных. Реальные эксперименты подтвердили подобный артефакт. Было предложено изменение схемы вычислений с введением иерархической системы узлов-“сборщиков”, результаты моделирования показаны на рисунке 3. Моделирование вычислений методов Монте-Карло позволило оптимизировать алгоритм реальных больших вычислений, а затем этот подход был применен на практике.

Результаты третьей главы опубликованы в работах [1, 3, 4].

В Заключение сформулированы основные результаты, полученные в

рамках диссертационной работы.

Основные результаты:

1. Мульти-агентная система имитационного моделирования AGNES (AGent NEtwork Simulator).
2. Специальные методики повышения отказоустойчивости мульти-агентной среды моделирования.
3. Имитационная модель SYN flood атаки на ЛВС и средств защиты от неё. Найдены пути по повышению эффективности атаки, а также потенциальные возможности, для повышения эффективности защиты.
4. Имитационная модель сенсорной беспроводной сети, предназначенная для сравнительного анализа алгоритмов широкополосной доставки сообщений.
5. Имитационные модели вычислений сеточных методов и методов статистического моделирования Монте-Карло. Результаты имитационного моделирования вычисления методов Монте-Карло, позволившие улучшить структуру алгоритма для исполнения на высокопроизводительных (более 100,000 ядер) вычислительных системах.

Список публикаций

1. Подкорытов Д.И. Мультиагентное моделирование DDoS атак // ИВМиМГ СО РАН. Труды Конференции молодых учёных ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск. 2008.
2. Родионов А.С., Подкорытов Д.И. Агентно-ориентированная среда моделирования сетевых систем AGNES // Новые информационные

технологии в исследовании сложных структур: тезисы докладов Восьмой Российской конференции с международным участием. Томск: Изд-во: НТЛ, 2010, 05 - 08 октября 2010 года. С.24.

3. Podkorytov D., Rodionov A. S., Sokolova O., Yurgenson A. Using Agent-Oriented Simulation System AGNES for Evaluation of Sensor Networks // MA-COM / Ed. by A. V. Vinel, B. Bellalta, C. Sacchi et al. Vol. 6235 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2010. P. 247–250.
4. Глинский Б.М., Родионов А.С., Марченко М.А., Подкорытов Д.И., Винс Д.В. Агентно-ориентированный подход к имитационному моделированию суперЭВМ экзафлопсной производительности в приложении к распределенному статистическому моделированию // Вестник ЮУрГУ, 2012. № 18 (277), Вып. 12., С. 93-106.
5. Podkorytov D., Rodionov A. S., Choo H. Agent-based simulation system *AGNES** for networks modeling: review and researching // ICUIMC / Ed. by S.-H. Lee, L. Hanzo, R. Ismail et al. ACM, 2012. P. 115.
6. Подкорытов Д.И. Агентно-ориентированная среда моделирования сетевых систем AGNES // Ползуновский вестник, 2012. № 2/1, С. 94-99.

Цитированная литература

7. Wooldridge M. Introduction to MultiAgent Systems. England: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002.
8. Bellifemine F. L., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Wiley, 2007.