

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ
имени В.М. МАТРОСОВА
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИДСТУ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИДСТУ СО РАН
академик

И.В. Бычков
«05» ноября 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация **«Модели, алгоритмы и инструментальные средства поддержки мультиагентного управления потоками вычислительных заданий»** выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН). В период подготовки диссертации соискатель **Костромин Роман Олегович** работал в ИДСТУ СО РАН в должностях программиста и младшего научного сотрудника лаборатории 5.1. Параллельных и распределенных вычислительных систем. В 2015 г. Костромин Р.О. окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», специальность – «230101 Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».

Сведения о сданных кандидатских экзаменах подтверждаются приложением к диплому об окончании аспирантуры № 103824 3465178 от 21.06.2019, регистрационный номер АИ-0004, выданным Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институте динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Феоктистов Александр Геннадьевич, заведующий лабораторией 5.1 параллельных и распределенных вычислительных систем ИДСТУ СО РАН.

Диссертация Костромин Р.О. посвящена разработке новых инструментальных средств, обеспечивающих снижение трудозатрат при построении мультиагентных систем по сравнению с существующими инструментариями, а также моделей и алгоритмов работы агентов создаваемых систем, позволяющих улучшить показатели (качество обслуживания очереди заданий, время и надежность их выполнения, балансировку загрузки ресурсов) управления потоками вычислительных заданий в разнородной распределенной вычислительной среде по сравнению с известными метапланировщиками.

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время как в России, так и за рубежом, ведутся активные исследования, связанные с созданием и применением высокопроизводительных вычислительных систем

различного назначения на основе парадигм Grid и облачных вычислений. В связи с высокой интенсивностью потоков вычислительных заданий в таких системах необходимо эффективное и гибкое управление ими на метауровне.

Эффективность управления состоит в обеспечении высокого качества обслуживания очередей заданий, повышении надежности выполнения заданий, минимизации времени решения задач, поддержки равномерной балансировки загрузки ресурсов и достижения других заданных показателей. Гибкость управления заключается в рациональном предоставлении ресурсов, необходимых для выполнения заданий, в динамически изменяющихся системах.

В процессе управления потоками заданий требуется детальный учет и согласование критериев пользователей, определяемых спецификой решаемых задач, и предпочтений владельцев ресурсов, вытекающих из их характеристик. Как правило, распределенная вычислительная система (РВС), интегрирующая модели Grid и облачных вычислений, обладает рядом свойств, существенно усложняющих унификацию процесса управления заданиями. К свойствам такого рода, например, относятся архитектурно-функциональная разнородность, неполнота описания и динамичность ресурсов, широта спектра задач, решаемых с помощью этих ресурсов, наличие различных категорий пользователей, преследующих свои цели и задачи эксплуатации вычислительной среды. Известные модели, методы, алгоритмы и программные средства централизованного управления потоками заданий не решают перечисленные выше проблемы полностью.

В связи с этим возникает необходимость разработки новой эффективной и гибкой системы управления потоками заданий. Для решения данной проблемы целесообразно использование принципов организации распределенного группового управления. Качество управления, осуществляемого отдельными компонентами, обеспечивается наличием у них более полных локальных знаний об управляемых ими ресурсах по сравнению с централизованной системой.

Учитывая динамическую природу РВС, целесообразно применять адаптивное предоставление ресурсов в процессе управления потоками заданий. В этом случае перспективным подходом является использование мультиагентных технологий. В рамках такого подхода отдельные ресурсы представляются специализированными приложениями (агентами), образующими в совокупности мультиагентную систему (МАС) управления. Анализ результатов исследований в области самоорганизации вычислительных систем показывает, что эффективное управление потоками заданий с помощью МАС достигается за счет применения алгоритмов работы агентов, адаптирующихся в процессе выполнения к текущим условиям и состоянию функционирования среды в соответствии с заданной целью, установленными критериями качества решения задачи и использования ресурсов, а также знаниями об особенностях предметных областей решаемых задач.

Построение проблемно-ориентированной самоорганизующейся МАС порождает ряд проблем, связанных с автоматизацией разработки агентов и агентных платформ, реализации алгоритмов функционирования агентов, а также накопления и применения предметных знаний агентами. Существующие в настоящее время инструменты для создания МАС не позволяют решить вышеперечисленные проблемы в полной мере.

Основные результаты диссертации:

1. ролевая модель поведения агентов, базирующаяся, в отличие от известных, на использовании конечных управляющих автоматов с динамическим планированием их состояний-действий в разнородной РВС на концептуальной модели среды и применении механизма порождения дочерних автоматов для реализации специфических ролей в возникающих виртуальных сообществах;

2. система машинного обучения агентов, которая основывается на применении новой гибридной модели представления знаний, обеспечивающей интегрированное использование концептуального и имитационного моделирования, классификации заданий и параметрической настройки алгоритмов работы агентов в качестве методов обучения в сочетании с процессами самостоятельного извлечения и передачи знаний агентами;

3. мультиагентный алгоритм перераспределения ресурсов разнородной РВС в случае отказа ее программно-аппаратных средств, реализующий адаптивное мультисценарное решение данной проблемы на основе конкретизирующего программирования и тем самым существенно повышающий отказоустойчивость процесса выполнения заданий под управлением МАС по сравнению с метапланировщиками GridWay и Condor DAGMan;

4. инструментальный комплекс построения МАС, обеспечивающий по сравнению с известными инструментариями сокращение трудозатрат на реализацию разработанных моделей, алгоритмов и системы в целом путем автоматизации основных этапов разработки, настройки, конфигурации и применения агентов.

Научная новизна диссертации заключается в интеграции уникальной совокупности методов и средств концептуального, имитационного, конкретизирующего и автоматного программирования, классификации заданий и параметрической настройки алгоритмов работы агентов в качестве основы их машинного обучения, организации распределенных вычислений и управления ими в процессе создания и применения оригинальных мультиагентных моделей, алгоритмов и системы управления потоками заданий в разнородной РВС, а также инструментальных средств их разработки.

Практическая значимость результатов проведенного исследования состоит в существенном улучшении качества обслуживания очередей заданий, минимизации времени решения задач, повышении надежности их выполнения и сбалансированной загрузке ресурсов по сравнению с известными метапланировщиками GridWay и CondorDAGMan.

Созданное программное обеспечение зарегистрировано в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, свидетельства № 2017663706 и № 2018616092.

Достоверность результатов проведенного исследования обеспечена:

- корректным применением классических методов исследования;
- согласованностью с результатами исследований других авторов, представленных в печатных изданиях;
- анализом адекватности разработанных моделей и алгоритмов на основе полунатурного моделирования.

Полнота изложения результатов диссертации в печатных работах, опубликованных соискателем, подтверждается следующим перечнем работ:

Статьи в журналах из списка рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание учёной степени кандидата и доктора наук:

1. Костромин, Р.О. Мультиагентный алгоритм построения остаточной схемы решения задачи в распределенных пакетах прикладных программ / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин, И.А. Сидоров, С.А. Горский // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2018. — № 8. — С. 59–69.

2. Костромин, Р.О. Управление заданиями в гетерогенной распределенной вычислительной среде на основе знаний / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин, Ю.А. Дядькин // Вестник компьютерных и информационных технологий. — 2018. — № 2. — С. 10–17.

3. Kostromin, R. Virtualization of Heterogeneous HPC-clusters Based on OpenStack Platform / A. Feoktistov, I. Sidorov, R. Kostromin, V. Sergeev, V. Bogdanova // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. Вычислительная математика и информатика. — 2017. — Т. 6, № 2. — С. 37–48.

4. Костромин, Р.О. Разработка и применение предметно-ориентированных мультиагентных систем управления распределенными вычислениями / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2016. — № 11. — С. 65–75.

5. Костромин, Р.О. Мультиагентный алгоритм перераспределения вычислительных ресурсов для остаточной схемы решения задачи в Grid / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 9, ч. 2. — С. 244–248.

6. Костромин, Р.О. Модели, методы и средства управления вычислениями в интегрированной кластерной системе / Р.О. Костромин // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 6, ч. 1. — С. 35–38.

Публикации в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus:

7. Kostromin, R. Multi-agent Algorithm for Re-allocating Grid-resources and Improving Fault-tolerance of Problem-solving Processes / A. Feoktistov, R. Kostromin, I. Sidorov, S. Gorsky, G. Oparin // *Procedia Computer Science*. — 2019. — V. 150. — P. 171–178.

8. Kostromin, R. Orlando Tools: Development, Training, and Use of Scalable Applications in Heterogeneous Distributed Computing Environments / A. Tchernykh, A. Feoktistov, S. Gorsky, I. Sidorov, R. Kostromin, I. Bychkov, O. Basharina, A. Alexandrov, R. Rivera-Rodriguez // *Communications in Computer Information Science*. — 2019. — V. 979. — P. 265–279.

9. Kostromin, R. Agent Behavior Model for Distributed Computing Management in the Environment with Virtualized Resources / A. Feoktistov, R. Kostromin, A. Chernykh // *Proceedings of the 41th International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO-2018)*. — Riejka: IEEE, 2018. — P. 1153–1158.

10. Kostromin, R. Development of Distributed Subject-Oriented Applications for Cloud Computing through the Integration of Conceptual and Modular Programming / A. Feoktistov, R. Kostromin, I. Sidorov, S. Gorsky // *Proceedings of the 41th International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO-2018)*. — Riejka: IEEE, 2018. — P. 256–261.

11. Kostromin, R. Machine Learning in a Multi-Agent System for Distributed Computing Management / I. Bychkov, A. Feoktistov, R. Kostromin, I. Sidorov, A. Edelev, S. Gorsky // *Data Science Information Technology and Nanotechnology 2018: CEUR-WS Proc.* — 2018. — V. 2212. — P. 89–97.

12. Kostromin, R. Multi-Agent Approach for Dynamic Elasticity of Virtual Machines Provisioning in Heterogeneous Distributed Computing Environment / A. Feoktistov, I. Sidorov, A. Tchernykh, V. Zorkalzev, S. Gorsky, R. Kostromin, I. Bychkov, A. Avetisyan // *Proceedings of the International Conference on High Performance Computing and Simulation (HPCS-2018)*. — IEEE, 2018. — P. 909–916.

13. Kostromin, R. Job Flow Management for Virtualized Resources of Heterogeneous Distributed Computing Environment / I. Bychkov, A. Feoktistov, I. Sidorov, R. Kostromin // *Procedia Engineering*. — 2017. — Vol. 201. — P. 534–542.

14. Kostromin, R. Knowledge Elicitation in Multi-Agent System for Distributed Computing Management / A. Feoktistov, A. Tchernykh, S. Gorsky, R. Kostromin // *Proceedings of the 40th International Convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO-2017)*. — Riejka: IEEE, 2017. — P. 1350–1355.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

15. Программа мониторинга очередей заданий в гетерогенной распределенной вычислительной среде: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 10.04.2018 № 2018616092 / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин. — М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ), 2018.

16. Библиотека алгоритмов для эффективного извлечения и применения проблемно-ориентированных знаний агентами: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 11.12.2017 № 2017663706 / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин. — М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ), 2017.

Статьи в других изданиях:

17. Костромин, Р.О. Обзор инструментальных средств организации мультиагентных систем / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин // *Фундаментальные проблемы науки: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч.* — Уфа: АЭТЕРНА, 2016. — Ч. 1 — С. 68–72.

18. Костромин, Р.О. Обзор мультиагентных систем управления масштабируемыми приложениями / А.Г. Феоктистов, Р.О. Костромин // *Фундаментальные проблемы науки: Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч.* — Уфа: АЭТЕРНА, 2016. — Ч. 1 — С. 72–76.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту научные положения получены соискателем лично. В основных научных работах по теме диссертации, опубликованных в соавторстве, лично соискателем разработаны: в [4, 17, 18] – сравнительный анализ методов и средств организации МАС; в [2, 10, 11–14, 16] – ролевая модель поведения агентов и алгоритмы их функционирования; в [1, 3, 5, 7–9, 15] – инструментальные средства создания агентов и результаты вычислительных экспериментов в рамках полунатурного моделирования мультиагентной системы.

Ценность научных работ соискателя и их апробация подтверждена:

- Справкой от 06.05.2019 г. об использовании разработанного программного обеспечения в Международном институте экономики и лингвистики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» (МИЭЛ ФГБОУ ВО «ИГУ») в рамках НИР № 111-15-701 «Разработка и внедрение комплексов автоматизированного анализа и систематизации научных данных» (2017-2019 гг., научный руководитель к.т.н., проф. Дмитриев В.И.).

- Дипломом за победу в конкурсе молодых ученых в номинации «Лучший аспирант ИДСТУ СО РАН» на конференции «Ляпуновские чтения – 2016», г. Иркутск, 2016 г.

- Грамотой за лучший доклад на локальной конференции УРСС-2017 10-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2017), с. Дивноморское, 2017 г.

- Дипломом за лучший доклад по информатике на конференции «Ляпуновские чтения – 2017», г. Иркутск, 2017 г.

- Именными стипендия Губернатора Иркутской области и Мэра города Иркутска.

- Дипломом за лучший доклад среди молодых ученых на секции «Информационные технологии распознавание образов» VIII Международной конференции «САИТ-2019».

- Участием в конференциях: 13th International Symposium «Intelligent Systems» (INTELS-2018, Санкт-Петербург, Россия, 2018 г.), International Symposium on Cloud Computing and Services for High Performance Computing Systems (HPCS-2018, Орлеан, Франция, 2018 г.), 41st International Convention on Information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO-2018, Опатия, Хорватия, 2018 г.), 4th International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT-2018, Самара, Россия, 2018 г.), XLVI Международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании и управлении» (IT+S&E`17, Гурзуф, Россия, 2017 г.), IV Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ–2017, Дивноморское, Россия, 2017 г.), XXII и XXIII Байкальской Всероссийской конференции с международным участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (ИМТ, Иркутск – Байкал, Россия, 2017–2018 гг.), Multidisciplinary youth academic research conference on Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century (Иркутск, Россия, 2017 г.), XIII Всероссийской конференции молодых ученых «Моделирование, оптимизация и информационные технологии» (Иркутск, Россия, 2017 г.), конференции «Ляпуновские чтения» (Иркутск, Россия, 2016–2019 гг.), IV и V Всероссийской научно-технической конференции «Суперкомпьютерные технологии» (СКТ, Дивноморское, Россия, 2016, 2018 гг.), XVI и XVIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Красноярск, Россия, 2015 г.; Иркутск, Россия, 2017 г.), XV Молодежной научно-практической конференции «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы» (Иркутск, Россия, 2015 г.).

Отдельные результаты диссертационного исследования были получены в рамках следующих научно-технических работ: проектов РФФИ № 14-08 3162-мол_а «Методические подходы и комплекс программ для оптимизации режимов работы крупных ТЭЦ», № 16-07-00931-а «Методология и инструментальные средства разработки и применения проблемно-ориентированных мультиагентных систем управления масштабируемыми вычислениями в разнородной распределенной вычислительной среде» и № 19-07-00097-а «Фундаментальные

проблемы непрерывной интеграции функционального наполнения распределенных пакетов прикладных программ на основе инженерии знаний»; проекта «Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров» программы фундаментальных исследований президиума РАН № 27; проекта «Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах» программы фундаментальных исследований президиума РАН № 30; базовых тем исследований ИДСТУ СО РАН № IV.38.1.2 «Разработка проблемно-ориентированных технологий, систем и сервисов поддержки научных исследований на основе интеллектуальных методов и алгоритмов организации параллельных и распределенных вычислений» и № IV.38.1.1 «Технологии разработки проблемно-ориентированных самоорганизующихся мультиагентных систем группового управления: методы, инструментальные средства, приложения». Основные результаты диссертации и её отдельные положения, а также результаты конкретных прикладных исследований и разработок обсуждались на научных семинарах ИДСТУ СО РАН.

Соответствие паспорту специальности. В соответствии с паспортом специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, диссертационная работа Костромина Р.О. охватывает решение задач организации эффективного взаимодействия программ и программных систем (включая создание и применение мультиагентных моделей, алгоритмов и инструментальных средств) с целью повышения качества управления потоками вычислительных заданий в разнородной вычислительной среде.

Отраженные в диссертационной работе положения соответствуют пунктам 3, 8 области исследований специальности 05.13.11:

- модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем;
- модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования.

Диссертационное исследование Костромина Р.О. «Модели, алгоритмы и инструментальные средства поддержки мультиагентного управления потоками вычислительных заданий» является самостоятельной научно-квалификационной работой. Работа соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, не содержит заимствованного материала без ссылок на автора и (или) источник заимствования.

Диссертационная работа Костромина Р.О. «Модели, алгоритмы и инструментальные средства поддержки мультиагентного управления потоками вычислительных заданий» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Заключение принято на заседании Семинара по вычислительным технологиям ИДСТУ СО РАН. На заседании присутствовало 17 чел. Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – 0, «воздержались» – 0 (протокол № 2 от 05 ноября 2020 г.).

Зам. директора по научной работе
д.т.н., профессор

Г.А. Опарин