



**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРАММАМ РАН
И ИНТЕГРАЦИОННЫМ ПРОЕКТАМ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН**

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН I.27.
«Фундаментальные проблемы решения сложных практических задач с помощью суперкомпьютеров»

Координатор программы – ак. В.Б. Бетелин

Проект **«Методы и средства решения трудных переборных задач с помощью суперкомпьютеров»**

№ гос. регистрации: АААА-А18-118031590005-5

Научный руководитель проекта: ак. И.В. Бычков

1. Разработана архитектура новой программной платформы для автоматизации создания и поддержки функционирования распределенных приложений на основе микросервисного подхода, обеспечивающего многократное использование, простоту обновления компонент приложения и его кроссплатформенность.

2. Разработан новый интеллектуальный подход к виртуализации ресурсов суперкомпьютерных центров коллективного пользования и управлению их облачной инфраструктурой в процессе автоматизации решения сложных практических задач с требуемым качеством предоставляемых информационно-вычислительных услуг.

3. Реализован новый метод параллельной обработки больших объемов пространственных данных в виде набора компонент облачной среды. Новизной метода по сравнению с другими является автоматическое разделение пространственных данных по пространственной сетке и объединение результатов обработки на основе спецификаций. Это позволяет применять множество существующих программных систем для параллельного выполнения на множестве узлов облачной среды без их модификации. Апробация метода выполнялась на задаче поиска объектов на растровых изображениях большого объема и наборах изображений с использованием логических описаний объектов, основанных на логических описаниях деформируемых моделей. Применение метода позволило ускорить почти линейно относительно количества узлов решение этой задачи.

4. Для эффективной организации коллективного выполнения динамических мультиобъектных миссий большой длительности группами автономных подводных роботов предложена схема декомпозиции миссии в виде последовательности рабочих периодов ограниченной длительности. Согласно предложенной схеме на каждом рабочем периоде задача групповой маршрутизации решается как статическая задача, а по завершению каждого периода осуществляется групповой сбор (рандеву) с целью обновления условий миссий и текущего статуса группы. Описанная декомпозиция, осуществляемая на верхнем уровне системы группового управления, позволяет обеспечить коммуникационно-устойчивое движение группы автономных подводных роботов (АПР) и одновременно существенно сократить размерность задачи маршрутизации до длительности рабочего периода. Несмотря на то, что частые рандеву способствуют повышению скорости реакции группы на любые непредвиденные изменения и непрогнозируемые события, каждое рандеву может существенно отвлекать группу от своевременного выполнения имеющихся задач в силу значительной длительности. Так, каждое рандеву включает в себя последовательность



из сбора группы в обозначенной области, обновления текущего статуса группы, обмена актуальными данными между АПР, определения новой групповой стратегии и возвращения аппаратов обратно к выполнению целей.

Для того чтобы уменьшить отрицательное влияние групповых сборов на эффективность обследования целей, в систему группового управления был добавлен поиск наиболее благоприятных моментов для проведения рандеву, а также предложена схема резервного планирования групповых маршрутов, позволяющая частично сократить время, затрачиваемое на перепланирование. Под благоприятными моментами здесь понимаются те моменты времени, в окрестности которых отсутствует необходимость обследования каких-либо целей согласно их периодичности. Другими словами, благоприятными считаются те отрезки времени, в рамках которых группа АПР может отлучиться на сбор и вернуться после него, не создав новых опозданий. Поиск таких моментов был добавлен в процедуру маршрутизации как один из дополнительных критериев оптимизации, оценивающий состояние всех целей миссии на момент завершения группового движения на текущем рабочем периоде группы. Схема резервного планирования заключается в построении запасных групповых маршрутов с учетом не только запланированных событий, но и прогнозируемых изменений. В этом случае группе не придется тратить время на корректировку текущей групповой стратегии в изменившихся условиях.

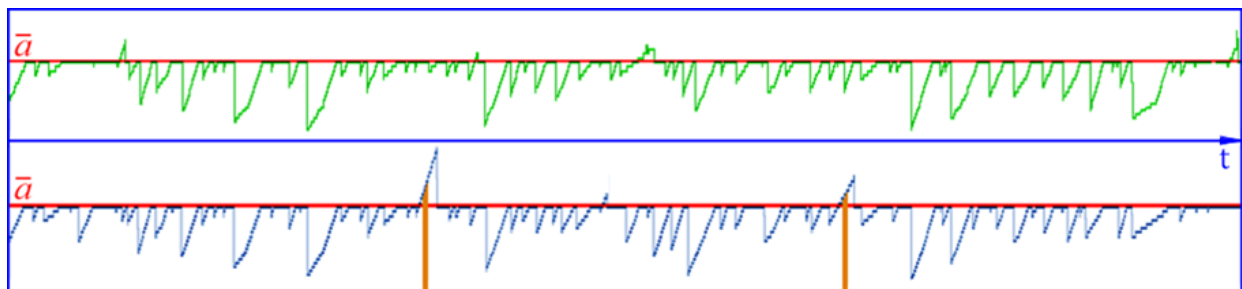


Рис. 36. Изменение максимальной актуальности у целей при глобальном планировании (наверху) и при локальном на основе декомпозиционного подхода (внизу)

5. Предложен новый способ формализации и решения различных задач управления для важного класса динамических систем, известных как дискретно-событийные системы (ДСС). Формализация основана на оригинальном логическом исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ). На основе ПОФ разработан алгоритм для проверки свойства совместной наблюдаемости языка спецификации, ограничивающего поведение ДСС. Совместно наблюдаемые языки служат спецификациями для децентрализованных супервизоров, необходимых для выполнения задач группового управления. Подход демонстрируется на примере дискретно-событийной модели АПР, описывающей переключение режимов работы АПР, следующего за лидером, при выполнении групповой миссии. Члены группы АПР не могут наблюдать и управлять всеми событиями системы из-за ограничений связи, поэтому требуется децентрализованное управление.



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2018 г.**

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН I.30. «Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации»

Координатор программы – чл.-к. Д.А. Новиков

Проект «Методы, алгоритмы и инструментальные средства децентрализованного группового решения задач в вычислительных и управляющих системах»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118031590006-2

Научный руководитель проекта: ак. И.В. Бычков И.В.

Разработаны новые методы и алгоритмы децентрализованного управления группой целенаправленных интеллектуальных агентов в задаче сборочного программирования в гетерогенной распределенной вычислительной среде.

Разработаны новые мультиагентные модели на основе кооперативного поведения агентов для управления вычислениями в гетерогенной распределенной вычислительной среде, включающей как традиционные системы управления заданиями, так и системы управления виртуальными машинами.

Обоснована корректность правил синтеза гипотез в исследуемом методе порождения гипотез, основанного на конструктивном фрагменте полного исчисления позитивно-образованных формул с функциональными символами и равенством. В выделенном классе ПОФ и исчислении (JF) вводятся три новых правила вывода для обработки формул, представляющих задачи, т.е. формулы вида $G1 \rightarrow G2$, где $G1$ — произвольная ПО-формула класса JF, описывающая условия и конструктивные средства решения задачи, а $G2$ — некоторая формализация цели. Корректность правил синтеза гипотез основывается на корректности применения правил вывода в исчислении JF, которая обосновывается следующей теоремой.

Теорема. Пусть $G1 \rightarrow G2$ – задача, где $G1$ – ПО-формула из класса JF, а $G2$ – формула вида $\forall X A (\exists Y1 B1, \dots, \exists Yn Bn)$, тогда JF-вывод формулы $G1 \& \neg G2$ конструктивен.

В рамках проекта исследовался ряд новых моделей групповой маршрутизации, характеризующихся высокой динамикой среды, разнородностью действующей группировки и техническими ограничениями на условия выполнения целей. Под техническими ограничениями подразумеваются требования на типы аппаратов, которые могут обслуживать конкретные цели. При работе над проектом рассматривались как вариации задачи с раздельной постановкой (*split delivery*), когда допускается обслуживание цели «по частям» несколькими роботами в разное время, так и вариации с сильно связанными (*tightly coupled*) целями, доступными для выполнения одновременно несколькими аппаратами. Дополнительным требованием к маршрутам группы является регулярность групповых сборов, способствующих поддержанию осведомленности группы и обеспечивающих возможность оперативного перепланирования.

Для решения исследуемых задач была разработана гибридная модификация эволюционных алгоритмов, сочетающая возможности генетического алгоритма по исследованию пространства поиска (*exploration*) с эффективными процедурами локальной разработки найденных перспективных окрестностей (*exploitation*). Перепланирование групповой стратегии осуществляется на основе базы накопленных ранее решений, а система самоадаптации на основе муравьиного алгоритма отвечает за переключение между



режимами исследования и разработки в реальном времени.

В литературе практически не представлены работы, в которых комплексные условия выполнения групповых миссий формулировались бы в рамках самой задачи маршрутизации, тем самым открывая новые, более широкие вариации ее постановки. Такие постановки позволяют описывать более сложные, детализированные и реалистичные требования к работе группы, а значит, представляют наибольший научный и практически интерес. Исследуемая в рамках проекта модель объединяет в себе характеристики таких задач маршрутизации, как систематическая маршрутизация (PersistentVRP), циклическая вариация с временными окнами (CVRPTW) и маршрутизация с отдельной доставкой (VRPSD). При этом дополнительное ограничение на регулярность групповых сборов сформулировано в терминах других уже действующих ограничений без порождения новых сущностей.

**Комплексная программа фундаментальных научных исследований СО РАН № П.1
«Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018-2020 гг.**

Интеграционный проект «Разработка методов и веб-ориентированных технологий тематической обработки мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли в задачах экологического мониторинга и рационального природопользования»

Координатор проекта – д.ф.-м.н. О.И. Потатуркин

Блок «Разработка и экспериментальное исследование эффективности методов оценки антропогенного воздействия на окружающую среду»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118031590007-9

Руководитель блока: д.т.н. Г.М. Ружников

Предложено сочетание метода выделения объектов на основе запросов на языке SOQL и нейронных сетей, что позволяет находить объекты определенной формы с заданными спектральными и текстурными признаками без формирования обучающей выборки (ОВ) с различными вариантами расположения объекта заданной формы.

На основе технологий геоинформационных веб-систем разработано программно-технологическое обеспечение для обработки и визуализации данных дистанционного зондирования Земли. Создан набор специализированных программных модулей для реализации систем оперативного спутникового мониторинга, в том числе средства для создания стандартных информационных продуктов для спутникового приемного комплекса, система каталогизации данных ДЗЗ, объединенная с системой управления геопространственными метаданными, система предобработки спутниковых снимков для оперативного представления снимков на геопортале через веб-интерфейс.



*Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2018 г.*

Интеграционный проект № 7 «Разработка физических и технологических принципов изготовления приборов, использующих спиновую степень свободы на основе структур с квантовыми точками и материалов, совместимых с кремниевой технологией»

Научный руководитель: чл.-к. РАН А.В. Двуреченский.

Блок «Разработка алгоритмов и решение задач управления спиновыми токами в структурах с квантовыми точками»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118032090008-8

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Создана информационная система, включающая результаты экспериментов, проводимые сотрудниками Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН под руководством д.ф.-м.н. Н.П. Степиной на имеющейся в СО РАН лабораторной установке. Предложенные к.ф.-м.н. А.Ф. Зиновьевой и к.ф.-м.н. А.В. Ненашевым (ИФП СО РАН) модели в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений отражают динамику процесса временной релаксации фотопроводимости в зависимости от интенсивности освещения и напряженности магнитного поля.

Исследованы различные варианты динамических моделей, включающие в правых частях системы дифференциальных уравнений от пяти до тринадцать компонент, как линейных, так и нелинейных, а также характеризующихся как однопараметрической, так и двухпараметрической структурой. В однопараметрических вариантах моделей предполагалось, что проводимость образца определяется единственным параметром, зависящим от времени, а именно, фактором заполнения квантовых точек носителями заряда. В двухпараметрических вариантах моделей добавлено влияние фактора проявления ловушек – центров локализации в окружающей квантовые точки полупроводниковой матрице.

Установлена существенно более высокая точность двухпараметрических вариантов моделей, отражающих динамику процесса временной релаксации фотопроводимости в зависимости от интенсивности освещения и напряженности магнитного поля, в результате проведенных вычислительных экспериментов с использованием разработанных специализированных алгоритмов.

Интеграционный проект № 39 «Пермо-триассовые батолиты и ультрамафит-мафитовый магматизм Монголо-Охотского подвижного пояса: возрастные рубежи, масштабы, численные петрологические и геодинамические модели формирования и металлогения»

Научный руководитель: чл.-к. РАН Е.В. Складов.

Блок «Разработка алгоритмов и методик параметрической идентификации динамических моделей формирования батолитов и базит-ультрабазитовых комплексов»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118032090006-4

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Проведена структурная идентификация модели гранитоидного магматизма, описываемой системой дифференциальных уравнений в частных производных второго



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2018 г.**

порядка. Для постановки задачи параметрической идентификации предложенной модели была создана информационная система, включающая результаты полевых исследований, проводимых в последние годы сотрудниками Института земной коры СО РАН под руководством чл.-корр. Е.В. Склярова и чл.-корр. Д.П. Гладкочуба.

Разработаны специализированные методы для интегрирования рассматриваемых моделей и алгоритмы поиска решения для экстремальных задач, связанных с персонификацией моделей. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили принципиальную работоспособность предложенных алгоритмов и вычислительных технологий.

Исследована задача моделирования взаимодействий, позволяющих учитывать соотношение изотопных характеристик в гранитоидах и близковозрастных базитах, и, таким образом, определить вклад мантийного вещества в источники гранитных магм для каждого этапа батолитообразования.

Разработана многометодная вычислительная схема для решения задач параметрической идентификации предложенных моделей, реализованная с применением программного комплекса OPTCON. Используются вычислительные схемы, основанные на алгоритмах поисковой оптимизации – методах Пауэлла-Брента, Лууса-Яколы, Растригина, сферического и туннельного поиска. Оценка допустимых интервалов для параметров модели производилась с применением алгоритмов фазового оценивания.

Проведенное математическое моделирование позволило выявить некоторые закономерности становления крупных изверженных провинций «сиалического» типа.

Интеграционный проект № 66 «Подходы к разработке стратегий и программ социально-экономического развития сибирских регионов с экстремальными природно-климатическими условиями»

Научный руководитель: чл.-к. РАН В.И. Сулов

Блок «Создание специализированного программного инструментария, способного производить анализ многомерных экономических моделей динамического типа с невыпуклыми критериями качества»

№ гос. регистрации: АААА-А18-118032190012-4

Руководитель блока: д.т.н. А.Ю. Горнов

Важнейшим результатом этапа 2018 года была разработка специализированного инструментария, ориентированного на анализ многомерных экономических моделей динамического типа, ориентированный на исследование систем как дифференциальных, так и разностных уравнений. Задачи оптимизации, которые возможно исследовать с применением ПК, включают задачи параметрической идентификации – оценка внутренних параметров модели на основе экспериментальных данных и экспертных оценок, задачи



**Отчет Института динамики систем и теории управления
имени В.М. Матросова СО РАН за 2018 г.**

оптимального управления – поиск возможностей активного воздействия на систему при наличии в модели управляемых компонент.

В частности, были получены следующие результаты:

- создан специализированный программный инструментарий, способный производить анализ многомерных экономических моделей динамического типа с невыпуклыми критериями качества;
- разработан комплекс алгоритмов для исследования линейных и нелинейных моделей высокой размерности, позволяющий обеспечивать основные этапы цепочки методики математического моделирования социально-экономических процессов;
- решен ряд содержательных и прикладных задач из области экономики с использованием разработанного программного комплекса.

Грант Президента РФ МК-4155.2018.9 «Разработка параллельных алгоритмов решения проблемы булевой выполнимости на основе методов машинного обучения с применением к задачам криптографии»

Руководитель проекта – к.т.н. О.С. Заикин

В 2018 году был разработан алгоритм определения полезности конфликтных дизъюнктов для SAT-решателей, основанных на алгоритме CDCL. На первом этапе строятся упрощенные варианты исходной SAT-задачи, к которым применяется стандартный алгоритм CDCL. Накапливаемые конфликтные дизъюнкты делятся на несколько подмножеств, исходя из «меры полезности», которая определяется на основе анализа работы CDCL-решателя на этих упрощенных задачах. Далее используются стандартные методы машинного обучения для анализа данной информации и управления процедурами чистки конфликтной базы в SAT-решателе. Разработанный подход был реализован на основе SAT-решателя glucose. Результаты вычислительных экспериментов показали, что с помощью предложенного алгоритма некоторые трудные SAT-задачи из набора SAT Competition 2017 решаются быстрее, чем с помощью оригинального решателя glucose.