

МГУ имени М.В. Ломоносова

4.08.Лаборатория параллельных информационных технологий

№ госрегистрации
AAAA-A21-121011690003-6



УТВЕРЖДАЮ
Директор/декан

«22» декабря 2023 г.

УДК

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

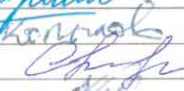
Разработка программных средств поддержки жизненного цикла и
обеспечения эффективности суперкомпьютерных приложений, систем и
центров
(промежуточный)

Зам. директора/декана
по научной работе

Руководитель темы
Воеводин В.В.

«22» декабря 2023 г.
«22» декабря 2023 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы: ведущий научный сотрудник, доктор физико-математических наук, член-корреспондент, профессор по специальности		(Воеводин В.В.)
Исполнители темы: ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук специалист		(Антонов А.С.)
		(Антонова А.П.)
		(Беззубцев С.О.)
доктор исторических наук, профессор по кафедре заведующий лабораторией, кандидат физико-математических наук специалист		(Винокуров В.И.)
		(Воеводин В.В.)
техник		(Гамаюнова Т.С.)
		(Дергунов Н.В.)
ассистент, преподаватель доцент, кандидат физико-математических наук		(Домрачева Д.А.)
		(Дрелихов В.О.)
		(Желтков Д.А.)
		(Замарашкин Н.Л.)
младший научный сотрудник младший научный сотрудник техник аспирант		(Зубков Д.А.)
		(Игнатенко А.П.)
		(Кирилин Е.М.)
		(Копылов К.Е.)
		(Крымский С.А.)
		(Кулагин А.В.)
		(Купалов-Ярополк И.К.)
стажёр-исследователь техник		(Кушнир Т.С.)
ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доктор физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности инженер 1 категории, кандидат педагогических наук		(Личманов Д.И.)
		(Логачев О.А.)
		(Майер Р.В.)

техник
ведущий научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук
младший научный сотрудник,
кандидат химических наук
старший научный сотрудник,
кандидат химических наук
техник

аспирант

старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

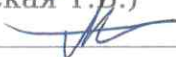
специалист
старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

доцент, кандидат физико-математических наук
техник

другие должности
инженер 2 категории
техник

заведующий лабораторией,
доктор химических наук, профессор по специальности
ведущий специалист
научный сотрудник, кандидат химических наук


Землянская Т.Б.) (Макарова-

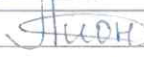

(Матвеев А.Д.)

(Мохов М.Д.)

(Никитенко Д.А.)


(Нилов Д.К.)


(Панин Н.В.)


(Паокин А.В.)

(Пионткевич А.Г.)

(Подшивалов Д.Д.)

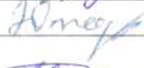
(Попов А.С.)

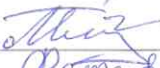
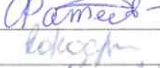
(Попов С.М.)


(Сетяев А.В.)

(Сидоров И.Ю.)

(Соболев С.И.)


(Струков П.В.)

(Таранников Ю.В.)


(Тимошкин М.А.)

(Фатеев И.Д.)

(Худолеева А.А.)

(Шайхисламов Д.И.)

(Швядас В.К.)


(Шоков В.Н.)

(Щербакова Т.А.)

РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

эффективность, суперкомпьютерный центр, суперкомпьютер, суперкомпьютерные приложения

Ключевые слова по-английски:

supercomputing center, supercomputer, supercomputing applications, efficiency

В рамках работ по проведению детального анализа всех важных аспектов работы суперкомпьютерного центра, связанных с эффективностью его функционирования, было произведено расширение функционала по определению признаков и причин снижения эффективности работы суперкомпьютеров.

Работы над созданием модульного программного комплекса поддержки суперкомпьютерного центра заключались в разработке подсистемы контроля корректности данных, доработке механизмов работы с пользовательскими проектами в рамках перерегистрации и реализации версионности для описаний пользовательских проектов.

Для системы мониторинга суперкомпьютеров были разработаны подходы и реализованы модульные тесты, а также выполнена интеграция сборочных зависимостей в дерево исходных кодов.

В рамках направления по созданию методов и средств работы со "срезами" состояния суперкомпьютера основные работы были сосредоточены на создании методов и средств визуализации рабочих характеристик суперкомпьютера «Ломоносов-2» на трехмерной фотореалистичной визуальной модели.

В ходе работ по развитию Открытой энциклопедия свойств алгоритмов была произведена интеграция Открытой энциклопедии AlgoWiki и цифровой платформы Algo500.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе этапа "Тестовая эксплуатация разработанного программного обеспечения на суперкомпьютерах с традиционной кластерной архитектурой, установленных в МГУ" начата интенсивная апробация программных компонентов и средств, созданных в рамках следующих направлений исследований:

- Проведение детального анализа всех важных аспектов работы суперкомпьютерного центра, связанных с эффективностью его функционирования;

- Разработка модульного программного комплекса поддержки суперкомпьютерного центра;

- Развитие подходов к построению систем мониторинга для суперкомпьютеров;

- Разработка и развитие методов сохранения данных о состоянии суперкомпьютера и построения «срезов» на любой заданный момент времени;

- Развитие Открытой энциклопедия свойств алгоритмов, направленное на замыкание цепочки от особенностей решения конкретных вычислительных задач до их эффективной реализации на вычислительных системах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

По направлению работ «Проведение детального анализа всех важных аспектов работы суперкомпьютерного центра, связанных с эффективностью его функционирования» на данном этапе были разработаны и апробированы методы для предсказания оценок для анализа и сравнения запускаемых на суперкомпьютере заданий с точки зрения эффективности использования ими различных суперкомпьютерных ресурсов. Сами оценки, разработанные на прошлом этапе и автоматически собираемые для выполняющихся заданий, в некоторых случаях не могут быть получены обычным путем из-за особенностей работы системы мониторинга или технических сбоев. Предложенный метод предсказания позволяет решить эту проблему за счет применения методов интеллектуального анализа данных для обнаружения схожих приложений. Таким образом, завершена реализация общего подхода, позволяющего на практике автоматически собирать оценки эффективности использования ресурсов для всех заданий, для которых в принципе доступны данные по их производительности. Данные методы реализованы на постоянной основе на суперкомпьютере Ломоносов-2, однако могут быть перенесены и на другие вычислительные системы.

Были разработаны методы для отображения результатов по полученным оценкам. Для системных администраторов данная функциональность предоставляется на специализированном web-сайте, где доступна подробная информация как об интегральных оценках на уровне суперкомпьютерах в целом, так и детальные данные по отдельным заданиям, пользователям и проектам. Для пользователей реализовано оповещение о слишком низкой эффективности использовании ресурсов в их заданиях. Это интегрировано в рамках системы Octoshell, которая является основным средством организации работы на суперкомпьютере Ломоносов-2.

Был реализован способ постоянного мониторинга шума на суперкомпьютере. Под шумом понимается влияние программно-аппаратной среды, изменяющее поведение пользовательских приложений. В рамках данного способа на вычислительных узлах регулярно запускаются небольшие тесты, которые измеряют величину шума, что позволяет собирать и анализировать динамику изменения шума на суперкомпьютере. Данный метод был реализован и запущен на суперкомпьютере Ломоносов-2 (может быть легко перенесен и на другие системы). С его помощью было обнаружено, что чаще всего шум незначителен, однако на некоторых узлах наблюдается заметное увеличение шума. При этом всплески шума на различных узлах явно сгруппированы по времени, что позволяет предположить, что причиной возникновения шума является глобальный процесс, влияющий на работу суперкомпьютера в целом.

В 2023 году развитие модульного программного комплекса поддержки суперкомпьютерного центра (Octoshell) выполнялось по нескольким взаимодополняющим направлениям.

Работы по созданию системы контроля корректности данных. По различным причинам (интеграция источников, человеческий фактор, ошибки в интерфейсах и т.д.) данные в информационных системах могут быть неполными, искаженными, или даже умышленно дублирующими. В связи с этим ведутся работы по а) очистке имеющихся данных в системе, что предполагает слияние дублирующих записей, в т.ч. поиск похожих объектов, и б) созда-

нию системы подсказок для администраторов и экспертов о существующих подобных объектах на момент рассмотрения новых заявок от пользователей или их ежегодных отчетов. Запланирована апробация результатов работ в рамках реально действующей системы уже в ближайшую перерегистрацию пользователей (начало 2024 г.).

Существенно доработаны механизмы работы с пользовательскими проектами в рамках перерегистрации, что позволяет выделять нестандартные категории проектов, что ранее было недоступно (по объему использования ресурсов совместно с иными критериями и др.). Разработка прошла успешную апробацию в СКЦ МГУ весной 2023 г.

Реализация версионности для описаний пользовательских проектов. Ранее такие описания как принадлежность тому или иному приоритетному направлению развития науки или направленность на ту или иную критическую технологию являлись простыми атрибутами, что не позволяло реализовать ряд функциональных возможностей. Был реализован простой и эффективный вариант поддержки версионности нормативных списков, что снимет подобные проблемы в будущем.

Кроме того, выполнялись необходимые текущие работы по поддержке системы, обновлению модулей и пакетов, резервному копированию и др.

В 2023 г. были продолжены работы по развитию методов Continuous Integration (CI) в процессе разработки системы мониторинга DiMMon. В рамках проведенного исследования были выработаны подходы к построению модульных тестов (unit tests) для системы DiMMon и был реализован набор таких тестов. Был реализован каркас для компиляции и выполнения наборов тестов и вспомогательных файлов для работы тестов на основе системы сборки GNU Make. Был реализован набор модульных тестов для подсистемы работы с модулями (файл исходных кодов `dmm_module.c`) системы DiMMon. Тесты были реализованы на основе каркаса CppUTest, имеющей развитые средства для построения модульных тестов.

В рамках набора тестов было реализовано тестирование средств работы с типами узлов (node types) системы DiMMon и средства работы с загрузкой модулей системы DiMMon. Тесты для средств работы с типами проверяют корректную работу с типами: регистрация типов, невозможность повторной регистрации типа, невозможность регистрации типа с именем, не соответствующим ограничениям на имя типа. Тесты для средств работы с загрузкой модулей проверяют корректность обработки неверных файлов модулей (несовпадающие версии двоичного интерфейса, ABI, модули, не содержащие описания типов) и корректность обработки верных файлов модулей, содержащих описания разного количества типов.

Была выполнена интеграция сборочных зависимостей в дерево исходных кодов системы DiMMon, преследующая цель облегчения настройки сборочной среды. После интеграции зависимостей для сборки новой версии системы DiMMon достаточно иметь рабочий компилятор и систему сборки GNU Make, которые присутствуют практически во всех дистрибутивах ОС Linux. При этом отпадает необходимость в загрузке исходных кодов библиотек, которые нужны для сборки системы DiMMon, и компиляции их с нужными параметрами. Кроме того, интеграция всех зависимостей облегчает применение методов CI, т.к. тестовые сборки системы не требуют отдельной сборки зависимостей.

Для интеграции сборочных зависимостей был реализован каркас на ос-

нове системы сборки GNU Make. На основе реализованного каркаса была проведена интеграция необходимых для работы системы DiMMon пакетов и библиотек luajit, luaposix, sysfsutils и libedac, а также используемого для модульного тестирования каркаса CppUTest.

В рамках направления по созданию методов и средств работы со "средами" состояния суперкомпьютера основные работы этапа 2023 г. были сосредоточены на разработке методов и средств отображения рабочих характеристик суперкомпьютера на трехмерной визуальной модели. На основе данных о структуре суперкомпьютера Ломоносов-2 и множества высококачественных фотографий его компонентов была создана фотореалистичная модель суперкомпьютера, а также программная среда, отображающая данную модель в веб-браузере. Программная среда содержит средства навигации, позволяющие пользователю перемещаться как «вокруг», так и «внутри» суперкомпьютера. С помощью данной среды был создан сервис для системных администраторов, отображающий на визуальной модели рабочие характеристики компонентов суперкомпьютера, такие как статус вычислительных узлов, температуру центральных процессоров, число записей о сбоях в системных журналах узлов и т.д. Данные могут быть предоставлены не только на текущий момент, но и для выбранного промежутка времени в прошлом, позволяя визуально оценить изменение состояния компонентов суперкомпьютера. Сервис обладает развитыми средствами для поиска и фильтрации компонентов суперкомпьютера. Отдельный комплекс работ был проведен для оптимизации отображения сервиса на устройствах, не обладающих мощной графической подсистемой.

В 2023 г. выполнялись работы по интеграции Открытой энциклопедии алгоритмов AlgoWiki и цифровой платформы Algo500 на единой функциональной базе. Были разработаны и описаны теоретические основы такой интеграции и реализованы некоторые практические аспекты. Новизна данной работы определяется объединением в рамках единого проекта данных о структуре решаемых задач, методов их решения, алгоритмов, реализующих данные методы, программных реализаций данных алгоритмов, архитектур компьютеров и данных о динамике выполнения программ на реальных программно-аппаратных платформах.

Объединение в рамках единого проекта Открытой энциклопедии алгоритмов AlgoWiki и цифровой платформы Algo500 позволяет заложить основу построения мощной аналитической системы, реализующей базовые принципы суперкомпьютерного кодизайна с возможностями совместного анализа свойств задач, методов, алгоритмов, программных реализаций, архитектур компьютеров и данных о динамике выполнения программ на реальных программно-аппаратных платформах. Реализация на базе построенной системы методов суперкомпьютерного кодизайна позволит увеличить эффективность реализации вычислительных алгоритмов на современных суперкомпьютерных системах.

Значимым направлением работ 2023 г. стало исследование возможности создания в составе Национального технологического центра цифровой криптографии защищенной инфраструктуры для проведения удалёнными пользователями открытых экспериментальных исследований в области информационной безопасности.

Основной задачей работ являлось глубокое совместное изучение алгоритмических особенностей выделенных классов задач из области цифро-

вой криптографии и технологических особенностей современных и перспективных вычислительных архитектур, которые были бы максимально пригодны для эффективной программной реализации обозначенных групп задач и алгоритмов. Проект является ярким примером так называемого кодизайн-подхода, в котором ведется подбор оптимальной конфигурации и архитектуры системы под требуемый алгоритм, но при этом и ведется адаптация такого алгоритма для максимально эффективного использования тех или иных возможностей программно-аппаратного стека вычислительной инфраструктуры.

Рассмотрено около двух десятков существенно отличающихся классов задач и показано, что в большей и меньшей мере их эффективная реализация сводится к нескольким архитектурам вычислительных систем:

- классические SMP-узлы с большим числом вычислительных ядер и максимальным объемом оперативной памяти;
- кластеры гетерогенных узлов на базе GPU-ускорителей, объединенных высокоскоростной вычислительной сетью;
- архитектура на базе ПЛИС.

Показано также, что ряд задач можно решить и с использованием классических вычислительных узлов.

В итоге выполнения научно-исследовательской работы для сформулированного набора актуальных прикладных криптографических задач составлен перечень алгоритмов их решения. Выполнено описание и проведен анализ свойств алгоритмов. На основе технологий суперкомпьютерного кодизайна определены требования к архитектуре и техническим характеристикам компонент высокопроизводительных вычислительных систем, ориентированных на решение выделенного набора задач с учетом ограничений и технических параметров инженерной инфраструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного этапа были выполнены следующие работы:

1. Выполнено расширение функционала по определению признаков и причин снижения эффективности работы суперкомпьютеров.

2. Для модульного программного комплекса поддержки суперкомпьютерного центра была создана подсистемы контроля корректности данных, доработаны механизмы работы с пользовательскими проектами в рамках перерегистрации, реализована версионность для описаний пользовательских проектов.

3. Для системы мониторинга суперкомпьютеров были разработаны подходы и реализованы модульные тесты, а также выполнена интеграция сборочных зависимостей в дерево исходных кодов.

4. В рамках направления по созданию методов и средств работы со "средами" состояния суперкомпьютера были созданы методы и средств визуализации рабочих характеристик суперкомпьютера Ломоносов-2 на трехмерной фотореалистичной визуальной модели.

5. Была произведена интеграция Открытой энциклопедии AlgoWiki и цифровой платформы Algo500.

Запланированные работы выполнены в полном объеме.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Объем финансирования темы в 2023 году
Таблица А.1

Источник финанси- рования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами