

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Сухорослова Олега Викторовича

на диссертацию Тихомирова Артема Игоревича

«Методы и средства организации системы управления вычислительными заданиями в территориально распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Актуальность темы

Диссертация посвящена разработке целостной программно-алгоритмической модели системы управления вычислительными заданиями с абсолютными приоритетами в территориально распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования (СКЦ).

СКЦ обеспечивают потребности организаций образования, науки и промышленности в вычислительных мощностях, необходимых для проведения высокопроизводительных расчетов, суперкомпьютерного моделирования и интерпретации результатов. Одним из действенных методов повышения доступности и эффективности использования ресурсов СКЦ является их объединение в единую территориально распределенную сеть (ТРС). Поскольку в составе оборудования СКЦ представлены суперкомпьютерные ресурсы, как правило, либо уникальной архитектуры, либо уникальной конфигурации, объединение СКЦ в единую сеть повысит доступность суперкомпьютерного оборудования для пользователей-исследователей. Осуществляемое за счет оптимизации планирования оперативное перераспределение вычислительной нагрузки между СКЦ в сети позволит снизить среднее время ожидания задания в очереди и повысить качество доступа к суперкомпьютерным ресурсам.

Область организации ТРС включает в себя ряд важных научных направлений, диссертационная работа А.И. Тихомирова посвящена одному из них, связанному с созданием системы управления заданиями в ТРС. Современный этап развития высокопроизводительных вычислений характеризуется широким внедрением суперкомпьютерных технологий в исследовательские и производственные процессы. Соискатель справедливо указывает в работе, что достаточно часто предприятия промышленности заказывают услуги по высокопроизводительным вычислениям у научных и образовательных суперкомпьютерных центров коллективного пользования, направляя при этом в них свой поток заданий. Кроме того, в ряде случаев, таких как чрезвычайные ситуации и глобальные вызовы, необходимы оперативные выделение и консолидация вычислительных ресурсов для проведения экстренных вычислений. Для всех указанных областей применения высокопроизводительных вычислений характерны сжатые сроки выполнения заданий, что обуславливает актуальность исследований в области планирования заданий с абсолютными приоритетами. Построение системы управления заданиями, способной эффективно осуществлять планирование в распределённой сети суперкомпьютерных центров, является востребованной и важной научной задачей.

Характеристика объема и содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 143 страницы, в том числе 19 рисунков и 1 таблица. Список литературы состоит из 158 источников.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, решению которой посвящена диссертация, а также излагаются научная новизна и практическая ценность полученных результатов, обосновывается их достоверность.

В первой главе рассматриваются основополагающие принципы организации вычислительных ресурсов ТРС, вводятся основные понятия

предметной области: высокопроизводительная вычислительная установка (ВУ) как неделимая единица оборудования и вычислительное задание как единица обработки в ТРС. Соискатель предлагает двухуровневую модель управления заданиями. Обработку поступающего в ВУ потока заданий осуществляет локальная система управления заданиями (ЛСУЗ), образующая первый уровень управления. При этом задания, поступающие непосредственно в некоторую ВУ и допускающие обработку на ресурсах только этой ВУ, составляют так называемый локальный поток заданий. После включения ВУ в состав ТРС совместно с заданиями локального потока на вычислительные ресурсы ВУ начинают поступать задания из других ВУ, т.е. из глобального потока заданий. В отличие от локального, задания глобального потока допускают обработку на вычислительных ресурсах разных ВУ ТРС. Распределение заданий глобального потока осуществляет образующая второй уровень управления глобальная система управления заданиями (ГСУЗ).

Базовыми свойствами предложенной соискателем модели ТРС являются динамически изменяющийся состав, а также коммуникационная и вычислительная гетерогенность ТРС. А.И. Тихомиров формулирует следующие специальные свойства рассматриваемой модели ТРС.

1. Свойство универсальности предполагает эффективную обработку вычислительных заданий независимо от прикладной области заданий: научной или промышленной.

2. Свойство срочности обработки вычислительных заданий предполагает, что для части заданий определяются сжатые сроки решения, что обуславливает их высокий приоритет в системах коллективного пользования суперкомпьютерных центров. Своевременность выполнения вычислительных заданий может быть обеспечена за счет реализации приоритетной политики обработки заданий, причем может применяться приоритетная схема как с вытеснением (абсолютные приоритеты), так и без вытеснения (относительные приоритеты).

3. Федеративный принцип организации распределенной сети, что подразумевает независимое администрирование ресурсов и независимое управление заданиями внутри каждого СКЦ, отсутствие в ТРС единого центра регистрации и учета пользователей, взаимное доверие СКЦ по авторизации. Федеративная организация обеспечивает возможность установления единых правил назначения приоритетов вычислительным заданиям.

Соискателем исследуются известные системы управления заданиями ТРС. Отмечается, что существующие комплексы программ, направленные на создание инфраструктуры ТРС (т.н. грид-технологии), отличаются недостаточно высоким уровнем работы с вычислительными ресурсами СКЦ и не всегда учитывают специфику планирования вычислительных заданий с абсолютными приоритетами. Соискатель отмечает, что в настоящее время большая часть недостатков может быть преодолена за счет применения современных технологий в области построения распределенных сетей, средств контейнерной виртуализации и распределенных баз данных.

В конце первой главы сформулированы решаемые в диссертации научные задачи:

- разработка архитектуры системы управления заданиями ТРС;
- разработка информационной подсистемы для организации глобальной очереди заданий;
- разработка метода, алгоритма и средств планирования вычислительных заданий с абсолютными приоритетами.

Вторая глава посвящена выбору архитектуры системы управления заданиями распределённой сети СКЦ. Исследованы возможные архитектуры системы управления заданиями ТРС: централизованная, децентрализованная, иерархическая. В главе обоснован выбор децентрализованной архитектуры в качестве основы системы управления заданиями, так как при такой архитектуре отсутствует единый центр управления, следовательно, нет единой точки отказа. Управление осуществляет коллектив равноправных

диспетчеров, располагающихся локально на всех вычислительных установках, что позволяет обеспечить масштабируемость и отказоустойчивость сети СКЦ.

Далее в главе приводятся результаты исследования механизмов взаимодействия равноправных диспетчеров. Соискателем показано, что наиболее эффективным механизмом взаимодействия диспетчеров является взаимодействие через т.н. информационную подсистему, что позволяет при планировании заданий учесть интересы всех диспетчеров, а также синхронизировать обращения диспетчеров к глобальной очереди заданий.

Соискателем рассмотрены вопросы авторизации пользователей в ТРС и безопасного копирования исходных данных заданий между ВУ. Предложенное решение авторизации является промежуточным на время до внедрения федеративной схемы авторизации.

Третья глава посвящена организации надёжной и масштабируемой информационной подсистемы системы управления заданиями ТРС. В начале главы соискателем сформулированы требования к информационной подсистеме, проведен анализ существующих методов и средств организации информационной подсистемы распределенной сети. Показано, что в последнее время в вопросах организации хранения и доступа к информации в распределенных системах широкое распространение получают распределенные СУБД, сочетающие в себе достоинства централизованного и децентрализованного подходов к управлению в распределенных средах.

В главе эмпирическим путем произведен и обоснован выбор документо-ориентированной модели хранения. Для экспериментальной проверки надежности и масштабируемости выбранной модели хранения и представления данных соискателем был разработан макет ТРС. Информационная подсистема макета реализована на базе известной распределенной документо-ориентированной СУБД Elasticsearch, которая обладает развитыми механизмами сегментирования и дублирования (репликации) данных, обеспечивающими высокую надежность хранения

данных. Проведенная автором диссертации серия экспериментов показала, что вывод из строя 60% серверов хранения данных приводит к потере информации о 20%-30% заданий.

Проведенное соискателем исследование производительности разработанной информационной подсистемы показало, что предложенное решение позволяет обеспечить необходимый уровень производительности.

Четвертая глава посвящена разработке метода и алгоритма планирования вычислительных заданий в распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования. В главе исследована модель ТРС, отличающаяся от известных тем, что приоритеты заданий являются абсолютными и назначаются по единым в ТРС правилам. Целевой функцией при оптимизации планирования заданий с абсолютными приоритетами определена минимизация времени обработки заданий в соответствии с уровнем приоритета от большего к меньшему.

В главе приведен аналитический обзор современных алгоритмов и методов планирования заданий в распределенной сети. Предложен метод планирования вычислительных заданий с абсолютными приоритетами в распределенной сети суперкомпьютерных центров, основанный на форме обратного аукциона. Разработан алгоритм планирования заданий, позволяющий применять как модель английского аукциона, так и модель закрытого аукциона первой цены. Экспериментальным путем было показано преимущество английского аукциона, который обеспечил лучшее значение целевой функции по сравнению с закрытым аукционом первой цены.

На сегментах Торнадо, Haswell, Broadwell суперкомпьютера МВС-10П, установленного в Межведомственном суперкомпьютерном центре РАН (МСЦ РАН), соискателем был развернут действующий макет системы управления заданиями распределенной сети суперкомпьютерных центров. Макет позволил исследовать характеристики алгоритма английского аукциона и получить следующие результаты:

1. При одинаковых соотношениях продолжительности аукциона и среднего времени выполнения задания получаются одинаковые экспериментальные результаты вне зависимости от абсолютных значений времен.

2. Наибольшая эффективность планирования заданий обеспечивается при продолжительности английского аукциона от 0,3 до 0,4 от среднего времени обработки задания. При такой продолжительности число участников аукциона в среднем достигает 70%.

Научная новизна

1. Разработана модель территориально распределенной сети СКЦ, которая, в отличие существующих, обладает свойством универсальности и предусматривает обработку масштабируемых заданий с абсолютными приоритетами.

2. Впервые в практике построения территориально распределенных сетей СКЦ использована документо-ориентированная модель хранения информации для организации единой информационной подсистемы системы управления заданиями распределенной сети.

3. Впервые адаптирован метод обратного аукциона для планирования вычислительных заданий с абсолютными приоритетами в территориально распределенной сети СКЦ.

4. Разработан и реализован новый алгоритм планирования вычислительных заданий, который отличается от известных тем, что позволяет реализовать модель английского аукциона и закрытого аукциона первой цены и адаптирован для планирования заданий с абсолютными приоритетами в территориально распределенной сети СКЦ.

5. Экспериментально определены эффективные характеристики английского аукциона: продолжительность и число участников.

Достоверность результатов и выводов, представленных в диссертации, подтверждается следующими факторами:

- разработанные автором и представленные в диссертации модель территориально распределенной сети, метод и алгоритмы планирования вычислительных заданий с абсолютными приоритетами реализованы в виде макета ТРС, функционирующего в МСЦ РАН;
- результаты исследований соискателя докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных научных конференциях;
- по теме диссертации в рецензируемых изданиях опубликовано 9 научных статей, из них 4 статьи опубликованы в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Все научные положения, выводы и рекомендации диссертации аргументированы и достаточно полно обоснованы. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается объемом исследованных источников, данными об апробации результатов работы на научно-практических конференциях и семинарах, полнотой публикации основных положений исследования в рецензируемых научных изданиях.

Ценность для науки и практики результатов работы

Ценность результатов исследования для науки определяется развитием методических подходов к разработке системы управления вычислительными заданиями территориально распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования.

Практическая значимость результатов работы определяется возможностью использования разработанных метода и алгоритмов планирования вычислительных заданий при создании территориально распределенной сети суперкомпьютерных центров и подтверждается

действующим макетом системы управления заданиями TPC, размещенным в МСЦ РАН.

Замечания по работе

1. Во введении указывается, что для высокотехнологичных компаний аренда ресурсов СКЦ может служить рациональной альтернативой созданию собственного СКЦ, но не упоминается другая современная альтернатива — облачные вычисления. В частности, существуют примеры облачных сервисов для высокопроизводительных вычислений в промышленности (например, Rescale), которые позволяют полностью исключить ожидание в очереди.

2. В главе 1 упоминаются проекты XSEDE и PRACE, являющиеся наиболее крупными современными сетями СКЦ, но не описываются используемые в них методы и средства управления заданиями. Также не анализируется опыт предыдущих отечественных проектов в данной области (СКИФ-Полигон, Национальная нанотехнологическая сеть, Российская грид-сеть для высокопроизводительных вычислений).

3. В Таблице 1 вместо типов распределенных СУБД следует указать конкретные СУБД, так как значения некоторых критериев (например, возможность изменения данных или поддержка SQL при организации поиска) могут отличаться от системы к системе в пределах одного типа. Также часть критериев не прокомментирована в тексте, например, надежность сохранения глобальной очереди заданий.

4. Эксперименты на макете TPC, описанные в разделе 3.4, проводились на небольшом числе серверов Elasticsearch (трех), в то время как в реальной TPC может быть гораздо больше участников. Также не моделировались такие аспекты TPC, как высокие сетевые задержки, потери отдельных сообщений, нарушение связности сети, и не исследовалось влияние отказов на согласованность данных, хранимых в Elasticsearch.

5. Аналогично предыдущему замечанию, эксперименты в главе 4 проводились только на небольшом числе диспетчеров и, соответственно,

участников аукциона (трех). Также в разделе 4.6.1 недостаточно подробно описан использованный в экспериментах приоритетный алгоритм планирования и не приведены характеристики локального потока заданий.

6. В тексте работы довольно часто встречаются грамматические ошибки (например, пять ошибок на стр. 84), используются неоправданно длинные названия вместо сокращений («информационной подсистемы системы управления заданиями распределенной сети суперкомпьютерных центров»), заголовки разделов не выделены на фоне основного текста.

Считаю, что указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение по работе

Тема диссертации соответствует ее содержанию, сама диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Диссертация является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой, результаты которой обладают научной новизной и имеют существенную научно-практическую значимость в условиях цифровой экономики для создания новых инструментов проведения научных исследований. Выводы и рекомендации диссертации достаточно обоснованы. Автореферат и научные публикации адекватно отражают содержание диссертации. Работа соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Тихомиров Артем Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук» (ИППИ РАН), кандидат технических наук (специальность 05.13.18, «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»)

16.03.2020

О.В. Сухорослов

Подпись О.В. Сухорослова заверяю



Официальный оппонент: Сухорослов Олег Викторович, кандидат технических наук (специальность 05.13.18, «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»), старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук» (ИППИ РАН)

Сведения об организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук» (ИППИ РАН)

Адрес: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, д.19 стр. 1.

Телефон: +7 (495) 650-42-25,

адрес электронной почты director@iitp.ru