

ОТЗЫВ официального оппонента
на (о) диссертацию(и) на соискание ученой степени
ученой степени кандидата физико-математических наук Мукосея
Анатолия Викторовича на тему: «Алгоритмы выбора узлов и
построения таблиц маршрутов для высокоскоростной сети с топологией
«многомерный тор» по специальности 2.3.5 – «Математическое и
программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и
компьютерных сетей»

Актуальность избранной темы

При эксплуатации суперкомпьютера существует задача разделения вычислительных узлов между заданиями пользователей, при этом для выделенных пользовательскому заданию узлов должно сохраняться свойство достижимости. Для топологии многомерный тор решение задачи является нетривиальным. Качество решения данной задачи напрямую влияет на эффективность эксплуатации суперкомпьютера с точки зрения выполнения вычислительными узлами полезной работы.

Автор диссертационной работы решает данную задачу для суперкомпьютеров на основе сети Ангара с топологией до 4D-тор. В работе задача выделения ресурсов рассматривается как с точки зрения минимизации числа возникающих транзитных узлов и фрагментации вычислительных узлов суперкомпьютера, так и с точки зрения качества построенных в выделенном множестве узлов таблиц маршрутов. В связи с существованием более чем десятка суперкомпьютеров на основе сети Ангара, которая является отечественной разработкой, данная диссертационная работа является актуальной.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введение автор обосновывает актуальность работы, ставит цель и формулирует задачи. Также определяется научная новизна, перечисляются публикации автора по теме диссертации и приводится апробация работы.

В первой главе диссертации представлен обзор высокоскоростных сетей с топологией «многомерный тор», подробно рассмотрены принципы маршрутизации в сетях Fujitsu Tofu, IBM Blue Gene и Ангара. Рассмотрены инструменты, при помощи которых возможно решение задач анализа маршрутов и достижимости сети. Описаны подходы к решению задач выделения узлов и построения таблиц маршрутов.

Во второй главе диссертант формально определяет маршрутизацию в сети Ангара, вводит понятие маршрутного графа и приводит формальную постановку задачи разработки алгоритма анализа маршрутов в сети Ангара. Для решения поставленной задачи автор конструирует маршрутный граф для маршрутизации в сети Ангара, на которую накладывается ограничение правила порядка направлений на первый и последний нестандартные шаги маршрута. Далее предлагается алгоритм, который добавляет в построенный маршрутный граф ребра, позволяющие нарушать правило порядка направлений для нестандартных шагов маршрута. Доказывается, что функция маршрутизации, индуцированная модифицированным маршрутным графом, будет бездедлоковой. В конце второй главы предлагается алгоритм определения достижимости множества узлов в сети Ангара.

Третья глава посвящена разработке алгоритма построения таблиц маршрутов для решения задачи балансировки сетевого трафика. После необходимых определений в работе описывается «базовый» алгоритм построения таблиц маршрутов, в котором распределение сетевого трафика зависит от координат начального узла. Для устранения недостатков базового алгоритма автор предлагает два новых полиномиальных алгоритма решения задачи балансировки трафика: алгоритм на основе обхода поиском вширь маршрутного графа сети и генетический алгоритм.

В четвертой главе рассматривается задача выбора множества вычислительных узлов требуемого размера в сети с заданным состоянием. Сначала автор описывает общий алгоритм перебора n -мерных прямоугольников и разработанный ранее базовый алгоритм на основе

алгоритма общего перебора. Затем предлагается улучшенный алгоритм выбора узлов перебором n -мерных прямоугольников, в котором для каждого прямоугольника проверяется достижимость при помощи предложенного во второй главе алгоритма на основе обхода маршрутного графа. Предложенный улучшенный алгоритм снимает недостатки базового алгоритма, при этом появляются новые доступные варианты решения задачи выбора узлов. Также автор предлагает второй алгоритм выбора узлов равномерным расширением. Для выбора одного решения задачи из множества возможных решений автор использует набор упорядоченных критериев, который включает минимизацию числа транзитных узлов в решении, минимизацию фрагментированности сети после выделения узлов из рассматриваемого решения, минимизацию диаметра и оценку качества построенной таблицы маршрутов.

Пятая глава посвящена исследованию разработанных алгоритмов. Проведено исследование отказоустойчивости сети на основе разработанного алгоритма определения достижимости множества вычислительных узлов с двумя вариантам функции маршрутизации. Проведено сравнение времени работы разработанных алгоритмов построения таблиц маршрутов и качества получаемых таблиц маршрутов. Описывается разработанная имитационная модель вычислительной системы с заданной сетью, которая позволяет оценить утилизацию ресурсов суперкомпьютера при помощи моделирования выполнения очереди заданий на суперкомпьютере с использованием рассмотренных алгоритмов выбора узлов. При помощи имитационной модели проведено сравнение количества возможных решений, найденных с помощью разработанного алгоритма выбора узлов улучшенным перебором многомерных прямоугольников и с помощью базового алгоритма выбора узлов. Также с использованием модели проведено исследование утилизации суперкомпьютера с использованием разработанных алгоритмов выбора узлов.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

алгоритма общего перебора. Затем предлагается улучшенный алгоритм выбора узлов перебором n -мерных прямоугольников, в котором для каждого прямоугольника проверяется достижимость при помощи предложенного во второй главе алгоритма на основе обхода маршрутного графа. Предложенный улучшенный алгоритм снимает недостатки базового алгоритма, при этом появляются новые доступные варианты решения задачи выбора узлов. Также автор предлагает второй алгоритм выбора узлов равномерным расширением. Для выбора одного решения задачи из множества возможных решений автор использует набор упорядоченных критериев, который включает минимизацию числа транзитных узлов в решении, минимизацию фрагментированности сети после выделения узлов из рассматриваемого решения, минимизацию диаметра и оценку качества построенной таблицы маршрутов.

Пятая глава посвящена исследованию разработанных алгоритмов. Проведено исследование отказоустойчивости сети на основе разработанного алгоритма определения достижимости множества вычислительных узлов с двумя вариантам функции маршрутизации. Проведено сравнение времени работы разработанных алгоритмов построения таблиц маршрутов и качества получаемых таблиц маршрутов. Описывается разработанная имитационная модель вычислительной системы с заданной сетью, которая позволяет оценить утилизацию ресурсов суперкомпьютера при помощи моделирования выполнения очереди заданий на суперкомпьютере с использованием рассмотренных алгоритмов выбора узлов. При помощи имитационной модели проведено сравнение количества возможных решений, найденных с помощью разработанного алгоритма выбора узлов улучшенным перебором многомерных прямоугольников и с помощью базового алгоритма выбора узлов. Также с использованием модели проведено исследование утилизации суперкомпьютера с использованием разработанных алгоритмов выбора узлов.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Достоверность и обоснованность сформулированных в работе научных положений и выводов подтверждается их целостным, последовательным и подробным математическим обоснованием, большим количеством экспериментальных исследований на широком наборе входных данных. Адекватность имитационной модели вычислительной системы подтверждается сравнительным экспериментом на модели и реальном суперкомпьютере «Десмос» на одной и той же очереди заданий, при этом разница полученной утилизации суперкомпьютера на модели и суперкомпьютере – не более 1,2% абсолютных пунктов.

Для оценки качества разработанных алгоритмов использовались общепринятые меры качества для рассматриваемых задач. Основные публикации работы опубликованы в рецензируемых научных журналах и были представлены на международных и российских конференциях, проходили этапы рецензирования и оценки специалистами.

Автор впервые вводит понятие маршрутный граф и представляет алгоритм его построения для детерминированной маршрутизации сети Ангара. Построенный маршрутный граф позволяет исследовать достижимость любого множества узлов и каналов связи сети. Маршрутизация сети Ангара является расширением детерминированной маршрутизации сетей серии IBM Blue Gene, и новизна результатов диссертации подчеркивается отсутствием информации о решении задачи проверки достижимости произвольного множества узлов сети для суперкомпьютеров IBM Blue Gene. Разработанные автором алгоритмы выбора узлов и построения таблиц маршрутов являются новыми для сети Ангара и поддерживают работу с возможными отказами узлов и каналов связи.

Замечания

1. Задача построения сбалансированных таблиц маршрутов решается в предположении обмена сообщениями в сети с паттерном «все со всеми». При численном моделировании физических процессов представляет существенный интерес широко используемая схема преимущественного обмена сообщениями с соседними, в рамках топологии многомерный тор, процессорами. В тексте диссертации не указано, останутся ли верными выводы работы для этой и для других схем обмена сообщениями.
2. Исследование достижимости сети в условиях случайных отказов каналов связи и исследование построения таблиц маршрутов проведено только для сетей с относительно небольшим максимальным числом узлов 128.
3. Неполно и фрагментарно представлены сведения о фактическом времени выполнения разработанных алгоритмов выбора множества узлов.
4. Не рассмотрен вопрос целесообразности разработки и применения параллельных алгоритмов для решения затратных, с вычислительной точки зрения, задач построения маршрутного графа, таблицы маршрутов и выбора множества узлов.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Работа соответствует критериям, которым должны отвечать кандидатские диссертации на соискание ученых степеней установленным положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Содержание диссертации соответствует специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» (по физико-математическим наукам) и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученых степеней Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Мукосей Анатолий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Якобовский Михаил Владимирович

14.12.2023

Контактные данные:

e-mail: lira@imamod.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Адрес места работы:

125047, Москва, Миусская пл., д.4

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Тел.: +7 (499) 220-78-67; e-mail: lira@imamod.ru

Подпись сотрудника М.В. Якобовского удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

к.ф.-м.н.

Давыдов Александр Александрович

