

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бумажкиной Натальи Юрьевны «Специальное математическое и программное обеспечение процесса размещения виртуальных машин в гетерогенных центрах обработки данных», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность диссертационной работы

Развитие технологии облачных вычислений значительно повлияло на совершенствование методов интеллектуального анализа данных, став одной из ключевых тенденций в их обработке. Базовой основой этой технологии являются центры обработки данных, предоставляющие вычислительные и коммуникационные ресурсы для формирования сервисов облачных вычислений, предоставляемых потребителям.

Динамическое изменение интенсивности потребительских запросов в центрах обработки данных влияет на баланс нагрузки на физические машины, что требует решения проблемы оптимизации распределения вычислительных и коммуникационных ресурсов.

Для решения этой проблемы одним из перспективных подходов является использование систем виртуализации. Центры обработки данных с такими системами называются виртуализированными. Их программной основой являются гипервизоры виртуальных машин, развертываемые на физических машинах центров и обеспечивающие создание и управление множеством виртуальных машин. Наличие в составе программного обеспечения центра обработки данных нескольких реализаций гипервизоров позволяет говорить о гетерогенной структуре центра.

Управление виртуальными машинами связано с оптимизацией предоставления виртуализированных вычислительных и коммуникационных ресурсов пользовательским приложениям. Динамика их использования оказывает существенное влияние на распределение виртуализированных ресурсов. Так, с течением временем первоначальная конфигурация виртуальных машин может перестать соответствовать текущим требованиям пользовательских приложений. Изменение конфигурации виртуальных машин с целью модификации потребляемых виртуализированных ресурсов требует их останова, что в большинстве случаев является невозможным.

Таким образом возникает проблема снижения эффективности виртуализированного центра обработки данных по показателю его ресурсоемкости.

Одним из ключевых способов решения такой проблемы является «переразмещение» (replacement) виртуальных машин, основанный на технологии их живой миграции (live migration). Переразмещение существующего множества виртуальных машин между физическими машинами центра обработки данных позволяет оптимально использовать совокупные виртуализированные ресурсы центра в условиях изменившихся ресурсных потребностей пользовательских приложений. Кроме того, переразмещение позволяет реализовать высвобождение вычислительных и коммуникационных ресурсов подмножества физических машин центра, например, с целью повышения его энергоэффективности.

Процесс живой миграции виртуальных машин, реализуемый между гипервизорами на двух физических машинах, представляет собой многоэтапный системный процесс, требующий значительных вычислительных и коммуникационных ресурсов. Эти дополнительные ресурсы, необходимые для успешного выполнения миграции, называются накладными расходами (overheads). Методы переразмещения виртуальных машин на основе живой миграции наиболее эффективны в гомогенных центрах обработки данных. В центрах с гетерогенной структурой процессы живой миграции существенно усложняются, что, зачастую, приводит к снижению эффективности переразмещения.

Управление множеством процессов живой миграции в совокупности управляется службой администрирования виртуализированного центра обработки данных на основе сформированного плана распределения виртуальных машин по физическим машинам, именуемого матрицей миграции.

Существенную роль при этом играет масштаб виртуализированного центра обработки данных. Так, в центрах малого и среднего масштабов матрица миграции имеет небольшую размерность и формируется службой администрирования центра эмпирически. В центрах большого масштаба обычно реализован процесс автоматизации формирования оптимальной матрицы миграции.

При этом, в большинстве случаев не рассматриваются вопросы гетерогенной структуры центра (использование двух и более видов гипервизоров), а также не учитывается влияние накладных расходов живой миграции на общее перераспределение вычислительных и коммуникационных ресурсов физических машин центра.

В своей работе соискатель предпринял попытку решения проблемы автоматизированного формирования оптимальной матрицы миграции с учетом указанных выше структурных и функциональных особенностей виртуализированных центров обработки данных.

Научная значимость исследования заключается в разработке нового способа оптимизации процесса переразмещения виртуальных машин, учитывающего гетерогенность инфраструктуры центра обработки данных и наличие накладных расходов на процессы живой миграции.

Практическая значимость состоит в возможности уменьшения эксплуатационных затрат на процессы администрирования, а также в потенциальной возможности повышения ресурсоемкости и энергоэффективности центров обработки данных за счет высвобождения подмножества их вычислительных и коммуникационных ресурсов.

В связи с этим диссертация Бумажкиной Натальи Юрьевны «Специальное математическое и программное обеспечение процесса размещения виртуальных машин в гетерогенных центрах обработки данных» является востребованной и актуальной.

Оценка научной новизны

Научная новизна диссертации проявляется в разработке новых методов и алгоритмов, направленных на повышение эффективности вычислительных ресурсов центров обработки данных. Основные результаты, демонстрирующие оригинальность и инновационность исследования, заключаются в следующем:

1. Модель многомерного представления виртуализированных ресурсов центра обработки данных, отличающаяся дополнительным учетом нормированного значения использования ресурсов, необходимых для процесса живой миграции, и позволяющая рассчитать вектор дисбаланса ресурсов для определения паросочетаний «виртуальная машина - физическая машина». Такая модель позволяет рассчитать квазиоптимальное

размещение виртуализированных ресурсов до осуществления процесса их перераспределения.

2. Алгоритм процесса перераспределения виртуальных машин, основанный на метаэвристике муравьиной колонии, отличающийся учетом при расчете матрицы миграции виртуальных машин гетерогенной структуры ЦОД и дополнительных ресурсов для алгоритмов живой миграции, и обеспечивающий получение квазиоптимальной матрицы миграции виртуальных машин для существующей структуры гетерогенных ЦОД. Такой подход позволяет сократить количество миграций виртуальных машин и устранить ошибки, возникающие при миграции.

3. Архитектура программного комплекса поддержки процесса перераспределения виртуальных машин в гетерогенных ЦОД, отличающаяся реализацией механизмов встраивания в действующие программные системы.

Данное решение может быть внедрено в виде специального программного модуля в состав программного обеспечения административного управления процессом динамического распределения виртуализированных ресурсов.

Степень обоснованности научных положений и выводов диссертации.

Обоснованность результатов исследования подтверждается корректным применением математических методов при моделировании процесса динамического распределения виртуализированных ресурсов.

О достоверности научных положений свидетельствуют результаты, реализованные в виде специального программного модуля в составе программного обеспечения административного управления ИТ-инфраструктурой технологической компании ООО «СОВИТ» для совершенствования программного обеспечения, реализующего вычислительный процесс при динамическом распределении виртуализированных ресурсов. Также результаты внедрены в образовательный процесс Академии ФСО России в дисциплину «Администрирование операционных систем».

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы прошли всестороннюю апробацию на всероссийских и международных конференциях. Результаты исследования отражены в 6 публикациях, в том числе в трех статьях в

журналах, рекомендованных ВАК РФ, одна статья – в издании, индексируемом в международной базе цитирования Scopus, а также в публикациях в других научных журналах и материалах международных и всероссийских конференций различного уровня. На элементы разработанного специального программного обеспечения получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Публикации полно отражают содержание диссертации.

Общая оценка содержания диссертации.

Диссертация имеет четкую и логически выстроенную структуру, изложение материала выполнено грамотно и последовательно. Единство и связность текста способствуют комплексному пониманию проведенного исследования.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены основные научные результаты, а также приведены сведения об апробации и внедрении работы.

В первой главе рассмотрены особенности организации, а также тенденции развития и совершенствования виртуализированных центров обработки данных. На основе анализа предметной области сформулирована необходимость совершенствования методов математического и программного обеспечения, связанного с решением задачи перераспределения виртуальных машин, и сформулировано противоречие между необходимостью повышения эффективности вычислительных ресурсов виртуализированного центра обработки данных, комбинаторной сложностью задачи перераспределения виртуальных машин, использованием в существующих подходах перераспределения виртуальных машин преимущественно жадных алгоритмов оптимизации, а также отсутствием в них учета гетерогенной структуры виртуализированных центров обработки данных. На основании этого противоречия сделана постановка научной задачи по разработке специального математического и программного обеспечения процесса перераспределения виртуальных машин в гетерогенных центрах обработки данных.

Во второй главе разработано специальное математическое обеспечение процесса перераспределения виртуальных машин в виртуализированных центрах обработки данных. Ресурсы

виртуализированных центров обработки данных моделируются с использованием многомерной векторной системы, представленной в форме нормализованного ресурсного куба. Данная модель расширена за счет учета дополнительных затрат, связанных с процессом живой миграции виртуальных машин. Проблема перераспределения виртуальных машин, учитывающая накладные расходы, вызванные конкретными алгоритмами живой миграции в гетерогенных виртуализированных центрах обработки данных, формулируется как задача комбинаторной оптимизации. В процессе ее решения были проанализированы существующие подходы к механизмам перераспределения виртуальных машин, и на основе выявленных ограничений для создания нового алгоритма был выбран метод ACS, базирующийся на метаэвристике муравьиной колонии.

В **третьей главе** разработан алгоритм перераспределения виртуальных машин, основанный на метаэвристике ACS, обеспечивающий получение матрицы миграции виртуальных машин. Является трехпроцедурным алгоритмом, отличающимся от известных – параллельным расчетом матриц миграции виртуальных машин для гомогенных подмножеств физических машин виртуализированного центра обработки данных и учетом накладных расходов виртуализированных ресурсов на живую миграцию виртуальных машин.

В **четвертой главе** предложена двухуровневая (менеджмент - агенты) архитектура программного комплекса поддержки процесса перераспределения виртуальных машин в гетерогенных центрах обработки данных, позволяющая получать параметры виртуальных и физических машин виртуализированного центра обработки данных с учетом локальной или территориальной распределенности их серверных платформ.

В заключении подведены итоги в отношении достижения цели. Приведены основные результаты диссертационной работы. Одним из направлений дальнейших исследований выделено направление разработки нейросетевых методов оптимизации и их сравнительной оценки с предложенным эвристическим подходом.

Диссертационное исследование демонстрирует высокую степень научной новизны и обладает значительной практической ценностью. Это законченная работа, выполненная на высоком методическом уровне, с четко структурированным изложением и последовательным представлением

результатов. В работе используется строгая, систематизированная и общепринятая терминология.

Диссертация отличается высокой научной новизной и практической значимостью, представляет собой завершённую научно-квалификационную работу с логически выстроенной структурой и представлением результатов, в которой используется систематизированная общепринятая терминология.

Работа соответствует паспорту специальности 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы – 171 страница, включая 46 рисунков, 5 таблиц. Список литературы содержит 129 наименований.

Замечания по диссертационной работе.

1. Формулировка задачи исследования, представленная в диссертационной работе в виде совокупности частных задач, не в полной мере обеспечивает целостное отражение направленности на достижение цели исследования.

2. В п.2.1 второй главы диссертации при разработке модели многомерного представления виртуализированных ресурсов центра обработки данных не учитывается фактор геораспределенности. Существующие модели в предметной области описания вычислительных процессов в центрах обработки данных часто выделяют фактор геораспределенности как значимый, в то же время предлагаемая в рамках диссертационного исследования модель не учитывает этот фактор.

3. В п.2.4 второй главы диссертации, посвящённой исследованию задачи многомерной векторной упаковки, слабо представлен анализ точных методов решения данной задачи, которые составляют важную часть теоретической базы для подобных исследований. Их рассмотрение позволило бы более полно оценить сложность задачи, а также сравнить эффективность предлагаемых соискателем подходов с существующими решениями.

4. В п.3.4 третьей главы диссертации представлен анализ вычислительной сложности предложенного алгоритма с точки зрения временной и емкостной сложности. Однако в работе отсутствует оценка алгоритма по критерию превосходства, что могло бы дополнить анализ и

продемонстрировать его преимущества в сравнении с существующими аналогами.

Указанные недостатки в основном носят рекомендательный характер и в целом не влияют на качество полученных теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

Заключение.

Исходя из анализа диссертации, автореферата и опубликованных научных статей автора, диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование по актуальной тематике. Работа выполнена на высоком уровне научно-технической подготовки, изложена профессионально и соответствует установленным требованиям.

Полученные автором результаты имеют достаточную степень обоснования. Материал диссертации логически взаимосвязан, и в его рамках по каждому из положений сделаны достаточно точные выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертационная работа отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Бумажкина Наталья Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент:
заведующий кафедрой
«Информационные технологии и системы»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет»
доктор технических наук, профессор

Михеев Михаил Юрьевич

16.01.2025г.

Почтовый адрес: Российская Федерация,
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11
Телефон: (8412)-49-60-09
E-mail: mix1959@gmail.com

Подпись д.т.н., профессора Михеева Михаила |
Ученый секретарь ученого совета
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет»

рунина