

**Федеральное государственное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр  
«Информатика и управление»  
Российской академии наук»  
(ФИЦ ИУ РАН)**

Россия, 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2  
Тел. 8 (499) 135-62-60, факс 8 (495) 930-45-05  
E-mail: [ipiran@ipiran.ru](mailto:ipiran@ipiran.ru) <http://www.ipiran.ru>

От И.О.И. 2016 № 63/16-17

На № \_\_\_\_\_

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Директор Федерального  
государственного учреждения  
«Федеральный исследовательский  
центр «Информатика и управление»  
Российской академии наук»

И.А. Соколов

11 Января 2016 г.

## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу **Мелеховой Анны Леонидовны**  
«Управление физической памятью виртуальной машины», представленной  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей».

### **1. Актуальность темы и соответствие паспорту специальности.**

Виртуализация аппаратных ресурсов является важным направлением современных информационных технологий. В практических приложениях всё большее распространение получают виртуальные машины, поскольку такой подход к организации компьютерных мощностей позволяет более плотно размещать рабочие окружения на физических машинах и позволяет гибко распределять машинные ресурсы между потребителями. Для достижения эффективного уровня виртуализации ресурсов необходимо обеспечить точную оценку объема памяти, реально задействованной гостевой операционной системой виртуальной машины, а также сохранить простоту алгоритмической реализации разработанного метода. Необходимость массового развёртывания экономичных виртуальных серверов, в частности, возникает при разработке и отладке масштабируемых

сетевых программных приложений, а также при проведении экспериментальных исследований облачных систем с имитацией пользовательской нагрузки. В соответствии с этим тема диссертационной работы Анны Леонидовны Мелеховой, посвященная разработке эффективной методики управления памятью виртуальной машины, представляется актуальной.

## **2. Краткое содержание работы по главам.**

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

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы основные цели исследования, а также дано краткое описание диссертационной работы.

В первой главе приведен содержательный обзор работ, связанных с решением задач управления памятью виртуальной машины. Особое внимание уделено методике фиктивного занятия физической памяти. В целом обзор написан достаточно полно и дает надлежащее представление о состоянии вопроса.

Во второй главе рассмотрены два подхода к оценке размера памяти, реально задействованной гостевой операционной системой. В основе первой методики лежат виртуализационные счётчики со стороны гипервизора. Вторая методика опирается на гостевые счётчики операционной системы, запущенной на виртуальной машине. Далее автором проведено сравнение характерных свойств виртуализационных и гостевых счётчиков, показавшее, что для первого типа счётчиков считывание измерений является более простым и экономичным, чем для счётчиков второго типа. В свою очередь гостевые счётчики обладают значительно большим разнообразием фиксируемых данных, но при этом демонстрируют переменчивость интерфейсов при переходе от одной версии операционной системы к другой. По результатам сравнения автор выбрал виртуализационные счётчики для построения оценки рабочего набора виртуальной машины.

Третья глава посвящена оценке размера рабочего набора на основе виртуализационных счетчиков. Релевантное подмножество счётчиков было отобрано с применением как математических методов, так и экспертных мнений. Автором был модифицирован код Parallels Server для измерения дополнительных наблюдаемых параметров гостевой операционной системы и построения репрезентативной выборки наблюдений. Эксперименты по сбору статистики осуществлялись на представительном наборе микро- и макротестов, моделирующих наиболее распространенные рабочие нагрузки. Сбор экспериментальных данных о произошедших виртуализационных событиях и о наблюдаемом рабочем наборе проводился 28 часов, с шагом 10 секунд. По собранной выборке проводилось построение нелинейной регрессионной модели, оценивающей размер рабочего набора на операционной системе Windows. Полученная модель была верифицирована с помощью теста vConsolidate. Далее диссертант выполнил сравнительный анализ виртуализационных выборок гостевых систем семейства Windows с целью проверки статистики с разных операционных систем на однородность при помощи критериев согласия Андерсона, Вилкоксона и Зигеля—Тьюки. По результатам анализа выборок абсолютной величины используемой физической памяти и относительного прироста потребления памяти автор показал, что для разных операционных систем даже близких семейств ни типовые схемы потребления памяти, ни типовые схемы приращения объема потребления памяти не удовлетворяют единому закону распределения. Поскольку не удалось выявить корреляцию между виртуализационной статистикой и изменением объема рабочего набора, автором было выработано обновленное решение о построении оценки на базе гостевых счетчиков.

В четвертой главе исследована оценка размера рабочего набора на основании гостевых счетчиков 64-битных операционных систем Microsoft Windows 7 и Windows 8. В ходе исследований с помощью микро- и макротестов третьей главы была построена эмпирическая зависимость для

оценки размера рабочего набора. Автор предложил универсальный алгоритм, упрощающий разработку системы управления памятью и её внедрение в виртуализационные программные продукты. С целью исключить влияние эмпирических допущений и повысить уровень производительности алгоритма диссертант в ходе серии экспериментов с помощью теста PCMark и улучшения адаптивных свойств оценки скорректировал её на размер кешей операционной системы.

В пятой главе предлагается уточнение размера рабочего набора методами обучения с вознаграждающим подкреплением от виртуализационных счетчиков с помощью эмпирического параметра зазора. Автор внедрил реализованный алгоритм в продукты Parallels Server и Linux KVM, а также провёл тестирование и отладку на типовых сценариях использования виртуальных машин, отраженных в широком наборе экспериментов. Согласно результатам тестирования, разработанное решение показало на типовых пользовательских конфигурациях экономию 40% памяти при незначительном снижении производительности.

### **3. Новизна проведённых исследований и полученных результатов.**

Новым является предложенный автором способ применения методов машинного обучения в области виртуализации аппаратных ресурсов. Несомненный интерес представляет обоснованное комбинированное использование виртуализационной и гостевой статистики, а также комбинированное применение методов обучения по прецедентам и методов обучения с подкреплением. Реализация предложенного алгоритма в системе с открытым исходным кодом позволяет надеяться на его дальнейшее широкое применение в различных программных продуктах.

### **4. Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений.**

Объем исследований, проводимых в области управления памятью виртуальной машины, весьма значителен. Но многим исследованиям не хватает доказанной практической эффективности предлагаемых разработок.

Приведенный в диссертации алгоритм протестирован с двух точек зрения: с точки зрения экономии ресурса памяти (до 40%) и с точки зрения невозрастания уровня накладных расходов (при наилучших параметрах в пределах 10%). Тесты, использованные в работе, репрезентативны. Таким образом, есть основания полагать алгоритм и его практическую реализацию эффективными. Достоверность полученных положений, выводов и заключений обеспечивается применением статистических методов верификации регрессионных моделей.

#### **5. Публикации и апробация материалов диссертации.**

Основные результаты опубликованы в 10 печатных работах, из них 3 в списке изданий ВАК, 3 в списках WebOfScience и SCOPUS, и один патент. Результаты диссертации прошли апробацию на 3 международных конференциях (IEEE Cloud 2013, IARIA Scopus 2015, SEC(R) 2015).

Диссертант провёл цикл экспериментальных исследований на облачной инфраструктуре Индустриального партнёра ООО «Акронис» по договору с ООО «Проект ИКС» о выполнении прикладных научных исследований при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидий № 14.579.21.0010. Уникальный идентификатор Соглашения RFMEFI57914X0010.

#### **6. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики.**

Разработанный в диссертации комплекс алгоритмов и программ позволил автору решить ряд важных с научной и практической точек зрения задач, провести систематическое исследование свойств разработанных алгоритмов решения задач управления физической памятью виртуальной машины, и оценить пределы применимости предлагаемой методики.

Полученные диссертантом результаты могут быть использованы при построении виртуальных кластеров в школах и университетах для организации машинных классов и лабораторий, в академических и

отраслевых институтах, а также проектных организациях для масштабного имитационного моделирования.

### **7. Замечания.**

1. В главе 1 подробно изложена методика фиктивного занятия физической памяти. Вместе с тем представляет интерес практическое сравнение производительности различных реализаций механизмов принятия решений в этой методике, в частности, таких как CAS, TWS, RSS и bbox.
2. В главе 1 недостаточно освещен вопрос взаимодействия методики фиктивного занятия физической памяти с оптимизациями гостевой операционной системы типа HugePages. В ходе дальнейшей работы желательно более подробно раскрыть вопрос фрагментации сверхбольших страниц памяти гостевой операционной системы.

Указанные замечания не отменяют положительную оценку выполненной автором работы. Диссертация выстроена логично, её структура и содержание отражают цели и задачи исследования. Автореферат достаточно полно раскрывает основные положения диссертации.

Диссертация Мелеховой Анны Леонидовны «Управление физической памятью виртуальной машины» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой. Исследование обладает научно-теоретической и практической значимостью, её результаты имеют существенное значение для повышения эффективности использования распределенных крупномасштабных кластерных и облачных информационно-вычислительных систем.

Всё изложенное позволяет заключить, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9—14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мелехова Анна Леонидовна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв обсужден и одобрен 15 ноября 2015 года на заседании отдела интеллектуальных систем Вычислительного центра им. А.А. Дородницына Российской академии наук Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук.

Зав. отделом «Интеллектуальные системы»

ВЦ РАН ФИЦ ИУ РАН

д.ф.-м.н. К. В. Воронцов