

## **О Т З Ы В**

Официального оппонента Ицксона Владимира Михайловича, на диссертационную работу Мелеховой Анны Леонидовны «Управление физической памятью виртуальной машины», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Представленная диссертационная работа посвящена актуальному вопросу развития вычислительной техники и компьютерных сетей - виртуализации ресурсов на физических вычислительных системах. Автором развивается методика фиктивного занятия физической памяти, позволяющая гипервизору управлять объемом памяти, назначенным гостевой операционной системе. Применение этой методики обеспечивает экономию выделяемого ресурса и позволяет повысить степень консолидации виртуальных серверов на физическом аппаратном обеспечении в условиях пикообразных рабочих нагрузок.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 110 наименований и двух приложений.

Во введении приведено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы основные цели исследования и основные выносимые на защиту результаты, описана используемая терминология, а также изложено краткое описание диссертационной работы. Значимость рассмотренного круга задач подтверждается рядом важных прикладных результатов, достижение которых имеет высокую важность для компьютерной индустрии. Так, например, достижение высокой плотности размещения виртуальных машин на физическом экземпляре компьютера приводит к снижению затрат как на обслуживание физических серверов, так и на их общее энергопотребление.

В первой главе автором проведен обзор работ, посвященных значимым современным алгоритмическим решениям алгоритмов по управлению физической памятью виртуальных машин. Каждый алгоритм рассмотрен автором с точки зрения достоинств и недостатков. Изучен также вопрос комбинирования алгоритмов. Особое внимание уделяется такому широко распространённому методу как алгоритму фиктивного занятия физической памяти, называемому «виртуальным баллоном». Популярность алгоритма вызвана гарантированным отсутствием обращений гостевой ОС к вытесненным через него страницам. Это свойство является несомненным достоинством по сравнению характеристиками других методов, поскольку не вносит больших издержек, экономит до половины объема памяти, назначенной гостевой операционной системе, практически без снижения производительности. Вместе с этим, в работе отмечается такой недостаток метода как потенциально возникающая гостевая подкачка, повышающая давление на доступные системе страницы памяти и приводящая к заметным потерям производительности. Из анализа литературы следует, что подобной

проблемы можно избежать оптимальным квотированием фиктивно занятой памяти рамками рабочего набора. Тем самым, диссертант соблюдает логику подхода к формулировке научной задачи об эффективной оценке размера рабочего набора гостевой операционной системы с целью минимизации издержек производительности на гостевую подкачку. Данная задача оказывается сложной с алгоритмической точки зрения, поскольку рабочий набор, будучи подмножеством страниц физической памяти, характеризуется динамикой обращений к нему за некоторый интервал времени и постранично меняется по содержанию в зависимости от распределения процессов встроенными алгоритмическими средствами гостевой системы. Таким образом, изложенные в диссертационном исследовании вышеперечисленные факты приносят искажения в любую оценку размера рабочего набора. Кроме того, решение задачи затрудняется инертностью агента фиктивного выделения памяти. Анализ решения этой задачи в разнообразных гипервизорах также приводится автором в первой главе. В целом проведенный обзор современных научных публикаций дает надлежащее представление об актуальном состоянии исследуемого вопроса.

Во второй главе изучаются подходы к оценке размера рабочего набора гостевой операционной системы с помощью двух основных категорий счетчиков: гостевых и виртуализационных. Проведенный автором сравнительный анализ характеристик этих категорий демонстрирует, что перечни системных событий, фиксируемых этими двумя измерителями, существенно различаются. Представленными примерами наглядно поясняется, что гостевые счетчики качественно оценивают суммарный объем виртуальной памяти процессов и размер закрепленной памяти, но не всегда регистрируют точное количество страничных промахов. Преимуществом гостевых счетчиков является значительное превосходство по количеству и разнообразию параметров над виртуализационными аналогами. У подобного разнообразия имеется и недостаток в виде существенной вариативности реализаций гостевых счётчиков не только в различных семействах операционных систем, но и в конкретных версиях одного семейства. Кроме того, издержки от считывания гостевых счётчиков заметно выше, чем аналогичные при сборе виртуализационной статистики. По результатам сравнения автором был сделан промежуточный вывод о целесообразности построения оценки состояния памяти по виртуализационным счетчикам как менее обременяющим систему и более простым для программной интеграции.

В третьей главе виртуализационные счетчики гостевых систем, ранее предложенные автором к использованию, были исследованы на однородность выборок. Статистический анализ выборки от близких версий Windows показал, что измерения не принадлежат одному распределению. Автор делает заключение, что даже близкие версии операционных систем используют существенно различающиеся внутрисистемные алгоритмы потребления и

приращения памяти. Это обстоятельство значительно сужает количество систем, исследуемых по показаниям виртуализационных счетчиков, а, следовательно, искажает результаты анализа и ограничивает универсальность разрабатываемого алгоритма. Исходя из отсутствия корреляции между виртуализационной статистикой и изменением объема рабочего набора, диссертант пересмотрел предварительное решение в пользу построения оценки на базе гостевых счетчиков.

Четвертая глава посвящена подробному практическому исследованию оценок размера рабочего набора по гостевым счетчикам операционных систем Microsoft Windows 7 и Windows 8. Автор исключил нерелевантные показатели состояния системы и предложил список значимых гостевых счетчиков: число страниц закрепленной физической памяти, размер рабочего набора, количество используемой физической памяти и объем использования страничного файла. В ходе исследований была получена эмпирическая зависимость для оценки размера рабочего набора. В диссертационном исследовании было наглядно показано, что разработанная оценка справедлива для 64-битных операционных систем Windows 7 и Windows 8. Таким образом, разработанный алгоритм обладает важным достоинством — универсальностью, благодаря которой упрощается разработка и внедрение системы управления памятью.

В пятой главе автором предлагается дальнейшее повышение точности оценки на основании виртуализационной статистики. В улучшенном алгоритме размер фиктивно занимаемой физической памяти корректируется эмпирическим параметром зазора. Для этого диссертантом применены методы обучения с подкреплением, учитывающие следующие целевые факторы: минимизация колебаний объема фиктивно занимаемой физической памяти, интервальные ограничения зазора и скорости его изменения, минимизация количества виртуализационных страничных промахов и операций ввода/вывода. Автором была проведена реализация алгоритма в виде программных решений, внедренных в продукт Parallels Server и Linux KVM. Отладка программ осуществлялась на большом наборе тестов, отражающих различные сценарии использования виртуальных машин. Разработанное автором решение показало на типовых пользовательских конфигурациях экономию 40% памяти при незначительном снижении производительности, что свидетельствует о его практической значимости.

Вместе с тем, при изучении работы рецензентом были выявлены следующие замечания и недостатки.

1. В обзорной части работы (глава 1) отсутствуют критерии проведения сравнения существующих решений. Из-за этого анализ предметной области превратился скорее в описание некоторого множества существующих решений, нежели в инструмент подкрепления актуальности проведения исследований.

2. В обзорной части работы отсутствуют обобщающие выводы к подразделам 1.2 и 1.3. Без таких выводов неясной становится актуальность проведения собственных исследований, так как недостатки, выявленные при обзоре конкретных средств, не всегда конкретны и, на первый взгляд, не столь существенны.
3. С точки зрения рецензента не совсем правильно организована структура работы. На основании главы 2 автором делается вывод о выборе виртуализационных счетчиков. После этого на основании исследований главы 3 делается вывод о необходимости применения гостевых счетчиков. То есть выводы главы 3 противоречат выводам главы 2. Это связано с тем, что в работе излагаются не результаты исследований, а ход проведения исследований, что, конечно, затрудняет восприятие работы.
4. Данные в таблице 8 представлены неудачно. Данные столбцов 1 и 3 представлены в сравнении с вариантом без использования баллона, а данные столбцов 2 и 4 – по сравнению со столбцами 1 и 3. У читателя возникает ощущение, что контроль кэша решил проблему, однако это не так. Он лишь частично снизил ущерб, продемонстрированный в столбцах 1 и 3.
5. В работе автор часто отступает от научно-технического стиля, используя различные жаргонизмы и некорректные выражения (например, «успешная модель», «аккуратное представление», «балл теста» и т.п.). Кроме того, в работе большое число нерасшифрованных сокращений и англоязычных терминов, усложняющих чтение диссертации, а также неисправленных грамматических ошибок и опечаток.

Кроме того, у рецензента имеется несколько вопросов.

1. Как автор обосновывает список виртуализационных счетчиков и их параметров? Будут ли существенно меняться результаты исследований, если для других конфигураций виртуальных машин этот список будет меняться?
2. Из текста диссертации неясно, из каких соображений был сформирован тестовый набор «макротесты» (в подразделе 3.2 ошибочно включенные в список микротестов). Какой нагрузке они соответствуют и что будет, если профиль нагрузки реальной системы будет существенно отличаться от рассмотренного в работе?
3. В главе 5 сравнение результатов автора производится с методами, не использующими баллон. Почему вместо этого автор не использовал более логичный вариант – сравнение своего подхода с другими подходами, также использующими баллон? Иначе не ясно, какая часть приращения получена за счет результатов автора, а какая за счет применения баллона как такового.

Указанные замечания не снижают научной значимости диссертационного исследования автора. Основные результаты работы достаточно полно опубликованы в научных изданиях. Автореферат отражает содержание и основные положения диссертации.

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и отвечает требованиям ВАК, 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».

Кандидат технических наук,

Доцент кафедры "Компьютерные системы и программные технологии" института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

\_\_\_\_\_ / В. М. Ицыксон /

11.01.2016