



УТВЕРЖДАЮ

генеральный директор
Ф «НИЦЭВТ»

_____ К.Б. Симонов

04 мая 2017г.

Отзыв ведущей организации,
акционерного общества «Научно-исследовательский центр электронной
вычислительной техники» (АО «НИЦЭВТ»)
на диссертацию Буренкова Владимира Сергеевича
«Методы и средства верификации протоколов когерентности памяти»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей»

Актуальность

Организация подсистемы памяти современных многоядерных микропроцессоров в виде сложной иерархии из специальных устройств, с одной стороны, позволяет увеличить быстродействие микропроцессоров, а с другой – приводит к необходимости принятия дополнительных мер по обеспечению согласованного состояния устройств иерархии. Одним из основных таких механизмов являются протоколы когерентности кэш-памяти. Протоколы когерентности памяти разрабатываются для своих микропроцессоров компаниями, осуществляющими проектирование микропроцессоров. Получаемые протоколы обладают высоким уровнем сложности, не говоря об их аппаратных реализациях. В связи с этим, ошибки возможны как на этапе проектирования протоколов, так и на этапе их аппаратной реализации. Ошибки в протоколе когерентности приведут к ошибкам в аппаратной реализации и поэтому должны быть выявлены до начала реализации подсистемы памяти микропроцессора.

Современный подход к верификации протоколов (в частности, протоколов когерентности памяти) предполагает использование формальных методов, которые позволяют получить строгое доказательство соответствия модели верифицируемого протокола набору свойств, которым он должен удовлетворять.

Наиболее известные формальные методы имеют ограниченное применение при верификации протоколов когерентности памяти. Полностью автоматизируемый метод проверки моделей связан с исследованием очень большого числа состояний и поэтому на практике позволяет верифицировать только протоколы систем с четырьмя ядрами. Масштабируемые методы дедуктивной верификации требуют чрезмерного объема ручной работы, поскольку связаны с решением алгоритмически неразрешимых задач.

Как автор убедительно показал в диссертации, существующие специализированные методы верификации протоколов когерентности памяти, как правило, либо требуют значительного объема ручной работы, либо, в случае возможности их полной автоматизации, накладывают большое количество ограничений на модели протоколов, что препятствует верификации протоколов когерентности памяти современных микропроцессоров. Данное обстоятельство определяет несомненную актуальность разработки новых методов и средств верификации протоколов когерентности памяти, чему и посвящена диссертация Буренкова Владимира Сергеевича.

Научная новизна результатов исследования

Основными научными результатами диссертационной работы Буренкова Владимира Сергеевича являются:

- Метод построения формальных моделей протоколов когерентности памяти, основанный на синтаксических преобразованиях моделей, написанных на языке *Promela*. Метод позволяет доказательно проводить преобразование текстов моделей, а в качестве инструмента проверки моделей использовать широко известный и распространенный инструмент *Spin*.
- Сформулированная и доказанная теорема о сохранении синтаксическими преобразованиями свойств, в виде которых описываются требования к протоколам когерентности, определяющая корректность предложенного метода верификации.
- Методика верификации протоколов когерентности памяти, основанная на предложенных Буренковым В.С. способе организации *Promela*-процессов в моделях протоколов когерентности памяти и методе верификации протоколов когерентности. Методика представлена как последовательность шагов, которые необходимо выполнить для верификации протоколов.
- Алгоритмы преобразования дерева абстрактного синтаксиса, представляющего *Promela*-модели, позволяющие автоматически выполнять предложенные преобразования моделей.

Новизна результатов подтверждается сравнением с известными результатами по тематике диссертационного исследования.

Степень обоснованности и достоверности научных результатов

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации научных результатов обеспечивается корректностью и непротиворечивостью математических выкладок, решением практических задач по верификации протокола когерентности 16-ядерной системы из 4-ядерных микропроцессоров Эльбрус-4С, что подтверждено соответствующими актами.

Основные результаты диссертации докладывались автором и широко обсуждались на различных научно-технических конференциях.

Предложенные в диссертации новые решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами. В диссертации даны рекомендации по использованию полученных научных выводов.

Подтверждение опубликования основных результатов работы

Основные положения диссертации отражены в 16 печатных работах, из которых 10 опубликованы лично и 6 – в соавторстве. Опубликовано 8 научных статей в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК РФ, а также тезисы и материалы 4 докладов на российских и международных научно-технических конференциях.

Научная и практическая значимость результатов исследования

Научная значимость результатов исследования заключается в следующем:

- разработан метод параметризованной верификации протоколов когерентности памяти, основанный на синтаксических преобразованиях моделей, написанных на языке Promela;

- сформулирована и доказана теорема о сохранении данными преобразованиями свойств, используемых для спецификации протоколов когерентности памяти;

- доказана корректность предложенной процедуры уточнения формальных моделей, которая используется для устранения ложных сообщений об ошибках, получаемых при проверке данных моделей инструментом Spin.

Результаты, полученные в диссертационной работе Буренкова В.С., несомненно обладают практической значимостью и могут оказать существенную помощь на различных этапах верификации протоколов когерентности памяти. Для этапа написания формальных моделей автор не только аргументированно осуществил выбор языка моделирования Promela, но и предложил, основываясь на

своим многолетним опытом работы, как структурировать описания моделей на этом языке. Модели на языке Promela можно написать различными способами, как и, например, программу на языке С, а предложенный подход поможет верификатору не растеряться во множестве допустимых вариантов. Для этапа параметризованной верификации, Буренков В.С. разработал программный инструмент, который избавляет верификатора от тяжелой рутинной работы по преобразованию текстов моделей, написанных на языке Promela. Использование данного инструмента позволило провести верификацию протокола когерентности 16-ядерной системы из 4-ядерных микропроцессоров «Эльбрус-4С». Процессу верификации при этом присуща высокая степень автоматизации, и объем ручной работы оказался достаточно ограниченным.

Рекомендации по практическому использованию

Предложенные в работе методы и средства могут быть использованы не только верификаторами протоколов когерентности памяти в ходе проектирования высокопроизводительных многоядерных вычислительных систем с общей памятью, но и других систем, состоящих из набора конечных автоматов. Указанные методы и средства могут быть применены на ранних этапах проектирования, осуществляемых до начала написания моделей уровня регистровых передач устройств микропроцессора. Это позволяет обрести уверенность в корректности разработанных протоколов когерентности памяти до того, как будет начата их реализация на языке описания аппаратуры.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа общим объемом 164 страницы содержит введение, четыре главы, выводы, список использованных источников и два приложения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, определены цель и задачи исследования, указаны научная новизна и положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость исследования.

В первой главе проведен анализ существующих методов и средств верификации протоколов когерентности памяти и доказана необходимость разработки новых методов. Осуществлен выбор метода, взятого за основу в данной диссертации.

Вторая глава посвящена разработке математической модели протоколов когерентности памяти и метода построения формальных моделей, основанного на предложенных автором синтаксических преобразованиях текстов моделей, написанных на языке Promela.

В третьей главе разработана процедура уточнения формальных моделей, получаемых с помощью метода, предложенного во второй главе. Разработана методика верификации протоколов когерентности памяти.

В четвертой главе применение разработанного метода и методики верификации протоколов когерентности памяти проиллюстрировано на примере протокола когерентности памяти микропроцессора «Эльбрус-4С». Создано инструментальное средство, позволяющее автоматизировать синтаксические преобразования моделей. Описана разработка данного средства, осуществлен выбор инструмента, позволяющего построить внутреннее представление Promela-моделей в виде дерева абстрактного синтаксиса, над которым и выполняются преобразования.

В заключении приведены основные выводы и практические результаты проведенного исследования.

В списке использованных источников содержится 122 наименования.

Полученные в диссертационной работе результаты соответствуют поставленной цели и сформулированным задачам, а проведенные соискателем теоретические, практические и экспериментальные исследования носят комплексный и заверченный характер.

Таким образом, положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, имеют логическое и научное обоснование. Оформление текста и графического материала выполнено с соблюдением требований к диссертационным работам. Автореферат диссертации адекватно отражает ее содержание.

Замечания

1. В работе не предложены методы верификации аппаратных реализаций протоколов когерентности. Такие методы представляют несомненный практический интерес, и их применение является обязательным следующим шагом верификации после верификации самих протоколов.

2. Автор не проводит сравнения полных временных затрат по описанию модели и спецификации и их верификации с помощью разработанного метода по сравнению с существующими методами, что затрудняет оценку эффективности автоматизации предлагаемого решения.

3. Из утверждения, приведенного на странице 140 («модель можно еще усложнить, применив метод к более сложному протоколу когерентности, чем протокол системы Эльбрус-4С»), неясно, насколько можно еще усложнить верифицируемые модели.

В целом отмеченные недостатки не имеют принципиального значения, теоретическое исследование и разработанные инструменты являются полезным

вкладом в область верификации протоколов, используемых в высокопроизводительных вычислительных системах для поддержки когерентного доступа к памяти.

Заключение

Диссертационная работа Буренкова Владимира Сергеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Буренков Владимир Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв на диссертацию В.С. Буренкова заслушан и обсужден на заседании Научно-технического совета АО «НИЦЭВТ». Протокол № 4 от 25.04.2017.

Начальник управления акционерного общества
«Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники»,
к.т.н., с.н.с.

Симонов Алексей Сергеевич

117587, г. Москва,
Варшавское шоссе, д. 125,
тел. +7(495)382-81-38,
e-mail: simonov@nicevt.ru
« 04 » 05 2017 г.

Подпись к.т.н., с.н.с. Симонова А.С. заверяю.

Ученый секретарь АО «НИЦЭВТ»

А.Е. Леонова