

ОТЗЫВ

официального оппонента Феоктистова Александра Геннадьевича
на диссертацию **Ушаковой Марии Сергеевны**
на тему «Методы и инструментальные средства формальной верификации
функционально-поточковых параллельных программ»
по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Актуальность темы диссертации

Диссертация посвящена разработке специализированных методов и инструментальных средств формальной верификации функционально-поточковых параллельных программ на языке Пифагор. Следует отметить, что в настоящее время исследование надежности и корректности параллельных программ является одной из фундаментальных проблем в теории и практике параллельного программирования, привлекающей пристальное внимание известных российских и зарубежных специалистов в данной области. Непрерывно возрастающая сложность решаемых задач еще более актуализирует данное направление исследований.

В отличие от классических подходов к распараллеливанию вычислений, специфика использования функционально-поточкового параллельного языка программирования Пифагор заключается в том, что программа описывает только взаимосвязи между данными, что позволяет не принимать во внимание ресурсные ограничения на этапе проверки ее логической корректности. Поэтому в диссертации разрабатываются алгоритмы доказательства логической корректности программ в функционально-поточковой параллельной парадигме. Применение таких алгоритмов позволяет обеспечить надежность разрабатываемых параллельных программ в процессе их разработки. Таким образом, научная проблема, решаемая автором диссертации, безусловно, является актуальной.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и четырнадцати приложений. Общий объем работы 219 с., включая 157 с. основного текста и 62 с. приложений. Список литературы содержит 188 наименований.

Во введении обосновывается актуальность исследования, формулируются его цели и задачи, подчеркивается научная и практическая значимость работы, кратко излагается содержание диссертации.

В первой главе автор проводит сравнительный анализ известных методов и средств формальной верификации программ, рассматривает их применимость к программам на языке Пифагор и осуществляет выбор наиболее подходящих из них применительно к решению поставленных в диссертации задач.

Вторая глава посвящена построению аксиоматической семантики функционально-поточковых параллельных программ. В частности, формируется семантика языка Пифагор и предлагаются правила преобразования программ, позволяющие получить условия их корректности. Процесс верификации программ определяется в терминах преобразований информационного графа программы. С целью упрощения задачи верификации вводятся дополнительные правила преобразования данного графа.

Вопросы, связанные с доказательством корректности рекурсивных функций параллельной программы, рассматриваются в третьем разделе. В их числе доказательство

частичной корректности и завершения программы. Разрабатывается новый метод формальной верификации рекурсивных функционально-поточковых параллельных программ с использованием аксиоматической теории для языка Пифагор. Обсуждается трудоемкость процессов формализации спецификации и доказательства корректности программы и тем самым обосновывается необходимость разработки соответствующих инструментальных средств.

В четвертой главе описывается архитектура прототипа инструментального средства поддержки формальной верификации программ на языке Пифагор. Архитектура имеет модульную структуру. Детально рассматриваются назначение и схема взаимодействия модулей. Поддерживается визуализация процесса доказательства.

Основные этапы верификации частично или полностью автоматизированы. В соответствии с этим предусмотрены три режима работы системы формальной верификации программ: ручной, частично автоматизированный и полностью автоматизированный.

В заключении приводятся основные результаты работы и обсуждаются перспективы дальнейшего развития представленного направления исследований.

Приложения содержат примеры спецификации и верификации функционально-поточковых параллельных программ, а также другие документальные и иллюстративные материалы.

Автореферат полно и корректно отражает содержание диссертации.

Основные результаты диссертации

В рамках исследования получены следующие основные результаты:

- с помощью языка типизированного лямбда-исчисления формализована семантика языка программирования Пифагор;
- разработаны алгоритмы формирования условий корректности программ на языке Пифагор – формул на языке логики, истинность которых обуславливает корректность исследуемых программ;
- предложены методы, предназначенные для упрощения вышеупомянутых условий корректности программы путем ее эквивалентных преобразований;
- создан прототип инструментального средства, обеспечивающий частичную автоматизацию процесса формальной верификации функционально-поточковых параллельных программ.

Новизна, теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Все полученные результаты являются новыми.

Их теоретическая значимость состоит в разработке специализированных методов формальной верификации функционально-поточковых параллельных программ на языке Пифагор, применение которых обеспечивает существенное улучшение надежности и корректности верифицируемого программного обеспечения.

Применение результатов исследования, подтвержденное соответствующими актами о внедрении, способствуют повышению эффективности разработки параллельных программ. Эти результаты успешно использованы в ряде научно-исследовательских проектов, а также в учебном процессе. Таким образом, практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений.

Апробация

Результаты исследования неоднократно обсуждались на известных профильных международных и всероссийских научных мероприятиях.

По теме диссертации автором опубликовано 23 научные работы, достаточно полно представляющие полученные результаты. В их числе 6 публикаций в рецензируемых изданиях по списку ВАК РФ и 8 работ в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus.

На разработанное программное обеспечение получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Большое число работ выполнено без соавторства, что подтверждает самостоятельность проведенных исследований.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов исследования подтверждается корректным применением методов дедуктивного анализа для формальной верификации функционально-поточковых параллельных программ и классических теорий доказательства теорем, а также детальным обоснованием алгоритмов, применяемых в разработанных инструментальных средствах для реализации вышеупомянутых методов и теорий.

Замечания

1) Следует отметить, что в прототипе инструментального средства поддержки формальной верификации программ на языке Пифагор, представленном в диссертации, отсутствует автоматическая передача условий корректности в систему доказательства теорем.

2) В рамках исследования система HOL выбрана в качестве средства интерактивного поиска доказательства корректности программ. При этом достаточно важным вопросом является дополнение логики данной системы теорией, отражающей типы языка Пифагор, которые не имеют аналогов среди ее встроенных типов. К сожалению, описание данного процесса разнесено между разделом 2.2.5 и Приложением Г, что затрудняет восприятие излагаемого материала. Кроме того, из текста диссертации не совсем ясно, как в системе HOL проверяется корректность такой дополнительной теории.

3) Проверка применимости аксиом на очередном шаге доказательства корректности программы осуществляется пользователем вручную. При этом автоматизация данного процесса в рамках системы доказательства теорем была бы полезна.

4) В разделе 4 на с. 113 предполагается, что система формальной верификации программ может работать в трех режимах: ручном, частично автоматизированном и автоматизированном. Следовало пояснить предназначение каждого из перечисленных режимов относительно степени квалификации пользователя системы.

5) В тексте диссертации встречаются несущественные опечатки, не влияющие на восприятие и понимание содержания работы.

Впрочем, указанные недостатки являются, по большей части, не столь существенными техническими вопросами и несколько не влияют на несомненную теоретическую и практическую ценность полученных результатов.

Общее заключение по диссертации

Диссертация Ушаковой Марии Сергеевны соответствует специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, обладает внутренним единством и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решается задача верификации программ на языке программирования Пифагор, безусловно, имеющая важное значение для развития теоретических основ программирования.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Ушакова Мария Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент
заведующий лабораторией
параллельных и распределенных вычислительных систем
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН),
кандидат технических наук, доцент




Феоктистов Александр Геннадьевич

12.04.2022 г.

Почтовый адрес: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134
Телефон: +7 (3952) 45-31-54
E-mail: agf@icc.ru



Подпись заверяю
Нач. отдела делопроизводства
и организационного обеспечения
ИДСТУ СО РАН


Г.Б. Кононенко

12.04.2022