

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА НА ДИССЕРТАЦИЮ

ГРЕЧАНИКА Сергея Александровича

«Доказательство свойств функциональных программ

методом насыщения равенствами»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Диссертация С.А. Гречаника посвящена разработке, а также теоретическому и экспериментальному исследованию комбинированного метода доказательства свойств функциональных программ. Основное свойство, которое анализируется при помощи предложенного метода – это отношение эквивалентности программ. Доказательство эквивалентности программ достигается за счет применения эквивалентных преобразований программ. Используемые для построения доказательства эквивалентные преобразования подразделяются на три класса – структурные преобразования общего вида, преобразования насыщения равенствами и преобразование слияния по бисимуляции. Комбинированное использование этих трех типов эквивалентных преобразований составляет главное отличительное достоинство предложенного метода.

Задача проверки эквивалентности программ возникает во многих разделах программирования и почти на всех этапах разработки программ. Она имеет первостепенное значение при проведении оптимизации программ; оптимизирующих эквивалентные преобразования программ используются во всех развитых компиляторах. Эта задача также возникает при верификации и модернизации программ, при проведении их рефакторинга, обнаружении уязвимостей и дефектов и др. Поэтому математические методы проверки эквивалентности программ и построенные на их основе программно-инструментальные средства верификации могут способствовать повышению уровня автоматизации в разработке программного обеспечения и улучшению его качества. Таким образом, можно утверждать, что тема диссертации С.А. Гречаника является весьма актуальной задачей системного программирования и соответствует специальности 05.13.11.

Главная трудность решения задачи проверки эквивалентности программ состоит в том, что отношение функциональной эквивалентности программ не является рекурсивно перечислимым. Это означает, что алгоритмическими средствами можно достичь лишь частичного решения этой задачи. Такое решение можно получить, проводя исследование по одному из двух направлений. Первое направление предполагает аппроксимацию отношения функциональной эквивалентности программ более простыми разрешимыми отношениями эквивалентности. Этот подход используется в теории схем программ. Однако, как показали результаты ранее проведенных исследований, применение этого подхода к рекурсивным программам приводит к моделям, в которых задача проверки эквивалентности, хоть и оказывается разрешимой, но имеет чрезвычайно высокую сложность. Поэтому, сколь бы ни было велико теоретическое значение результатов такого рода, в ближайшей перспективе они не приведут к практическим последствиям. Второе направление предусматривает создание методов и правил эквивалентных преобразований самих рекурсивных программ, которые позволяли проводить проверку эквивалентности хотя бы для некоторых достаточно сходных пар программ или добиваться хотя бы

частичной их оптимизации. Корректность таких методов обеспечивается строгими математическими средствами, но степень их полноты и эффективности можно проверить лишь экспериментально. Для этой цели используются специальные репозитории тестовых примеров, на которых проводится сравнительный экспериментальный анализ новых автоматических средств анализа программ. Это направление исследований является более практичным, поэтому вполне естественно, что С.А. Гречаник отдал ему предпочтение. Таким образом, общая стратегия и методика решения рассматриваемой в диссертации задачи также соответствуют специальности 05.13.11.

Диссертация С.А. Гречаника состоит из введения, шести глав, заключения и трех приложений.

Во введение коротко обосновывается актуальность темы исследований и отмечаются главные достижения диссертации.

В первой главе проводится обзор ранее известных результатов в области исследования. Этот обзор довольно содержателен, поскольку автор уделяет основное внимание тем принципам и приемам в решении задачи проверки эквивалентности программ, которые были далее развиты и использованы в его исследованиях.

Во второй главе вводятся основные понятия, используемые в диссертации. Главное из них – это функциональная полипрограмма, в которой разрешается иметь несколько разных определений одной и той же функции. В этой главе описаны синтаксис и семантика функциональных полипрограмм, введено отношение семантической эквивалентности, описаны в общих чертах простейшие структурные правила эквивалентных преобразований полипрограмм и сформулированы задачи, решаемые в диссертации. На основе операций над перестановками переменных из левых и правых частей программных определений введена каноническая форма программных определений, которая способствует компактному представлению определений в полипрограммах.

Третья глава посвящена изучению вопроса о том, как целесообразно определить понятие локального правила преобразования полипрограмм и в какой форме целесообразно представлять полипрограммы для применения к ним локальных правил преобразования. Для этого введены две специальные формы представления программ, важные для последующего построения правил эквивалентных преобразований – расчлененная форма и бесточечная форма. Для первой из них характерно вынесение некоторых подтермов из правых частей определения функций в отдельные определения, а для второй – отсутствие явного упоминания параметров функции. Эти две формы нужно рассматривать как некоторые специальные алгебраические структуры, при помощи которых можно единообразно и строго формально описывать правила преобразования программ. Показано, что правила преобразования программ можно определить в терминах теории категорий. Исследованы некоторые основные свойства морфизмов, связанных с применением правил преобразования к программам. Продемонстрирован эффект неоднозначного применения правил и показано, что для его устранения целесообразно применять к программам, представленным в полностью канонической форме.

В четвертой главе диссертации определена система локальных правил преобразования полипрограмм, включающая упрощающие правила преобразования полипрограмм, особое правило конгруэнтности и насыщающие правила преобразования полипрограмм. Отмечено назначение каждого из правил и обоснована их корректность (т.е. доказано, что применение введенных правил преобразования приводит к семантически эквивалентным

полипрограммам). Описания правил снабжены примерами их применения. В этой главе также исследован и решен вопрос о завершаемости введенной системы правил преобразования полипрограмм.

В пятой главе диссертации исследуется вопрос об эквивалентных преобразованиях полипрограмм с рекурсивными определениями. Для этой цели используется преобразование слияния по бисимуляции. Определение отношения бисимуляции полипрограмм дается при помощи морфизмов. Показано, что при некоторых естественных условиях бисимулярные полипрограммы семантически эквивалентны и установлены достаточные признаки выполнимости указанных условий корректного применения правила слияния по бисимуляции. Описан алгоритм поиска бисимулярных фрагментов полипрограмм.

В шестой главе диссертации рассказывается о программной системе, реализующей описанный метод проверки эквивалентности функциональных программ, а также о методике и результатах практических испытаний этой системы. Описано общее устройство системы, особенности реализации стратегии применения описанных в диссертации преобразований.

Автор диссертации выделил несколько задач, возникших в ходе исследований, решение которых ему не удалось получить. К их числу относятся вопрос о неизбежности использования правила насыщения по коммутативности, а также вопрос о достижении свойства конfluence системы упрощающих правил преобразования программ и правила конгруэнтности. Эти задачи действительно являются непростыми, и замечания такого рода подчеркивает высокую степень научной ответственности автора диссертации.

Наиболее значительные научные достижения диссертации таковы.

1) В терминах теории категорий определены отношения эквивалентности функциональных программ и понятие правила преобразования программ. Исследованы некоторые важные свойства морфизмов, возникающих при работе с правилами преобразования программ, позволившие выделить общие характерные особенности применения этих правил к программам. Фактически, автору диссертации в рамках теории категорий удалось построить некоторую достаточно общую теорию преобразований полипрограмм. Конструкции и понятия, используемые для этой цели, могут оказаться весьма полезными в качестве некоторой единообразной платформы для последующего расширения аппарата эквивалентных преобразований функциональных программ.

2) Приведено описание системы правил преобразования полипрограмм, доказана их корректность и выделены подсистемы правил, а также стратегии их применения, обладающие свойством завершаемости.

3) Исследован вопрос о корректном применении сверточной операции слияния по бисимуляции. Установлены достаточные условия, при которых это правило является эквивалентным преобразованием полипрограмм.

4) Описанный автором подход к решению задачи проверки эквивалентности функциональных программ реализован в виде программно-инструментальной системы, которая показала хорошие результаты на представительном наборе тестовых примеров.

Вместе с тем к диссертации могут быть предъявлены некоторые замечания.

1. Стилистические недостатки и упущения.

а) Иногда автор слишком вольно обращается с устоявшейся терминологией. Например, выражение «тьюринг-полная» система вычислений называется полной по Тьюрингу или алгоритмически полной.

б) Опечатки в диссертации очень редки, но иногда они приводят к неоднозначному пониманию текста. Например, пропущенное слово (вероятно, союз «и») в формулировке задачи доказательства эквивалентности программ на стр. 39 делает первое предложение этого определения загадочным. Также непонятно, о какой лемме идет речь на стр. 52.

в) Автор описывает содержательный смысл и назначение введенных конструкций и понятий вольным стилем (и это можно считать достоинством изложения), но порой выбирает не вполне подходящие обороты речи. Например, на стр. 113 используется неудачное выражение «раздувание полипрограммы».

г) На стр. 60 в описании перестановок параметры n и m по ходу изложения меняются ролями и это затрудняет понимание текста.

д) Определение функциональных символов на стр. 61 должно быть дано намного раньше, при определении синтаксиса языка.

е) Неясно, что обозначает запись `cod` на стр. 69 в определении операции `push`.

2. Терминологические и структурные несовершенства.

а) Определение синтаксиса формального языка (стр. 25) обычно начинается с описания сигнатуры (алфавита) языка и завершается объяснением содержательного смысла синтаксических конструкций. Именно это и следовало бы сделать в диссертации

б) На стр. 34 при обсуждении вопроса о выборе семантики, хорошо сочетающейся с правилами преобразования программ, было бы разумно воспользоваться широко известным понятием «отношения эквивалентности, стабильного относительно определенного класса преобразований».

в) В определении модели для полипрограммы на стр. 35 целесообразно было бы ввести понятие оценки (иначе говоря, значения) выражений, из которых состоят программные определения.

г) Операция `bisplit`, введенная на стр. 68 очень похожа на операцию антиунификации, которая вычисляет наиболее специальный общий шаблон двух перестановок. В силу этого Утверждения 3 и 4 - это известные свойства операции антиунификации.

3. Математические неточности.

а) При изложении формальной постановки задач на стр. 39 автор на самом деле говорит о классах задач, поскольку выбор полипрограммы P_2 или степени полноты в выдаче ответа на вопрос об эквивалентности полипрограмм остается неопределенным. Гораздо проще было бы потребовать, чтобы процесс преобразования полипрограмм выдавал все эквивалентные полипрограммы, а процедура проверки эквивалентности всегда выдавала положительный ответ в случае эквивалентных термов. Тогда провести формальное доказательство взаимной сводимости задачи преобразования полипрограмм и доказательства эквивалентности термов не составило бы труда.

б) На стр. 56 автор пишет «примем это без доказательства», что выглядит очень странно для математической работы.

Эти замечания, впрочем, не являются критическими, поскольку отмеченные недостатки не нарушают целостность работы и не сказываются заметным образом на корректности полученных результатов.

Нужно отметить также что диссертация хорошо структурирована, изложение материала проведено ясно и подробно. Многочисленные примеры, которые сопровождают почти все определения и описания правил преобразования программ, способствуют хорошему пониманию текста и в значительной мере проясняют смысл всех конструкций. Математические утверждения сопровождаются строгими и корректными доказательствами. Все основные результаты, полученные в диссертации, являются новыми.

В автореферате строго и полно описаны цели и задачи исследования, содержание работы и основные полученные результаты. Автореферат соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям.

На основании материалов диссертаций считаю, что диссертация Гречаника Сергея Александровича «Доказательство свойств функциональных программ методом насыщения равенствами» является законченным научно-квалификационным трудом и удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения научных степеней, а ее автор, С.А. Гречаник, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Профессор факультета вычислительной математики
и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук
(специальность 01.01.09 – дискретная математика и
математическая кибернетика)

Захаров Владимир Анатольевич

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова»

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

Телефон: (495) 939-17-71

Факс: (495) 939-25-96

E-mail: zakh@cs.msu.su



18.01.2018