

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Владимира Анатольевича БАШКИНА

«Некоторые методы ресурсного анализа сетей Петри»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Актуальность темы исследования и соответствие ее специальности. Сети Петри - это одна из наиболее востребованных моделей вычислений; она уступает по широте использования, по видимому, лишь конечным автоматам и машинам Тьюринга. Простота устройства и вариабельность сетей Петри позволяют применять их для описания практически любых процессов – природных, технологических, информационных, социальных и др., – в которых сочетаются последовательное (причинно обусловленное) и параллельное (причинно независимое) осуществление действий (событий), состязательное обращение с ресурсами, взаимодействие компонентов процессов. Неудивительно, что диапазон области применения сетей Петри простирается от биологии до криптографии, от логистики до микроэлектроники. Любые продвижения в изучении поведения сетей Петри (методы и алгоритмы построения, анализа, преобразования) почти немедленно приводят к разработке и совершенствованию программно-инструментальных средств решения многих задач в самых разных отраслях деятельности. Поэтому практическая актуальность темы исследования диссертации неоспорима.

В иерархии моделей вычислений сети Петри по своим вычислительным возможностям занимают промежуточное положение между «простыми» моделями вычислений наподобие конечных автоматов и универсальными моделями вычислений, включающими машины Тьюринга, системы переписывания термов, машины с равнодоступной памятью и др. Большинство задач анализа поведения «простых» и универсальных моделей вычислений хорошо изучены; для них либо построены эффективные алгоритмы решения, либо доказана их алгоритмическая неразрешимость. Совсем иначе обстоит дело с сетями Петри; их промежуточное положение в ряду других вычислительных систем приводит к значительным математическим трудностям в решении многих стандартных задач анализа поведения этой модели вычислений, таких как проблемы завершаемости и бесконечности вычислений, достижимости заданных конфигураций вычисления, эквивалентности поведения и пр. Некоторые из этих задач имеют столь высокую вычислительную сложность, что их алгоритмическая разрешимость по существу мало отличается от неразрешимости. Математическую теорию сетей Петри отличает большое число открытых задач и вопросов, которые ожидают своего решения годами и десятилетиями. Для решения многих задач анализа поведения сетей Петри понадобилось разработать специальные методы и подходы, обогатившие арсенал математических средств верификации информационных систем. Коротко говоря, задачи анализа поведения сетей Петри весьма трудны для решения, но, вместе с тем, и очень важны для развития теоретической информатики. Достижения в их решении служат неоспоримым свидетельством высокой математической квалификации исследователя.

Таким образом, тема исследований диссертационной работы В.А. Башкина является в равной мере актуальной как для развития теории математических моделей распределенных вычислений и методов их анализа, так и для создания и совершенствования программно-инструментальных средств разработки, моделирования и верификации информационных систем. Тема исследований и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики,

подпадая под п. 2 описания области исследования: «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур».

Анализ содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Раздел «Введение» диссертации повторяет содержание раздела «Общая характеристика работы» автореферата. Коротко описана значимость сетей Петри как математической модели распределенных информационных систем, объяснены цель и методологию исследований, и перечислены основные результаты диссертации, которые выносятся на защиту. Формулировки этих результатов точны и конкретны. Они полностью подтверждаются строго доказанными утверждениями и теоремами, а также подробным описаниям методов и алгоритмов, которые приводятся в соответствующих разделах диссертации.

В первой главе диссертации приводятся определения всех основных понятий и отношений теории сетей Петри, на которых сосредоточено внимание в этой работе, а именно, размеченной системы переходов, сети Петри, ресурса, отношений бисимуляции систем переходов и сетей Петри, отношений подобия и бисимуляции ресурсов. Формулировки определений точны и лаконичны, сопровождаются иллюстрирующими примерами. Определения этих понятий сопровождаются также рядом утверждений о свойствах и взаимоотношениях введенных понятий. Эти утверждения очень важны для дальнейшего понимания работы, они были установлены автором в его кандидатской диссертации, и поэтому не выносятся в качестве результатов докторской диссертации. По ходу введения и описания основных понятий автор также дает обзор современного состояния исследований в той части теории сетей Петри, которая занимается теми задачами, которые были исследованы в диссертации. Указаны некоторые из наиболее важных открытых вопросов и гипотез. Первая глава завершается описанием методов редукции сетей Петри с использованием понятия ресурса; этим описанием автор обозначает направление практического использования результатов диссертации.

Достоинства главы 1. Очень хорошо разработана система определений основных понятий. Емкое описание ранее известных результатов, которые служат отправной точкой для исследований диссертационной работы.

Вторая глава диссертации содержит материал исследований отношений бисимуляции разметок и подобия ресурсов. Автор справедливо полагает, что коль скоро оба эти отношения неразрешимы в классе всех сетей Петри, для получения нетривиальных положительных результатов нужно продвигать исследования в первую очередь по двум направлениям: 1) рассматривать указанные отношения на более узких классах сетей Петри, и 2) конструировать и изучать рекурсивные аппроксимации упомянутых отношений. В обоих направлениях исследований автору диссертации удалось добиться частичного успеха. В подразделе 2.1. введены отношения бисимуляции разметок для заданной сети Петри и доказана разрешимость этих отношений для класса ограниченных сетей (Теоремы 2.1., 2.2.). В качестве доказательства приводится явное описание алгоритмов проверки и обоснование корректности. Однако в следующем разделе показано, что попытка сходным образом ввести отношение ограниченного подобия (Определение 2.5) не выводит отношение подобия из области неразрешимых задач. Но, как показано в разделе 2.3., более простыми оказываются верхние аппроксимации отношения подобия: в доказательстве теоремы 2.4 описан алгоритм вычисления отношения расслоенного подобия. В последних двух разделах второй главы введено и

исследовано новое обобщение отношения подобия ресурсов (ресурсом служат не только фишки сети, но и ее переходы) и показано применение теории подобия ресурсов для обеспечения отказоустойчивости систем, описываемых сетями Петри.

Достоинства главы 2. В этой главе заслуживает внимания целый спектр отношений на разметках и ресурсах сетей Петри, аппроксимирующих два неразрешимых отношения бисимуляции разметок и подобия ресурсов. Автору удалось отыскать подходящие разрешимые аппроксимации этих отношений или показать, что трудности анализа указанных отношений имеют гораздо более глубокий характер, чем можно было предполагать первоначально.

Недостатки главы 2. Представляя алгоритм n -расслоенного подобия ресурсов, автор не приводит ни оценок его трудоемкости, ни оценок сложности самой задачи. Утверждение «алгоритм крайне неэффективен» имеет смысл только в контексте оценки сложности самой задачи.

Третья глава диссертации посвящена изучению односчетчиковых сетей Петри и разработке методов их анализа. Используя методы теории чисел, автор предложил новое, интересное с математической точки зрения, и перспективное для решения прикладных задач описание полулинейных множеств натуральных чисел. Это описание приводит к компактному представлению бесконечных множеств натуральных чисел, характеризующих конфигурации вычислений односчетчиковых систем. Для предложенного символического представления полулинейных множеств разработаны алгоритмы вычисления теоретико-множественных операций и отношений. С использованием символического представления полулинейных множеств в подразделе 3.3 автору удалось разработать новые полиномиальные по времени символические алгоритмы построения множеств достижимости и верхней аппроксимации отношения наибольшей бисимуляции, а также алгоритм проверки выполнимости одного подкласса формул CTL для односчетчиковых сетей. В последнем разделе исследована проблема бездефектности для сетей потоков работ и доказано, что для сетей с одной ресурсной позицией, являющейся аналогом счетчика, свойство бездефектности эффективно верифицируемо.

Достоинства главы 3. Несомненное достоинство этой главы – разработка символического аппарата описания полулинейных множеств и выполнения операций над ними. Предложенный метод наверняка сможет найти применение для решения задач анализа и верификации в других моделях вычислений, в которых воспроизводится эффект счетчика. Очень хорошо проработано применение этого метода для разработки алгоритмов анализа поведения односчетчиковых сетей Петри. Большое значение также имеют результаты о разрешимости свойства бездефектности для одномерных сетей потоков работ.

Недостатки главы 3. Автор пренебрегает важностью оценок сложности задач и предложенных алгоритмов их решения. Если показано, что алгоритм решает задачу за полиномиальное время, то очень желательно иметь оценку степени этого полинома. Если установлена эффективная разрешимость задачи, то важно знать (по меньшей мере, ориентировочно), каковы вычислительные издержки предложенного решения.

В **четвертой главе** диссертации автор вводит новую математическую модель оперирования с ресурсами – сети активных ресурсов. Эта глава посвящена изучению выразительных (вычислительных) возможностей предложенной модели в сравнении с различными видами сетей Петри и универсальными моделями вычислений. В разделе 4.1 показано, что «простые» сети активных ресурсов имеют такие же вычислительные возможности, как и обыкновенные сети Петри. В разделе 4.2. исследованы модулярные (композиционные) свойства сетей активных ресурсов и построена модульная иерархия этих сетей. В разделах 4.3 и 4.4 исследованы вопросы о вычислительных возможностях

сетей активных ресурсов, обогащенных дополнительными средствами манипуляции с ресурсами – ингибиторными, обнуляющими, ненадежными дугами, каналами, - а также иерархические сети, в которых ресурсами могут служить вычислительные модели, в т.ч. сети. Показано, что во всех случаях при расширении аппарата сетей активных ресурсов перечисленными средствами вычислительные возможности таких моделей совпадают с вычислительными возможностями одной из трех моделей – обыкновенных сетей Петри, сетей Петри с обнуляющими дугами или машин Тьюринга. В последнем разделе 4.5 проведена классификация и исследованы вычислительные возможности клеточных автоматов, управляемых ресурсами.

Достоинства главы 4. Проведено подробное и систематическое исследование новой модели вычислений – сетей активных процессов. Показаны преимущества использования этой модели для описания поведения распределенных информационных систем.

Недостатки главы 4. Некорректность формулировки теоремы 4.1: класс сетей с активными ресурсами не совпадает с классом сетей Петри, но эквивалентен ему, если под эквивалентностью понимать совпадение деревьев вычислений. Это же замечание относится и к некоторым другим формулировкам подобного вида в главе 4.

Основные результаты, полученные в диссертации, таковы.

1. Новый метод символьного представления полулинейных множеств натуральных чисел, позволяющий разрабатывать эффективные алгоритмы анализа и верификации односчетчиковых сетей Петри и одномерных сетей потоков ресурсов (глава 3);
2. Новые отношения, аппроксимирующие отношения бисимуляции на множестве разметок и отношения подобия на множестве ресурсов, а также алгоритмы проверки этих отношений (глава 2);
3. Новая модель вычислений – сети активных ресурсов, – предназначенная для анализа поведения систем, использующих понятие ресурсов, и описание вычислительных возможностей этой модели.

Результаты исследований, представленные в диссертации В.А. Башкина, являются важным вкладом в развитие теории сетей Петри, одной из центральных моделей распределенных вычислений. Эти результаты включают алгоритмы и методы анализа поведения сетей Петри и их модификаций, которые могут быть использованы в явном виде в программно-инструментальных системах анализа и верификации распределенных вычислительных систем. Все результаты диссертации являются новыми и сопровождаются полными и корректными доказательствами.

Публикации В.А. Башкина в изданиях из списка ВАК содержат все основные результаты диссертации. Автореферат вполне отражает содержание диссертационной работы и выполнен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к авторефератам.

Считаю, что диссертационная работа Владимира Анатольевича Башкина «Некоторые методы ресурсного анализа сетей Петри» представляет собой завершенное научное исследование актуальных задач теории вычислений. В этой диссертации разработаны теоретические положения и математические модели, которые вносят крупный вклад в развитие теоретических основ информатики. Диссертация В.А. Башкина полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

профессор ф-та ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физ.-мат. наук



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ВЕРНОЙ СПЕЦИАЛИСТ

Т.Г. КОВАЛЕНКО

Захаров

В.А. Захаров