

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Ярославского  
государственного университета  
им. П.Г. Демидова  
д.х.н., профессор Русаков А.И.



«14» ноября 2016 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

«Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова» на диссертационную работу Кушик Натальи Геннадьевны на тему «МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОДКЛАССОВ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ПОНИЖЕННЫМИ ОЦЕНКАМИ СЛОЖНОСТИ УМОЗРИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Диссертационная работа Н.Г. Кушик посвящена решению актуальной задачи синтеза экспериментов для конечных автоматов, которая, безусловно, имеет теоретический и практический интерес. «Умозрительные» эксперименты с автоматами представляют интерес с точки зрения исследования последовательностных (ограниченно-детерминированных) функций, в частности, возможности представления таких функций конечными множествами. Кроме того, последовательности, направленные на идентификацию состояний, часто выступают пре-/пост-амбулами проверяющих последовательностей при синтезе тестов для дискретных систем. Следует отметить, что «умозрительные» эксперименты с автоматами достаточно полно изучены только для класса детерминированных полностью определенных автоматов.

Особый интерес представляет синтез таких экспериментов для недетерминированных автоматов (новый класс последовательностных функций). С практической точки зрения, современные технические системы оказываются все более сложными; частичная управляемость и наблюдаемость их компонент приводит к тому, что конечные автоматы, описывающие их поведение оказываются недетерминированными. Задачи синтеза «умозрительных» экспериментов для автоматов этого класса только начинают исследоваться. Вместе с тем, полученные оценки

сложности задач проверки существования экспериментов часто являются неутешительными (NP- или PSPACE-полные задачи), оценки длин для небольшого класса соответствующих последовательностей (полученные ранее) являются экспоненциальными. Соответственно, возникает вопрос понижения сложности умозрительных экспериментов с недетерминированных автоматами; одним из решений данной задачи может выступать выделение подклассов автоматов с пониженными оценками сложности таких экспериментов.

Настоящая диссертация посвящена установлению оценок сложности задач проверки существования и синтеза умозрительных экспериментов для недетерминированных автоматов, а также понижению сложности этих задач посредством определения классов недетерминированных автоматов, для которых худшие оценки сложности не являются достижимыми.

Структура работы следующая.

В первой главе автор вводит необходимые определения и обозначения. В частности, определяются различные классы конечных автоматов и полуавтоматов. Приводятся известные методы синтеза различающих и установочных экспериментов с конечными автоматами. Следует отметить, что данные методы для недетерминированных автоматов были предложены в кандидатской диссертации автора.

Вторая глава работы содержит обзор известных оценок сложности в области синтеза умозрительных экспериментов для конечных автоматов. Здесь же восполняется ряд пробелов в данной области. В частности, показывается, что задача проверки существования безусловного различающего эксперимента для полностью определенного наблюдаемого недетерминированного автомата является PSPACE-полной. Для доказательства этого факта используется нетривиальный переход к полуавтомату специального вида, множество синхронизирующих последовательностей которого совпадает с множеством различающих последовательностей для исходного недетерминированного автомата. Как одно из следствий этого факта, показывается регулярность множества всех установочных (множества всех различающих) последовательностей для конечного автомата. Показывается также принадлежность задачи проверки существования безусловного установочного эксперимента для недетерминированного наблюдаемого полностью определенного автомата классу PSPACE. Устанавливаются две достижимые экспоненциальные оценки длин безусловного установочного и адаптивного различающего экспериментов для полностью определенных наблюдаемых недетерминированных автоматов. Для этого на множестве подмножеств состояний данных автоматов вводятся специальные линейные порядки. Таким образом, вторая глава работы является своеобразной мотивацией, определяющей цель работы, а именно, мотивацией к определению



подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов.

В третьей главе работы используется известный прием для понижения сложности перечисленных проблем – автор обращается к условным экспериментам вместо безусловных. Как и ранее, глава начинается с обзора возможностей использования такого приема для детерминированных автоматов, и далее известные результаты обобщаются (если это возможно) на класс недетерминированных автоматов. Предлагается методы синтеза адаптивных экспериментов для ненаблюдаемых автоматов, и устанавливаются оценки их сложности. Показывается, что если в недетерминированном наблюдаемом автомате каждое состояние может быть начальным, то задача проверки существования условного установочного эксперимента может быть решена за полиномиальное время. Аналогичный результат имеет место для различающих экспериментов в случае исследования автоматов без слияний (*merging-free*). Полученные результаты используются для определения и дальнейшего синтеза условных синхронизирующих экспериментов, для которых также выводятся полиномиальные оценки сложности, в случае, когда каждое состояние может быть начальным и когда в автомате существует состояние, уникально достижимое из каждого состояния автомата, т.е. фактически в автомате должно существовать состояние, адаптивно достижимое из каждого состояния автомата.

Полученные «хорошие» классы недетерминированных автоматов используются в четвертой главы для эффективного синтеза проверяющих экспериментов (тестов) относительно модели «белого ящика». В данной главе предлагается метод синтеза такого эксперимента для недетерминированных спецификаций, при условии что все неисправные проверяемые автоматы (реализации) могут быть перечислены явно. Далее (на базе результатов главы 3) определяются специальные классы моделей неисправности, для которых может построить проверяющий эксперимент, обнаруживающий любую неконформную реализацию за полиномиальное время. В этом случае предлагается исследовать прямую сумму автомата-спецификации и автомата-реализации. Показывается, что проверка существования требуемого проверяющего эксперимента может быть сведена к выделению специальных подавтоматов данной прямой суммы, называемых проекциями. В данном случае рассматриваются детерминированная и *merging-free*-проекции, поскольку они допускают полиномиальную проверку существования необходимого различающего тестового примера.

Последняя (пятая) глава работы посвящена обсуждению технических приложений задач синтеза умозрительных экспериментов для конечных, в том числе, недетерминированных автоматов. В первой

части главы исследуются различные возможности получения требуемых автоматных спецификаций, включая (частичное) восстановление автомата по фрагментам его поведения. В качестве прикладных задач рассматривается синтез тестов для реализаций телекоммуникационных протоколов, а также задача оценки качества электронного сервиса, в том числе, в точки зрения конечного пользователя. Приводятся результаты экспериментов для проверки корректности реализации протокола IRC, а также для предсказания удовлетворенности пользователя качеством обслуживания для мультимедиа и Over-the-Top сервисов. В заключение предлагается метод синтеза различающих экспериментов для программно-аппаратных реализаций без явного извлечения автоматной модели. В этом случае в качестве спецификации рассматривается Verilog/VHDL-описание, на основе которого синтезируется проверяющий тест.

Теоретические результаты работы доказываются строго, с привлечением аппарата математической логики, общей алгебры, комбинаторики, с использованием известных результатов из теории автоматов. Прикладная значимость полученных результатов подтверждается результатами компьютерных экспериментов.

Основными результатами работы можно считать следующие:

1) оценки сложности задач проверки существования безусловного различающего и установочного экспериментов для полностью определенных наблюдаемых недетерминированных автоматов;

2) методы синтеза адаптивного различающего и установочного экспериментов для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных автоматов;

3) достижимость экспоненциальной оценки высоты адаптивного различающего эксперимента относительно числа состояний полностью определенного наблюдаемого недетерминированного автомата;

4) классы недетерминированных автоматов, для которых задача проверки существования адаптивных установочных, различающих и синхронизирующих экспериментов имеет полиномиальную сложность, а соответствующие эксперименты имеют полиномиальную высоту;

5) метод синтеза кратного проверяющего эксперимента с гарантированной полнотой для полностью определенных ненаблюдаемых недетерминированных инициальных автоматов, классы моделей неисправности, для которых существует кратный проверяющий эксперимент с гарантированной полнотой полиномиальной длины относительно числа состояний эталонного автомата;

6) экспериментальное исследование практической применимости конечных автоматов и рассмотренных экспериментов с ними в задачах проверки функциональных и нефункциональных требований компонентов телекоммуникационных систем, в частности, метод синтеза кратных



проверяющих экспериментов для Verilog описаний, метод оценки качества веб/мультимедиа/электронных сервисов на основе анализа и обучения автоматов с одним состоянием, эффективно представленных подходящими логическими схемами.

Таким образом, в диссертационной работе Н.Г. Кушик рассматривается новое, активно развивающееся направление синтеза экспериментов для недетерминированных автоматов; при исследовании этого направления автором «закрывается» часть не решенных ранее фундаментальных проблем. Следует отметить, что предложенные методы решения задач синтеза умозрительных экспериментов для моделей конечных недетерминированных и, в том числе, ненаблюдаемых автоматов и полученные оценки сложности соответствующих задач можно классифицировать как научное достижение, расширяющее известную теорию автоматов. Вместе с тем, данная работа открывает перспективы для дальнейших научных исследований в области анализа и синтеза дискретных систем, поведение которых может быть недетерминированным автоматом.

Тем не менее, работа не свободна от опечаток и неточностей, что, безусловно, не упрощает ее понимание. Кроме того, следует отметить тот факт, что данная диссертация не полностью «закрывает» известную не решенную ранее серьезную математическую проблему, однако в ней получен блок новых результатов, которые, в целом, согласуются с известными результатами для детерминированных автоматов и дают возможность дальнейшего продвижения в области исследования «умозрительных» экспериментов с конечными автоматами.

Особый интерес представляет корреляция полученных результатов с известными в теории формальных языков, поскольку в диссертации такие результаты присутствуют только частично для регулярных языков, в то время как автор «затрагивает», например, расширенные автоматы, языки которых не являются регулярными. Известно, что в ряде случаев в задачах распознавания специальных языков оценки являются экспоненциальными, далее, за счет выделения специальных подклассов, эти оценки могут быть понижены до кубических и квадратичных. Вполне возможно, соотнесение данных результатов с результатами диссертации поможет автору существенно «продвинуться» при исследовании «умозрительных» экспериментов с различными моделями дискретных систем.

Приведенные замечания не снижают ценности работы, результаты которой достаточно полно отражены в 36 публикациях автора, в том числе, в ведущих мировых изданиях. Автореферат диссертации в полной мере соответствует работе и включает ее основные результаты.

Диссертация Н.Г. Кушик «Методы выделения подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных

экспериментов» соответствует требованиям ВАК на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации. Считаю, что автор работы, Н.Г. Кушик, достойна присвоения данной ученой степени.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теоретической информатики 26 октября 2016 г. (протокол №3), где было заслушано сообщение Кушик Н.Г. по теме её диссертационной работы «Методы выделения подклассов конечных автоматов с пониженными оценками сложности умозрительных экспериментов» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации) на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Доктор физ.-мат. наук, профессор Соколов Валерий Анатольевич,  
заведующий кафедрой теоретической информатики  
Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова,  
почтовый адрес: 150049, г. Ярославль, ул. Лисицына, д.30, кв.16,  
телефон +7 910 977 94 41, эл. почта: valery-sokolov@yandex.ru

