



**«Российский университет дружбы народов  
имени Патриса Лумумбы» (РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198  
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11  
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

13 сентября 2024  
№ 05-07/10016

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор -  
проректор по научной работе,  
доктор медицинских наук, профессор,  
член-корреспондент РАН



Костин Андрей Александрович

« 13 » сентября 2024 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Российский университет дружбы народов  
имени Патриса Лумумбы» (РУДН)**

на диссертацию Хан Рабиа на тему  
«Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального  
множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей»,  
представленную к защите в диссертационном совете Д 55.2.004.01 на базе  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**Актуальность темы исследования**

Основное направление развития сетей связи в настоящее время, на среднесрочную и долгосрочную перспективу связано с созданием сетей связи пятого и последующих поколений. Эффективность использования таких сетей

во многом зависит от применяемых при их построении новых системно-сетевых решений. В последних исследованиях в этой области повышенное внимание уделяется использованию неортогонального множественного доступа. Исходя из сказанного, тема представленной на отзыв диссертационной работы «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» является, несомненно, актуальной.

### **Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертационная работа содержит 191 страницу и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 105 наименований, списка сокращений, списка рисунков, списка таблиц и семи приложений.

В первой главе автор концентрирует внимание на анализе существующего положения дел в предметной области исследования. Рассматриваются основы цифровой и беспроводной системы связи, приведен обзор развития технологий беспроводной связи, досконально анализируются проблемы безопасности и конфиденциальности сетей связи пятого поколения 5G. В главе приведены общие характеристики системы неортогонального доступа NOMA (non-orthogonal multiple access), обосновывающие целесообразность исследования этой системы, а также краткое изложение всей диссертации.

Вторая глава посвящена детальному рассмотрению системы NOMA и начинается с описания базовой модели передачи и приема данных при использовании NOMA. Отдельное внимание уделяется энергетическим характеристикам для распределения мощности при передаче сигнала. Приводится подробный анализ развития NOMA на основе существующей научной литературы, а также математические уравнения, представляющие скорость передачи данных, энергоэффективность и т.д.

В третьей и четвертой главах автором разработаны алгоритм неортогонального множественного доступа на основе модуляции (M-NOMA, modulation based NOMA) и алгоритм для уменьшения помех. Алгоритм M-NOMA разработан с использованием различных подходов, таких как базовая оптимизация Лагранжа и генетический алгоритм машинного обучения. Второй алгоритм предназначен для IBFD (внутри полосной полнодуплексной связи, in band full duplex) и называется компонент-форвард (CF, component forward). Предлагаемые алгоритмы исследуются для современного Интернета вещей как приложения в Интеллектуальной транспортной системе (ITS). Их использование показывает значительное улучшение, в среднем в 2 раза, по

сравнению с традиционной системой ITS (intelligent transportation system) и могут быть полезными для сетей связи пятого и последующих поколений.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов** подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, обсуждением результатов диссертационной работы на международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах.

**Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации**

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в разработке и исследовании новых алгоритмов для системы связи NOMA сетей 5G с учетом проблемы помех и вычислительной сложности. Первый алгоритм предназначен для полудуплексной связи и называется M-NOMA. Второй алгоритм предназначен для внутри полосной полнодуплексной связи IBFD и называется компонент-форвард CF. Оба алгоритма ориентированы на разделение пользователей для предотвращения помех и сложности вычислений. Разделение создается во время модуляции сигнала, когда половина пользовательских сигналов модулируется синфазной составляющей, а оставшаяся половина – квадратурной составляющей модуляции QAM (quadrature amplitude modulation). Алгоритмы M-NOMA и CF обеспечивают значительное улучшение в уменьшении помех между сигналами и вычислительной сложности. Наряду с основными целями, оба алгоритма также повышают общую эффективность NOMA за счет улучшения безопасности, скорости передачи данных и задержки.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в создании методики планирования внедрения M-NOMA и CF в ITS. Методика планирования основана на выборе реальной среды, включая здания, стены, другие транспортные средства, другие существующие коммуникации, переменную скорость и расстояние между транспортным средством и источником.

Полученные в диссертационной работе результаты были использованы в Университете Стратклайда (Глазго, Шотландия) для научно-технической и методической поддержки внедрения промышленной системы Интернета вещей в энергетическом секторе. Результаты были использованы на курсах и вебинарах Технологического кампуса Шри-Ланки – «Система беспроводной связи» и «Цифровая коммуникация и дизайн». Результаты диссертационной работы были также использованы в учебном процессе отделения информационных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета в дисциплине «Сети и телекоммуникации» в рамках основной образовательной программы «Программирование вычислительных и телекоммуникационных систем».

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Основные результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию при проведении научно-исследовательских работ в области современных телекоммуникационных сетей и систем в отраслевом научно-исследовательском институте ФГБУ НИИР, при проектировании и планировании современных сетей связи ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», операторскими компаниями ПАО «Ростелеком», ПАО «Мегафон», ПАО «ВымпелКом», ПАО «МТС», а также при подготовке специалистов по современным сетям и системам связи в университетах НИУ ВШЭ, РУДН, СПб НИУ ИТМО, СПбПУ Петра Великого, ПГУПС Императора Александра I, СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, ПГУТИ, МТУСИ, СибГУТИ и др.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены под научным руководством автора при его непосредственном участии.

#### **Полнота опубликования и апробация результатов исследования**

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах, в том числе в 1 работе в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ; 7 работах в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 1 работе в других научных изданиях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международном форуме по стратегическим технологиям (IFOST), Томск, РФ, 2019 и на семинарах IEEE Globecom (GC Wkshps), Абу-Даби, ОАЭ, 2018. Диссертационные исследования выполнялись в сотрудничестве с Department of Information Security Engineering, Soonchunhyang University, Южная Корея, Department of Electronics and Communication Engineering, Visversvaraya National Institute of Technology, Индия, Department Ecole de Technologie Superieure, University du Quebec, Монреаль, Канада, Faculty of Information Technology, University of Jyaskyla, Финляндия, School of Computer Science, University College Dublin, Ирландия and Centre for Wireless Communications, University of Oulu, Финляндия, Department of Computer Science, Swansea University, Суонси, Великобритания и ICS, Home of 5GIC, University of Surrey, Великобритания.

#### **Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации ее содержанию**

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по главам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы.

#### **Недостатки диссертационной работы:**

1. Стр. 24. Предложение о том, что генетический алгоритм является подходящим методом для неограниченной оптимизации при использовании машинного обучения, не совсем точно.
2. Утверждение «NOMA является одним из инициаторов предстоящей технологии 6G для более эффективного использования радиочастотного спектра. Предшествующие поколения систем связи, включая 2G, 3G, 4G и 5G, обеспечивают доступ к радиочастотному спектру по схеме ортогонального множественного доступа (OMA)» (стр. 43) требует уточнения в отношении сетей связи 5G.
3. Стр. 54. Требуется пояснения следующий текст: «В этой диссертации мы используем методы модуляции 4-QPSK и 16-QPSK. Однако следует отметить, что M-NOMA применим для любой сложной схемы модуляции».
4. По тексту диссертации имеются опечатки, редакционные неточности, хотя в целом это не влияет на ее прочтение.

## **Заключение**

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Хан Рабиа. Диссертация «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи оптимизации скорости и качества связи за счет установления оптимального соотношения между ортогональной и неортогональной составляющей для повышения эффективности неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей, имеющая значение для отрасли цифрового развития и связи, а также специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на значимых научных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 1, 2, 3, 5, 8, 10, 11 и 14 специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты.

На основании изложенного считаем, что диссертация Хан Рабиа «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» соответствует критериям, которые установлены пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, в редакции от 18.03.2023), предъявляемым в отношении диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Хан Рабиа заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертация и автореферат заслушаны и обсуждены на заседании кафедры теории вероятностей и кибербезопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» 13.02.2024 (состав кафедры – 34, присутствовали – 27), протокол № 0200-54/01-04/05.

13.02.2024

Заведующий кафедрой теории вероятностей  
и кибербезопасности РУДН,  
доктор технических наук  
(специальность 05.13.17 – Теоретические  
основы информатики), профессор  
Самуйлов Константин Евгеньевич



Доцент кафедры теории вероятностей  
и кибербезопасности РУДН,  
кандидат физико-математических наук  
(специальность 05.13.17 – Теоретические  
основы информатики), доцент  
Кочеткова Ирина Андреевна



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский университет дружбы народов имени  
Патриса Лумумбы» (ФГАОУ ВО РУДН)  
Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6  
<http://www.rudn.ru/>  
+7 (495) 434-70-27  
[rector@rudn.ru](mailto:rector@rudn.ru)