

## ОТЗЫВ

### официального оппонента на диссертацию

Хан Рабиа «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

#### **Актуальность темы диссертации.**

В настоящее время происходит все более интенсивное внедрение новых технологий и услуг на сетях связи. Это связано как с требованиями по обеспечению функционирования сверхплотных сетей, так и с требованиями по обеспечению ультрамалых задержек при реализации услуг, например, тактильного интернета. Поэтому насущной необходимостью является исследование и разработка новых методов, методик, алгоритмов для повышения эффективности функционирования сети в целом и сетей доступа. Естественно, что тема диссертационной работы, направленная на разработку алгоритмов для повышения эффективности неортогонального множественного доступа NOMA, безусловно, актуальна.

#### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка рисунков, списка таблиц, списка использованных источников и семи приложений. Полный объем диссертации составляет 191 страницу. Список литературы содержит 105 источников.

Научная новизна диссертации Хан Рабиа определяется уже самой тематикой работы – разработкой алгоритмов для систем неортогонального множественного доступа.

Конкретные результаты, обладающие научной новизной, состоят в следующем:

– Разработан новый алгоритм неортогонального множественного доступа NOMA (M-NOMA), предназначенный для улучшения существующего алгоритма NOMA. При передаче сигналов NOMA возникает множество помех из-за отсутствия разделения между передаваемыми сигналами NOMA по частоте и времени. M-NOMA разделяет пользователей, уникально модулируя сигналы сообщений каждого пользователя. В M-NOMA источник модулирует половину пользователей квадратурным (Q) компонентом, а оставшуюся половину — синфазным (I) компонентом созвездия модуляции QAM. Такое разделение сигналов пользователей с помощью M-NOMA снижает помехи на 50%.

- Разработанный алгоритм M-NOMA снижает вычислительную сложность SIC на приемниках сигналов на 50% по сравнению с NOMA. Половина от общего количества сигналов пользователей разделяется модуляцией M-NOMA, поэтому SIC не применяется для сигналов половины пользователей, что снижает и вычислительную сложность на приемнике сигналов на 50% по сравнению с NOMA. Для дальнейшего снижения сложности вычислений пользователи с мощным сигналом отделены друг от друга. Это снижает вычислительную сложность еще на 25%. Таким образом, общее сокращение составляет 75%.

- Разработан новый алгоритм компонент-форвард (CF), предназначенный для полнодуплексной беспроводной системы связи. Этот алгоритм уменьшает помехи, вычислительную сложность и проблемы безопасности существующей системы связи IBFD (In-Band Full Duplex — Внутриполосный полный дуплекс). Алгоритм CF направлен на устранение помех в приемнике/ ретрансляторе сигнала, который принимает и передает сигналы в одно и то же время и с одинаковой частотой, и, следовательно, имеет большое количество помех между принятым и переданным сигналом при

использовании совместной связи DF (Decode-and-Forward — Декодирование и пересылка). С CF приемник/ретранслятор получает сигнал от источника в синфазной (I) составляющей и перенаправляет его в квадратурной (Q) составляющей созвездия QPSK. Таким образом, он предотвращает помехи между принимаемым и передающимся сигналами.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке и исследовании новых алгоритмов для NOMA 5G с учетом проблемы помех и вычислительной сложности. Разработаны два алгоритма. Первый алгоритм предназначен для HD (полудуплексной) связи и называется M-NOMA. Второй алгоритм предназначен для IBFD (внутриполосной полнодуплексной) связи и называется компонент-форвард. Оба алгоритма ориентированы на разделение пользователей для предотвращения помех и сложности вычислений.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования результатов диссертации для планирования внедрения M-NOMA и CF в ITS (Интеллектуальную транспортную систему). При этом планирование основывается 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 на курсах и вебинарах Технологического кампуса Шри-Ланки. Курсы назывались “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”.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов, сформулированных в диссертационной работе.**

Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и результатов диссертационной работы подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, а также обсуждением результатов диссертационной работы на конференциях и семинарах и публикацией основных результатов диссертации в ведущих российских и зарубежных журналах.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международном форуме по стратегическим технологиям (IFOST), Томск, Российская Федерация, 2019 и на семинарах IEEE Globecom (GC Wkshps), Абу-Даби, Объединенные Арабские Эмираты, 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 Technology 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.

Всего по теме диссертации опубликовано в 9 работ, в том числе 1 работа в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 7 работ в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 1 работа в других научных изданиях.

### **Замечания по диссертационной работе.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. На стр.24-25 обосновывается дальнейшее использование в работе для целей оптимизации генетических алгоритмов. При этом не стоило бы

останавливаться на преимуществах генетических алгоритмов при использовании в беспроводных сенсорных сетях алгоритма LEACH. Базовый алгоритм для кластеризации сенсорных сетей достаточно давно был существенно улучшен при использовании алгоритма TEEN за счет введения двух порогов и в настоящее время улучшение характеристик алгоритма LEACH за счет использования генетических алгоритмов выглядит устаревшим.

2. На стр.42 для связи автомобиль-автомобиль в рамках Интеллектуальной Транспортной Системы используется аббревиатура M2M, хотя должна использоваться V2V, поскольку это иной вид взаимодействия, чем M2M.
3. На рис.4.16 (стр.128) значения задержки сравниваются в диапазоне единиц секунд, что для предоставления современных услуг телекоммуникаций вряд ли представляет интерес.
4. В целом работа написана на понятном языке, хотя имеются в достаточно большом количестве стилистические неточности.

## **Выводы.**

Отмеченные недостатки не снижают ценности результатов диссертации для теории и практики. Диссертационная работа Хан Рабиа «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 11 и 14.


В диссертации решена научная задача оптимизации скорости и качества обслуживания за счет установления оптимального соотношения между ортогональной и неортогональной составляющей для повышения эффективности использования неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей, имеющая значение для отрасли цифрового развития и связи. Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9

«Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 в редакции от 25.01.2024. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» заслуживает положительной оценки, а ее автор – Хан Раба - присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Профессор МИЭМ НИУ ВШЭ

Доктор технических наук, доцент



Кучерявый Евгений Андреевич

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» защищена в 2018 году по специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Почтовый адрес: Покровский бульвар, д.11. Москва, 109028.

Тел.: +7 (495) 771-32-32. Сайт: [www.hse.ru](http://www.hse.ru) Email: [hse@hse.ru](mailto:hse@hse.ru)

*Подпись заверяю  
специалист по реп.  
Иванова АВ*

04.03.2024

