

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20 марта 2024 г. № 2

О присуждении Хан Рабиа, гражданке Исламской Республики Пакистан, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 15 декабря 2024 года, протокол № 18 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Хан Рабиа, 08.04.1987 года рождения, работает инженером в Power Networks Demonstration Centre University of Strathclyde (Университет Стратклайда, Глазго, Великобритания). В 2013 году соискатель окончила Университет Бахрия в Исламабаде, Исламская Республика Пакистан с присвоением степени магистра наук по телекоммуникационным средствам и компьютерным сетям. В 2021 году окончила освоение программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диссертация выполнена на отделении информационных технологий инженерной школы информационных технологий и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Ph.D. Джаякоди Арачиладж Душанта Налин Кумара, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», инженерная школа информационных технологий и робототехники, профессор.

Оппоненты: 1. Кучерявый Евгений Андреевич, доктор технических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, профессор; 2. Покаместов Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Самуйловым Константином Евгеньевичем, д-ром техн. наук, проф., заведующим кафедрой теории вероятностей и кибербезопасности и Кочетковой Ириной Андреевной, канд. физ.-мат. наук, доц., доцентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности, утвержденном Коситным Андреем Александровичем, д-ром мед. наук, проф., член-корр. РАН, первым проректором – проректором по научной работе, указала, что диссертация 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 для специальности 2.2.15. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на значимых научных конференциях. Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает её содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 1, 2, 3, 5, 8, 10 и 14 специальности 2.2.15. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и её 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, предъявляемых в отношении диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15, а её автор, Хан Рабиа, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройств телекоммуникаций.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 1, а также 5 работ в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования, приравненные к изданиям, определяемым в соответствии с рекомендацией ВАК; 2 статьи в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Khan, R. Hybrid-NOMA for Wireless Communication System (Hybrid-NOMA для беспроводной системы связи) // Труды учебных заведений связи. 2023. Том 9, № 3. С. 104-111. DOI: 10.31854/1813-324X-2023-9-3-104-111.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

2. Khan R., Jayakody D.N.K., “Full Duplex Component-Forward Cooperative Communication for a Secure Wireless Communication System,” MDPI Electronics, Dec 2020, <https://doi.org/10.3390/electronics9122102> (WoS/Scopus, Q3, IF:2.397).

3. Khan R., Jayakody D. N. K., “An Ultra-Reliable and Low Latency Communications Assisted Modulation Based Non-Orthogonal Multiple Access Scheme”, Physical Communication March 2020, <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101035> (WoS/Scopus, Q3, IF:1.81).

4. Khan R., Kumar P., Jayakody D. N. K. and Liyanage M., "A Survey on Security and Privacy of 5G Technologies: Potential Solutions, Recent Advancements, and Future Directions," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 1, pp. 196-248, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2933899 (WoS/Scopus, Q1, IF:37.551).

5. Rajaram A., Khan R., Tharranetharan S., Jayakody D. N. K., Dinis R., & Panic S., Novel SWIPT Schemes for 5G Wireless Networks. Sensors, 19(5), 1169, 2019, <https://doi.org/10.3390/s19051169> (WoS/Scopus, Q2, IF: 4.35).

6. Khan R., Jayakody D. N. K., and Chen B., “Non-Orthogonal Multiple Access: Basic Interference management Technique,” International Journal of Engineering & Technology, March 2018, <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.28.13212> (Scopus Indexed journal).

Публикации в других изданиях:

7. Khan R., Jayakody D. N. K., “Modulation Based Non-Orthogonal Multiple Access for the Optimization of SWIPT and Energy Efficiency with Machine Learning,” International Forum on Strategic Technology (IFOST), Tomsk, Russian Federation, 2019, pp. 1-6 (Scopus).

8. Khan R., Jayakody D. N. K., Pervaiz H. and Tafazolli R., “Modulation Based Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Resilient Networks,” IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1-6 (Scopus).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Кучерявого Е.А.; официального оппонента Покаместова Д.А.; ведущей организации РУДН; Колбанева М.О., д.т.н., проф., профессора кафедры информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного экономического университета; Комарова М.М., к.т.н., профессора департамента бизнес-информатики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»; Васильева А.Б., к.т.н., заместителя генерального директора ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»; Степанова М.С., к.т.н., доц., доцента кафедры сетей связи и систем коммутации Московского технического университета связи и информатики; Вишневого В.М., д.т.н., проф., заведующего лабораторией № 69 «Телекоммуникационные системы» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; Самойлова А.Г., д.т.н., проф., профессора кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

Все отзывы положительные, но имеются критические замечания. Стр. 24. Предложение о том, что генетический алгоритм является подходящим методом для неограниченной оптимизации при использовании машинного обучения, не совсем точно. 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. 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 сложности схемы модуляции». При пояснении математических выражений (5), (6), (7) указано, что вычислительная сложность для M-NOMA ниже, чем для NOMA, однако, сравнительный расчет вычислительной сложности не приведен. На рисунке 7 представлен график, показывающий зависимость пропускной способности для четырех пользователей в плоском замирающем канале для (алгоритмов) NOMA и M-NOMA. При этом в тексте перед рисунком указано, что: «... пропускная способность уменьшается с

увеличением числа переданных битов данных...». Данное утверждение не совсем понятно. Коэффициенты в выражениях (5)-(7) и (10)-(14) не расшифрованы, но именно они определяют численный результат вычислений. В автореферате нет четкой формулировки выбранного критерия эффективности. Отсутствует количественная оценка вычислительной сложности реализации представленных алгоритмов в режиме реального времени. Из автореферата осталось не до конца понятным, насколько целесообразно в принципе применять неортогональный множественный доступ в сценариях борьбы с авариями, показанными на рис. 1. На странице 19 автореферата автор указывает, что использует генетический алгоритм «... Для моделирования мы использовали MLGA с четырьмя пользователями в ячейке», но не очень понятно, каким образом он используется.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными учеными в области сетей и систем связи, в том числе в областях, связанных с профилем диссертационной работы, а ведущая организация – несомненным лидером по сетям системам связи пятого и шестого поколений, а также значительным числом публикаций в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертационного исследования. Официальные оппоненты также известны своими публикациями в области диссертационной работы. Кучерявый Е.А., д.т.н., доцент, профессор Департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» является известным специалистом, занимающимся исследованиями по сетям связи пятого и шестого поколения, одним из наиболее цитируемых российских ученых в этой предметной области как в Российской Федерации, так и за рубежом. Покаместов Д.А., к.т.н., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, имеет работы по множественному доступу, в том числе по ортогональному, опубликованные, в основном, в последние годы в ведущих научных журналах и выступления на значимых конференциях. Ведущая организация – Российский университет дружбы народов за последние годы зарекомендовала себя крупными достижениями в области сетей и систем связи

пятого и последующих поколений. Отзыв сформирован на кафедре теории вероятностей и кибербезопасности, и подписан заведующим кафедрой – известным специалистом в области сетей связи, д.т.н., профессором К.Е. Самуйловым и к.т.н., доцентом кафедры И.А. Кочетковой, которые имеют значительное число публикаций в рецензируемых научных по тематике диссертационной работы в области сетей и систем пятого и шестого поколений сетей связи.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны** новые алгоритмы для системы связи NOMA 5G с учетом проблемы помех и вычислительной сложности; **предложена** оригинальная научная идея по увеличению скорости и улучшению качества связи за счет установления оптимального соотношения между ортогональной и неортогональной составляющих; **доказано**, что новый алгоритм M-NOMA снижает вычислительную сложность (SIC) на приемниках сигналов на 50% по сравнению с существующим алгоритмом NOMA. Половина от общего количества сигналов пользователей разделяется модуляцией M-NOMA, поэтому SIC не применяется для сигналов половины пользователей, что снижает 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 на 25%. Таким образом, общее сокращение составляет 75%; **введены** новые понятия в области алгоритмов для неортогонального доступа, а именно: алгоритмы M-NOMA и алгоритм компонент-форвард (CF).

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано**, что совместное использование алгоритмов M-NOMA и CF обеспечивает значительное уменьшение помех между сигналами и вычислительной сложности; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** системный анализ, теория оптимизации, методы искусственного интеллекта, линейная алгебра, дифференцирование, интегрирование, множество функций распределения; **изложены** идеи совместного использования ортогонального и неортогонального множественного доступа;

**раскрыты** существенные особенности проявления ортогонального и неортогонального множественного доступа; **изучены** характеристики неортогонального множественного доступа с учетом особенностей сетей связи пятого и последующих поколений; **проведена модернизация** существующего алгоритма неортогонального множественного доступа NOMA.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** алгоритмы неортогонального множественного доступа на уровне методик планирования интеллектуальных транспортных систем (ITS), а также в учебных программах Национального исследовательского Томского политехнического университета и Технологического Кампуса Шри-Ланки; **определены** пределы использования предложенных алгоритмов неортогонального множественного доступа для снижения помех и вычислительной сложности; **создана** модель эффективного применения алгоритмов неортогонального множественного доступа в сетях ИМТ-2020 и ITS; **представлены** методические рекомендации по использованию предложенных алгоритмов на сетях связи.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ** результаты получены на широко применяемых системах имитационного моделирования; **теория** построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т.ч. для предельных случаев, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации; **идея базируется** на совместном использовании ортогонального и неортогонального множественного доступа; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в том,** что она непосредственно участвовала в получении и анализе первичных данных, необходимых для исследования, выполняла анализ и обобщение полученных в работе



теоретических и экспериментальных данных, исследовала приведенные в работе алгоритмы и методы, представляла результаты своих исследований для обсуждения на международных конференциях, осуществляла подготовку основных результатов исследования к публикации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: Какова вычислительная сложность реализации предложенных Вами алгоритмов в реальном времени? Какие результаты Ваших исследований применительно к проблемам безопасности?

Соискатель Хан Рабиа в ходе заседания ответила на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию, что вычислительная сложность предложенных алгоритмов действительно достаточно велика, но в рамках работ по внедрению этих алгоритмов в ITS начата реализация этих алгоритмов на ПЛИС. По проблемам безопасности при использовании алгоритма компонент-форварда можно получить улучшение характеристик безопасности более 30%.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Разработка алгоритмов для повышения эффективности Неортогонального множественного доступа (NOMA) для беспроводных сетей» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 1, 2, 3, 5, 8, 10, 11 и 14 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 20 марта 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Хан Рабиа ученую степень кандидата технических наук за 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 для специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой

диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Владыко Андрей Геннадьевич

22 марта 2024 года