

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 29 ноября 2023 г. № 16

О присуждении Марочкиной Анастасии Вячеславовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. принята к защите 17 сентября 2023 года, протокол № 13 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 Марочкина Анастасия Вячеславовна, 23 апреля 1996 года рождения, работает ассистентом в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

В 2019 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» с присвоением квалификации магистра по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». В 2023 году окончила

освоение программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

Диссертация выполнена на кафедре сетей связи и передачи данных Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Парамонов Александр Иванович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра сетей связи и передачи данных, профессор кафедры.

Оппоненты: 1. Никульский Игорь Евгеньевич, доктор технических наук, с.н.с., основное место работы: Публичное акционерное общество «Центральное научно-производственное объединение «Ленинец», отдел 133, Главный специалист, заместитель Главного конструктора; 2. Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», кафедра сетей связи и системы коммутации, 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, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой и Кочетковой Ириной Андреевной, кандидатом физико-математических наук, доцентом, доцентом кафедры теории вероятностей и кибербезопасности, утвержденном Костиным Андреем Александровичем, доктором медицинских наук, профессором, членом-

корреспондентом Российской академии наук, первым проректором – проректором по научной работе, указала, что 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 4, 12 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 Марочкиной Анастасии Вячеславовны «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности» 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, а ее автор Марочкина Анастасия Вячеславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 4, в том числе 4 в изданиях, соответствующих искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 6 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций; 1 отчет о НИР. Из них 2 работы опубликованы соискателем без соавторства. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 0,81 печ.л. из общего количества 6,53 печ.л. 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. Марочкина, А.В. Моделирование и кластеризация трехмерной сети интернета вещей с применением метода оценки фрактальной размерности // Электросвязь. 2023. № 6. С. 60-66.

2. Марочкина, А.В. Выбор головных узлов кластеров в трехмерных сетях Интернета вещей высокой плотности // Электросвязь. 2023. № 7. С. 36-42.

3. Марочкина, А.В. Метод маршрутизации трафика в трехмерной сети Интернета вещей высокой плотности с применением серого реляционного анализа / Марочкина А.В., Парамонов А.И. // Труды учебных заведений связи. 2023. № 4. С.75-85.

4. Марочкина, А.В. Модельная сеть для исследований и обучения в области услуг телеприсутствия / Кучерявый А.Е., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И., Мутханна А.С., Матюхин А.Ю., Дунайцев Р.А., Владимиров С.С., Ворожейкина О.И., Захаров М.В., Фам В.Д., Марочкина А.В., Горбачева Л.С., Паньков Б.О., Анваржонов Б.Н. // Электросвязь. 2022. № 1. С. 14-20.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

5. Marochkina A., Ultra-Dense Internet of Things Model Network / Marochkina A., Paramonov A., Tatarnikova T.M. // Communications in Computer and Information Science. 2022. Vol. 1552. P. 111-122.

6. Marochkina A., Analysis of the using of D2D Communications for the ad hoc Network Based on Subscriber Terminals / Paramonov A., Tatarnikova T., Marochkina A. // Communications in Computer and Information Science. 2020. Vol. 1337. P. 247-258.

Публикации в других изданиях:

7. Марочкина А.В. Трехмерные многослойные гетерогенные сверхплотные сети / Кучерявый А.Е., Парамонов А.И., Маколкина М.А., Мутханна А.С.А., Выборнова А.И., Дунайцев Р.А., Захаров М.В., Горбачева Л.С., Чан З.Т., Марочкина А.В. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Т. 10. № 3. С. 1-12.

8. Марочкина А.В. Комплекс средств натурального моделирования сети интернета вещей высокой плотности / Марочкина А.В., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Т. 9. № 2. С. 40-54.

9. Марочкина А.В. Разработка системы обработки естественной речи на основе нейрокогнитивных архитектур для реализации сервисов инфокоммуникационных услуг / Есалов К.Э., Марочкина А.В., Попонин А.С. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X юбилейная международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 375-379.

10. Марочкина А.В. Оптимизация мобильного трафика методами машинного обучения / Алексеева Д.Д., Марочкина А.В., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Т. 9. № 1. С. 1-12.

11. Марочкина А.В., Исследование трафика и функционирования самоорганизующихся сетей связи. / Марочкина А.В., Парамонов А.И. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2019. С. 681-686.

12. Марочкина А.В. Исследование функционирования сети интернета вещей с движущимися узлами / Марочкина А.В., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 3. С. 31-36.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Никульского И.Е.; официального оппонента Степанова М.С.; ведущей организации ФГАОУ ВО РУДН; Ковтуненко А.С., к.т.н., доцента кафедры информатики, заместителя директора по науке института информатики, математики и робототехники Уфимского университета науки и технологий; Бурановой М.А., д.т.н., доц., профессора кафедры информационной безопасности поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики; Тонких Е.В., к.т.н., заместителя начальника отдела ФГБУ НИИР; Ионенкова Ю.С., к.т.н., старшего научного сотрудника федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; Вишневого В.М., д.т.н., проф., заведующего лабораторией № 69

«Управление сетевыми системами» Института проблем управления Российской академии наук.

Все отзывы положительные, но есть критические замечания. При разработке метода кластеризации во второй главе работы, автор производит сравнение разработанного метода с рядом известных алгоритмов кластеризации по доле ошибок кластеризации и по требованиям к исходным данным, однако автор не приводит численных сравнений по их вычислительной сложности, что ограничивает представление о возможностях разработанного метода. При разработке метода выбора головных узлов кластера с использованием алгоритмов поиска  $k$ -кратного центра графа автор оценивает величину ошибки решения. Однако, автор не приводит требований к точности получения исходных данных. Величину ошибки исходных данных следовало бы учесть в целевой функции (стр. 99), что может существенно повлиять на выбор алгоритма решения задачи. Предложенный автором метод выбора маршрута с использованием Серого реляционного анализа (глава 4), как указывает автор, не требователен к объему исходных данных. Однако, автор не поясняет, какой объем исходных данных нужно собрать для его применения и сколько времени для этого требуется. Без таких пояснений невозможно оценить его достоинства в этой части. Автор работы уделила повышенное внимание решению задачи оптимизации маршрутов передачи трафика в трехмерных сетях Интернета Вещей (ИВ) по критерию максимального качества обслуживания передаваемого трафика, но при этом в работе не указано какие модели входных потоков и обслуживания использовала автор при оценках показателей качества обслуживания (задержка пакетов, коэффициент потерь пакетов). В целевой функции (3.18) на стр. 99 рукописи не учитывается стоимость и многовариантность систем технического обслуживания сети ИВ, что может приводить к несколько заниженным оценкам искомой стоимости решений. При анализе распространенных алгоритмов кластеризации, страницы 44-48, автор использует ставший де-факто, стандартным набор тестов, применяемый в таких случаях. В контексте решаемых в работе задач, представляли бы интерес примеры, характерные для трехмерных сетей высокой плотности или пояснения к приведенным примерам в части их применимости в

таких задачах. При разработке метода выбора головных узлов (в третьей главе диссертации) автор приводит анализ известных алгоритмов поиска  $k$ -кратного центра графа. Однако эти алгоритмы, объединяет то, что они требуют вычисления длин всех кратчайших путей, а решение этой задачи может потребовать значительного времени. Автор не поясняет как именно решается эта задача. В четвертой главе диссертации автор разрабатывает метод многокритериального выбора маршрута в сети ИВ высокой плотности. Автор пишет о возможности его использования с различными алгоритмами поиска кратчайшего пути, приводя ряд примеров, но не определяет конкретных требований к ним. Следовало бы более четко определить эти требования для понимания применимости того или иного алгоритма. При описании метода кластеризации следовало привести аналитические выражения и указать все переменные. Из контекста смысл переменных, конечно, понятен, но отсутствие пояснений несколько затрудняет восприятие. Автор не поясняет на основании каких соображений для тестирования алгоритмов, стр. 14 автореферата, была выбрана библиотека TSPLib. На стр. 11 автореферата автор пишет, что «...под ошибкой понималось отнесение узлов одной группы к разным кластерам...» Из автореферата осталось не до конца ясным, насколько данный критерий обоснован для беспроводных сетей, в которых связность далеко не всегда определяется непосредственным расстоянием или иными метриками, полученными на основе уровня мощности принимаемого сигнала. На стр. 16 сказано, что «применение предложенного выше метода выбора размещения головного узла (ГУ), даст возможность повысить минимальную скорость передачи данных в сети (для самого протяженного маршрута) на величину до 38%, в условиях приведенного выше примера и использования стандарта IEEE 802.11n, по сравнению с произвольным размещением ГУ». Чем обусловлен выбор IEEE 802.11n и что изменится при использовании других поколений технологии Wi-Fi? На стр. 14 в тексте автором упоминается следующее: «...наряду с упомянутыми данными было проведено тестирование на данных, полученных с помощью имитационного моделирования сети трехмерными точечными процессами...». Однако далее по тексту не указано, какая система имитационного моделирования для этого использовалась. На

странице 20 при описании предложенного метода многокритериальный маршрутизации трафика в сети Интернета вещей с применением серого реляционного анализа упоминается, что: «...эффективность предложенного метода тем выше, чем шире набор значений используемых параметров в конкретной сети (расширяется выбор) ...» Однако далее по тексту не указано, как сильно возрастает сложность вычислений и насколько хорошо работает метод при большом числе учитываемых параметров. При сравнении алгоритмов кластеризации трехмерной сети связи в автореферате не оценена состоятельность случайного выбора количества кластеров и их размеров. В автореферате не раскрыто понятие критерия «условная стоимость принятия решения» (стр. 11), использованного при оценке предложенного автором метода выбора головных узлов кластера для трехмерной сети передачи данных высокой плотности.

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 системам связи, а также значительным числом публикаций в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертационного исследования. Официальные оппоненты также известны своими публикациями в области диссертационной работы. Никульский И.Е., д.т.н., профессор активно занимается исследованиями по тематике организации сетей связи, а также вопросами обеспечения надежности в системах передачи данных, чему посвящены его публикации в ведущих научных журналах, является авторитетным ученым, в связи с чем достаточно часто приглашается оппонентом по новым направлениям исследований в области специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. К.т.н., доцент М.С. Степанов работает в Московском техническом университете связи и информатики, хорошо известен своими трудами в области теории телетрафика и теории массового обслуживания применительно к современным сетям и системам связи. 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, заведующим которой является известный специалист в области сетей связи д.т.н. профессор К.Е. Самуйлов, подписан им и доцентом кафедры, к.ф.-м.н., доцентом И.А. Кочетковой.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны** модель и метод кластеризации сети интернета вещей высокой плотности, размещенной в трехмерном пространстве с применением теории фракталов, имеющий большую эффективность, по сравнению с известными методами, что выражается в меньшей, минимум на 18% вероятности ошибок кластеризации; метод выбора головных узлов кластера, обеспечивающий большую эффективность путем оптимального многокритериального выбора алгоритма поиска k-кратного центра графа, что дает выигрыш в условной стоимости принятия решения от 8 до 53% по сравнению со случайным выбором алгоритма; многокритериальный метод маршрутизации трафика в сети интернета вещей высокой плотности, размещенной в трехмерном пространстве, с использованием Серого реляционного анализа, обеспечивающий большую эффективность, по сравнению с однокритериальными методами. При этом эффективность разработанного метода составляет до 53%, в зависимости от состояния сети; **предложены** модели трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности в виде трехмерных точечных процессов; **доказана** эффективность применения алгоритмов приближенного решения задачи поиска k-кратного центра графа; **введены** трехмерные модели точечных процессов для решения задач построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказана** эффективность применения теории фракталов в методе кластеризации сети интернета вещей высокой плотности; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы теории фракталов, методы оптимизации, теории телетрафика, метод серого реляционного анализа; **изложены** результаты разработки модельно-методического аппарата для трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности, а именно: метод кластеризации с использованием теории фракталов, метод выбора k-кратного центра графа, метод выбора маршрута с использованием серого реляционного

анализа; **раскрыты** особенности построения структуры трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности; **изучены** особенности сетей интернета вещей высокой плотности, при размещении их в трехмерном пространстве, основы теории серых систем, метода серого реляционного анализа; **проведена модернизация** алгоритмов приближенного вычисления  $k$ -кратного центра графа, алгоритмов и/или численных методов, обеспечивающих эффективное решение задачи для трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** модели и методы построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности в ПАО "ГИПРОСВЯЗЬ" при разработке «Методики планирования трехмерных сетей Интернета вещей высокой плотности», в ФГБУ НИИР при разработке вклада в Сектор стандартизации МСЭ-Т, а также при чтении лекций и проведении лабораторных занятий по курсу «Математические модели в сетях связи», «Математическое моделирование устройств и систем», «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» в СПбГУТ; **определены** перспективы развития сетей интернета вещей высокой плотности; **создана** имитационная модель трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности, позволяющая оценить эффективность предлагаемых методов; **представлены** аналитические модели описания трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности точечными процессами.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ** полученные результаты аналитического и имитационного моделирования подтверждают эффективность применения разработанных моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности; **теория** построена на известных принципах анализа беспроводных сетей связи и решении задач кластеризации и выбора путей в сети связи с учетом особенностей трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности, а также на известных методах получения приближенных решений задачи поиска  $k$ -кратного центра графа; **идея базируется** на применении методов теории графов в решении задачи кластеризации, на применении метода

оптимизации для выбора алгоритма приближенного решения задачи поиска  $g$ -кратного центра графа и использовании серого реляционного анализа при решении задачи выбора пути в сети интернета вещей высокой плотности связи; **установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по тематике сетей интернета вещей; **использованы** современная научная база и апробированные общенаучные методы исследования.

Личный вклад соискателя состоит в разработке метода кластеризации сети интернета вещей высокой плотности, размещенной в трехмерном пространстве с применением теории фракталов, который имеет большую эффективность, по сравнению с известными методами, что выражается в меньшей, минимум на 18% вероятности ошибок кластеризации; в разработке метода выбора головных узлов кластера, который обеспечивает большую эффективность путем оптимального многокритериального выбора алгоритма поиска  $k$ -кратного центра графа, что дает выигрыш в условной стоимости принятия решения от 8 до 53% по сравнению со случайным выбором алгоритма; в разработке многокритериального метода маршрутизации трафика в сети интернета вещей высокой плотности, размещенной в трехмерном пространстве, с использованием серого реляционного анализа, который обеспечивает большую эффективность, по сравнению с однокритериальными методами.

В ходе защиты диссертации было высказано следующее критическое замечание: в методе выбора головных узлов следует определить способ выбора значений условной стоимости в выражении целевой функции.

Соискатель Марочкина А. В. в ходе заседания ответила на задаваемые ей вопросы, а также согласилась с замечаниями.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 4, 12 и 14 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 29 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Марочкиной Анастасии Вячеславовне ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по разработке моделей и методов для трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Владыко Андрей Геннадьевич

01 декабря 2023 года