

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 27 ноября 2024 г. № 13

О присуждении Кузнецову Константину Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование и разработка методов предоставления услуг телеприсутствия в сетях связи шестого поколения» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 25 сентября 2024 года, протокол № 10 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 Кузнецов Константин Алексеевич, 12.08.1998 года рождения, работает главным специалистом в Фонде поддержки социальных инициатив Газпрома; по совместительству – инженер лаборатории исследования сетевых технологий с ультрамалой задержкой и плотностью на основе широкого применения искусственного интеллекта для сетей 6G 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.

В 2022 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский

государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» с присвоением квалификации магистр. С 2022 по 2024 является аспирантом 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, Мутханна Аммар Салех Али, 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. Карташевский Игорь Вячеславович, доктор технических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», научно-исследовательская лаборатория «Инновационные проекты», заведующий лабораторией; 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 систем коммутации, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Маркеловым Олегом Александровичем, к.т.н, и.о. заведующего кафедрой радиотехнических систем, утвержденном Семеновым Александром

Анатольевичем, д.т.н., доц., проректором по научной и инновационной деятельности, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты широко апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях. Основные научные результаты достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. На основании изложенного сделан вывод о том, что диссертация Константина Алексеевича Кузнецова соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Константин Алексеевич Кузнецов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 2, в том числе 2 в изданиях, соответствующих искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 7 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 1 работа опубликована соискателем без соавторства. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 2,4 печ.л. из общего количества 5,9 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. Кузнецов К.А. Методы размещения маршрутизаторов сети на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) и обеспечения маршрутизации с помощью роя БПЛА / Кузнецов К.А., Парамонов А.И., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е. // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 4. С. 24-34.

2. Кузнецов К.А. Интеллектуальное ядро сети для интегрированной сети 6G на основе технологии SDN для поддержки приложений телеприсутствия // Электросвязь. 2024. № 8. С. 26-31.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

3. Kuznetsov K. Revolutionizing H2M interaction: telepresence system enabling sign language expansion for individuals with disabilities / Kuznetsov K., Muthanna A., Ateya A. A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Cham: Springer Nature Switzerland. 2023. Vol. 14123. pp. 21-33.

4. Kuznetsov K. Service migration algorithm for distributed edge computing in 5G/6G networks / Kuznetsov K., Kuzmina E., Lapteva T., Volkov A., Muthanna A., Aziz A. // International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking. Lecture Notes in Computer Science (LNCS). Cham: Springer Nature Switzerland. 2023, Vol 14542. pp. 320-337.

Публикации в других изданиях:

5. Кузнецов К.А. Тактильный интернет и его приложения / Кузнецов К.А., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 2. С. 12-20.

6. Кузнецов К.А. Комплекс средств натурального моделирования услуг иммерсивных технологий для людей с ограниченными возможностями / Кузнецов К.А., Леонова М.Д., Мутханна А.С.А. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Т. 10. № 4. С. 13-26.

7. Кузнецов К.А. Тактильный интернет в сфере промышленности / Кузнецов К.А., Мутханна А.С.А. // IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании»: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 1. С. 667-672.

8. Kuznetsov K. Tactile Internet applications for distance learning foreign languages: pros and cons / Kuznetsov K., Zheltova E.P. // Вестник гуманитарного факультета СПбГУТ. 2020. №12 С. 361-366.

9. Кузнецов К.А. Методы реализации иммерсивных технологий в сетях связи пятого поколения / Кузнецов К.А., Мутханна А.С.А. // XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы

инфотелекоммуникаций в науке и образовании»: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 627-631.

10. Кузнецов К.А. Метавселенные и методы их реализации в сетях связи 2030 / Кузнецов К.А., Кучерявый А.Е., Мутханна А.С.А. // 79-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сборник докладов / СПбГЭТУ «ЛЭТИ».2024. С. 200-201.

11. Кузнецов К.А. Анализ технологии для совместной работы приложений и сервисов метавселенных / Кузнецов К.А., Мутханна А.С.А., Кузнецов К.А. // 79-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио: сборник докладов / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. С. 216-219.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Карташевского И.В.; официального оппонента Степанова М.С.; ведущей организации СПбГЭТУ «ЛЭТИ»; Васильева А.Б., к.т.н., заместителя генерального директора ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»; Вишневого В.М., д.т.н., проф., заведующего лабораторией «Телекоммуникационные системы» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; Ковтуненко А.С., к.т.н, доц., доцент кафедры информатики Уфимского университета науки и технологий; Колбанева М.О., д.т.н., проф., профессора кафедры информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного экономического университета; Никульского И.Е., д.т.н., с.н.с., главного специалиста, заместителя главного конструктора ПАО «ЦНПО «Ленинец»; Самойлова А.Г., д.т.н., проф., профессора кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; Самуйлова К.Е., д.т.н., проф., заведующего кафедрой теории вероятностей и кибербезопасности Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы; Гольдштейна А.Б., д.т.н., генерального директора ООО «НТЦ АРГУС».

Все отзывы положительные. Имеются критические замечания. Для графиков, представленных на страницах 110-113 (рис. 5.12-5.14) не описана функция распределения. В разделе 5.2 нет описания взаимодействия NR архитектуры с робоперчаткой. Не приведено описание алгоритма, приведенного

на рис. 5.8, и неясно, что из приведенных элементов на рисунке является робо-перчаткой и актуатором. В каком звене должен располагаться брокер MQTT, описанный в этом же разделе? В работе автор подробно рассматривает архитектуру и особенности интегрированной сети космос-воздух-земля SAGIN (Space-Air-Ground Integrated Network) как основу для сетей пятого (5G) и шестого (6G) поколений. При этом в настоящий момент существует и активно используется понятие интегрированной сети космос-воздух-земля-море SAGSIN (Space-Air-Ground-Sea Integrated Network), которое является более обширным и учитывает возможности взаимодействия с объектами, находящимися на воде и под водой, а также передачу данных по проводным линиям связи и т.д. Тем не менее в работе сеть SAGSIN никак не упоминается и не рассматривается. На стр. 18-19 автор описывает преимущества терагерцового диапазона для сетей 6G-SAGIN, ссылаясь на ряд научных экспериментов, проведенных университетом Аалто и Нью-Йоркским университетом. При этом ссылки на источники отсутствуют. В подразделе 1.3 «Правовые аспекты применения метавселенных» не приведено ни одной ссылки на источники. В главе 2 развернутые контроллеры SDN моделируются при помощи системы массового обслуживания (СМО) M/M/S. Обоснование выбора именно такой СМО в диссертации отсутствует. При разработке алгоритма для автоматизации миграции сервисов предлагается осуществлять горизонтальное масштабирование количества нод на узле. Однако оценка временных затрат на эту операцию, способную существенно повлиять на скорость обработки поступающих запросов, не приводится. В главе 5 недостаточно последовательно и четко прописаны цель и задачи эксперимента. Так в начале главы указывается, что «... целью эксперимента является создание веб-приложения с микросервисной архитектурой, позволяющего управлять рукой робота и считывать показания «перчатки» в режиме реального времени для воспроизведения и считывания позиций руки соответствующей букве из алфавита языка жестов...». Далее по тексту «рука робота» более не упоминается, на рисунках и схемах «рука робота» не представлена. Однако, на рисунке 5.6 с наименованием «Processing. 3D-визуализация» представлена визуализация модели руки, очевидно воспроизводящая движение руки оператора в робо-перчатке. Также возникают некоторые сомнения в том, что целью эксперимента может быть

создание веб-приложения. Автору следует внимательнее формулировать цель и задачи эксперимента. При описании метода размещения контроллеров и решении задач оптимизации следовало привести целевую функцию. Следует уточнить, какие исходные параметры использовались в моделях при оценке эффективности методов. Необходимо обосновать выбор алгоритма FOREL в качестве основы для модификации, сравнив его с такими альтернативами, как DBSCAN, OPTICS, Agglomerative clustering, Divisive clustering. Из автореферата неясно, учтены ли такие параметры, как задержка распространения сигнала, джиттер и другие факторы, влияющие на качество передачи данных. На странице 10 описана задача оптимизации, в которой целевая функция записана в общем виде. Автор не поясняет какой вид имеет эта функция, что позволило бы судить о том, какие методы оптимизации к ней применимы. В автореферате встречаются термины «утилизация» и «загрузка», судя по контексту они имеют одинаковое значение, следовало бы придерживаться единой терминологии. На рис. 3 на графиках оценки результатов исследований по оси абсцисс представлены номера топологий, но соответствие этих номеров реальным или модельным топологиям не приведено. При рассмотрении сетей с применением роя БПЛА в автореферате не упоминается время жизни БПЛА с маршрутизатором, ограниченное дефицитом энергопитания и радиоэлектронным противодействием, что влияет на надежность сети. На стр. 8 упоминается интегрированная сеть связи SAGIN, однако, судя по рис. 1, речь идет об интегрированной сети космос-воздух-земля и море(!), т.е. SAGSIN (Space-Air-Ground-Sea Integrated Network). Неясно, что из себя представляют десять вариантов моделирования на рис. 3. В первом положении, а также при описании рис. 3 и 4 говорится о методе оптимизации числа контроллеров в мультиконтроллерных сетях SDN, который позволяет снизить среднее число контроллеров на 46% за счет динамического управления, что уменьшает энергопотребление и затраты на развертывание, а также повышает надежность сети. Из автореферата остается непонятным, относительно чего производится сравнение и что понимается под традиционным методом. Приведенные в главе 3 результаты моделирования кластеризации и выбора структуры сети на рис. 6 и 7 воспроизводят сценарий на плоскости. Однако глава 3 посвящена построению сетей беспроводного доступа с применением БПЛА, в

частности выбору позиции размещения маршрутизаторов в рое БПЛА и логической структуре сети. Из автореферата остается непонятным, насколько модели на плоскости воспроизводят трехмерные сценарии функционирования сетей с применением БПЛА. На рис. 10–12 на стр.19 автореферата приводятся графики распределений задержек для различных вариантов схем взаимодействия в исследуемой сети, однако не ясно, какие именно характеристики распределений (функция распределения, плотность распределения и др.) приводятся на данных рисунках.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью среди научных специалистов в соответствующей области науки. Определяющие критерии включают наличие научных публикаций в данной и смежных областях, а также способность к квалифицированной оценке актуальности, теоретической значимости и практической ценности представляемой диссертации. Д.т.н. Карташевский И.В. является одним из ведущих специалистов в исследовании сетей связи и в частности программно-конфигурируемых сетей. К.т.н., доцент Степанов М.С. 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 – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» имеет в своем составе кафедру радиотехнических систем, занимающуюся анализом телекоммуникационных сетей, разработкой методов управления и моделирования сетевого трафика. Отзыв сформирован на кафедре радиотехнических систем и подписан и.о. заведующего кафедрой радиотехнических систем, к.т.н. Маркеловым О.А. и утвержден д.т.н., доцентом, проректором по научной и инновационной деятельности СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Семеновым А.А.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработан** модельно-методический аппарат, позволяющий повысить эффективность построения сетей беспроводного доступа с применением БПЛА, в частности позволяющий выбирать позиции размещения

маршрутизаторов в рою БПЛА и логическую структуру сети; **предложены** метод оптимизации числа контроллеров в мультиконтроллерных сетях SDN, который позволяет снизить среднее число контроллеров на 46% за счет динамического управления, что уменьшает энергопотребление и затраты на развертывание, а также повышает надежность сети, и метод передачи языка жестов, как элемент костюма телеприсутствия для людей с ограниченными возможностями; **доказано**, что использование предложенного метода построения интеллектуального ядра интегрированной сети 6G на основе технологии SDN для услуг телеприсутствия позволяет повысить эффективность использования контроллеров на 53%; **введена** логическая структура сети для реализации услуг телеприсутствия в сетях связи шестого поколения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано**, что метод маршрутизации пакетов для роя БПЛА с учетом качества обслуживания услуги и оптимизация мультиконтроллерной сети SDN снижают задержку в сети в предложенной системе до 46%; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** комплексы существующих базовых методов исследования, в т.ч. методы теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории вероятностей, математической статистики; **изложены** элементы теории сетей связи при предоставлении услуг телеприсутствия, характеристики SDN сетей, идеи об оптимизации числа пакетов в сети при взаимодействии пользователей и сетей связи общего пользования; **раскрыты** взаимодействие пользователей с сетью и характеристики генерируемого при этом трафика; **изучены** методы предоставления услуг телеприсутствия, в том числе для людей с ограниченными возможностями; **проведена модернизация** известных ранее характеристик трафика сетей связи с расширением их значений при использовании взаимодействия сетей 6G.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** метод построения интеллектуального ядра интегрированной сети 6G на основе технологии SDN для услуг телеприсутствия, модель и методы размещения маршрутизаторов сети на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) и обеспечения маршрутизации с помощью роя БПЛА, а также метод реализации

иммерсивных технологий в сетях связи пятого и шестого поколений при разработке методики планирования мультиконтроллерных программно-конфигурируемых сетей SDN в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», при проведении работ по Мегагранту «Исследования сетевых технологий с ультрамалой задержкой и сверхвысокой плотностью на основе широкого применения искусственного интеллекта для сетей 6G» по соглашению № 075-15-2022-1137 с Министерством науки и высшего образования РФ, чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; **определены** характеристики качества обслуживания для предоставления услуги телеприсутствия для людей с ограниченными возможностями; **создана** система практических рекомендаций для планирования сетей и систем шестого поколения; **представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию методов построения интеллектуального ядра интегрированной сети 6G на основе технологии SDN для услуг телеприсутствия, что позволяет повысить эффективность использования контроллеров на 53%.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для экспериментальных работ результаты получены на модельной сети, построенной на сертифицированном оборудовании; **теория** построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т.ч. на результатах фундаментальных работ в области теории телетрафика отечественных и зарубежных ученых; **идея базируется** на обобщении передового опыта и использовании неизвестных ранее взаимосвязей; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное и/или количественное 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 основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации было высказано критическое замечание о применении в диссертации для оптимизации метаэвристического алгоритма, а не какого иного.

Соискатель Кузнецов К.А. в ходе заседания **ответил** на задаваемые ему вопросы, **согласился с замечаниями** и привел собственную аргументацию.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Исследование и разработка методов предоставления услуг телеприсутствия в сетях связи шестого поколения» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 2, 4, 9, 10 и 12 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 27 ноября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Кузнецову Константину Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по исследованию и разработке методов обеспечения услуг телеприсутствия в сетях связи шестого поколения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, 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

29 ноября 2024 года