



Российский университет
дружбы народов (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

10 ноября 2022
№ 05-07/6775

УТВЕРЖДАЮ

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



Костин Андрей Александрович

« 10 » ноября 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) – на диссертационную работу Владимирова Сергея Сергеевича на тему «Разработка и исследование комплекса методов уменьшения сетевой задержки и идентификации объектов для сетей связи пятого и последующих поколений», 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 доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертационной работы

Основное направление развития сетей связи в настоящее время, на среднесрочную и долгосрочную перспективу связано с созданием сетей связи пятого и последующих поколений. Все эти сети базируются на двух сетевых структурах: сверхплотных сетях и сетях связи с ультра малыми задержками. Автор в своей работе вносит весомый вклад как в развитие теории и практики

сетей связи с ультра малыми задержками путем разработки методов сетевого кодирования для таких сетей, так и для сверхплотных сетей связи, предлагая новый метод идентификации объектов. Исходя из сказанного, тема представленной на отзыв диссертационной работы «Разработка и исследование комплекса методов уменьшения сетевой задержки и идентификации объектов для сетей связи пятого и последующих поколений» является, несомненно, актуальной.

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

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав и заключения. Работа содержит 322 страницы машинописного текста, 122 рисунка, 17 таблиц и список литературы из 348 наименований.

Научная новизна диссертационной работы проявляется уже непосредственно в самом названии. Разработка и исследование комплекса методов уменьшения сетевой задержки и идентификации объектов исключительно востребована в настоящее время мировым сообществом для создания научно-обоснованной среды при внедрении сложнейших сетей пятого и последующих поколений.

Автор концентрирует внимание на проблемах новых технологий для создания сетей связи пятого и последующих поколений. При этом автору удастся убедительно доказать, что создание таких сетей не может быть эффективным без использования сетевого кодирования для уменьшения задержек и новых методов идентификации в связи со свойством сверх плотности сетей связи пятого и последующих поколений. Анализ этих направлений исследований и формулировке целей и задач диссертационной работы посвящена первая глава диссертации.

Вторая глава посвящена проблемам построения модели компенсации задержек и реализующего эту модель Naptic-кодека для предоставления услуг Тактильного Интернета (ТИ). Предложена обобщенная модель сигнального процесса Naptic-кодека на базе быстросходимых полиномов и рассмотрены особенности реализации связки пространственно-временного механизма

имитации тактильности для компенсации реальных задержек. Результатом исследований этой главы является разработка метода компенсации задержек для приложений тактильного интернета, позволяющего за счет многопараметрической аппроксимации сигнала тактильности на стороне контролера обеспечить оператору удаленного управления получение сигналов ответной реакции телеоператора без сетевой задержки в пределах статической и динамической чувствительности тактильной зоны с дельта-коррекцией по реальному отклику. Такое изящное решение напоминает использование метода искусственного фоновых шума в системах IP-телефонии, который обеспечивает психологический комфорт при разговоре, показывая, что соединение не разорвано, даже в случае молчания собеседника.

В третьей главе исследованы проблемы применения сетевого кодирования (СК) в сетях связи для уменьшения задержек. Предложен новый метод физического СК с применением сигнально-кодовых конструкций (СКК) на основе элементов недвоичной мультипликативной группы. Кроме того, исследовано сочетание СК с различными помехоустойчивыми кодами и предложен метод совмещения СК с помехоустойчивыми кодами на основе псевдослучайных последовательностей максимальной длины и последовательностей Голда, что позволяет восстановить закодированное сообщение при потере одного из пакетов.

В четвертой главе диссертационной работы разработан метод сбора и доставки показаний устройств нателных сенсорных сетей, который позволяет за счет использования ретранслятора с адаптивным сетевым кодированием не только увеличить зону покрытия сети сбора данных и уменьшить число передаваемых пакетов при активном взаимодействии устройств, узлов сбора и центра данных, но и обеспечивает снижение задержки доставки данных на четверть на отдельных участках сети в зависимости от условий передачи по сравнению с традиционным способом передачи. На самом деле, полученный результат представляется существенно более широким, поскольку ретранслятор с сетевым кодированием может применяться, естественно, не только для нателных сенсорных сетей, а для сбора и доставки показаний любых сетей при использовании беспилотных летательных аппаратов или иных беспилотных средств.

Пятая глава диссертационной работы посвящена датаграммному протоколу многоадресной передачи данных с СК NCDP (Network Coding Datagram Protocol), предназначенному для передачи данных по мультимаршрутной сети от группы источников к группе получателей. Протокол NCDP разработан как протокол сеансового уровня, обеспечивающий управление соединением и нумерацию пакетов, и реализующий прослойку между прикладным протоколом предоставления услуги и транспортным протоколом передачи данных. Поскольку протокол NCDP обеспечивает не последовательную, а одновременную доставку пакетов в системах с сетевым кодированием по мультимаршрутной сети от источников к получателям данных, что позволяет уменьшить задержку доставки данных до конечного потребителя на величину до 16% в зависимости от условий передачи по сравнению с традиционным многоадресным способом передачи. Протокол одобрен Сектором стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т), что представляет большой успех отечественной науки на международном уровне.

Шестая глава посвящена разработке метода быстрого моделирования систем сетевого кодирования на основе параллельного моделирования сетевых узлов как отдельных процессов и программ, коммуникационно связанных методами межпроцессного взаимодействия на многоядерных архитектурах. В главе представлен программный пакет Data Transmission System Modeling Software (DTSMS) для имитационного численного моделирования систем ПД, в том числе систем сетевого кодирования, вычисление их вероятностных характеристик, подбор оптимальных методов модуляции и помехоустойчивого кодирования для различных каналов ПД, реализуемых в виде программных моделей. время выполнения модели в DTSMS меньше в среднем на один порядок, нежели время моделирования в широко известном пакете Octave. С точки зрения пользователя, выполняющего моделирование, этот выигрыш наиболее заметен при количестве передаваемых пакетов данных $N > 10^4$.

В седьмой главе автором предложен метод дополнительной сетевой идентификации устройств, который на основе использования деградированного участка флеш-памяти устройства обеспечивает уникальность идентификации

определяемого объекта. Метод идентификации на основе деградированной NOR флеш-памяти основан на том, что в каждое изменение уровня заряда ячейки памяти приводит к накоплению необратимых изменений в ее структуре, и в некоторый момент ячейка памяти может перестать изменять свое состояние. Оценка вероятности появления двух одинаковых идентификаторов для практических расчетов может быть аппроксимирована экспоненциальной функцией ряда Тейлора. При этом, вероятность появления двух одинаковых идентификаторов составляет величину порядка 10^{-8} .

Теоретическая значимость диссертационной работы обусловлена разработкой новой модели компенсации задержек для приложений тактильного интернета, которая использует многопараметрическую аппроксимацию сигнала тактильности на стороне пользователя, субъективно обеспечивая оператору удаленного управления получение сигналов ответной реакции без сетевой задержки.

Важными теоретическими результатами являются совокупность предлагаемых методов сетевого кодирования на различных уровнях сетевой модели и подход к использованию сетевого кодирования в сетях пятого поколения на примере систем сбора данных с нательных сенсорных сетей, предполагающий применение ретрансляторов на основе беспилотных летающих платформ.

Сложная задача однозначной идентификации сетевых устройств в диссертационной работе решается на основе использования физических особенностей флеш-памяти, которые позволяют использовать деградированный участок памяти в качестве уникального идентификатора.

Практическая ценность работы состоит в создании научно-обоснованных рекомендаций по применению методов уменьшения задержек в сетях связи пятого и последующих поколений с учетом массового внедрения новых услуг связи, включая системы тактильного интернета. Самостоятельную практическую ценность имеет разработанная под руководством автора система быстрого моделирования передачи данных с сетевым кодированием, основанная на параллельном выполнении независимых моделируемых процессов.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при планировании сетей связи пятого поколения, в ФГУП НИИР при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций Администрации связи Российской Федерации в Секторе стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи в работах по разработке стандартов (вкладов) по внедрению новых протоколов на сетях связи, в ИПУ РАН при выполнении НИР 20-37-70059 «Разработка комплекса математических моделей, методов и алгоритмов проектирования широкополосных беспроводных сетей нового поколения на базе автономных и привязных высотных беспилотных платформ», в АО «НПП «ИСТА-Системс» в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах при разработке комплексных систем безопасности нового поколения, в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ, а также при выполнении научно-исследовательской работы в рамках Федеральной целевой программы на тему: «Разработка и экспериментальная апробация аппаратно-программной платформы предоставления приоритетного проезда регулируемых перекрестков для общественного, грузового и специального транспорта».

Основные результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций при разработке документов по созданию и внедрению сетей связи пятого и последующих поколений, в том числе нормативно-правовых актов, при проведении научно-исследовательских работ в области современных телекоммуникационных сетей и систем и при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций Администрации связи Российской Федерации в Секторе стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи в работах по разработке стандартов (вкладов) в отраслевом научно-исследовательском институте ФГУП НИИР, при проектировании и планировании современных сетей связи ПАО

“ТИПРОСВЯЗЬ”, в ИПУ РАН при выполнении научно-исследовательских работ в области широкополосных беспроводных сетей нового поколения на базе автономных и привязных высотных беспилотных платформ, 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.

Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы подтверждается корректным применением математического аппарата, обсуждением результатов диссертационной работы на международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах.

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 71 работе, в том числе в 21 работе в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 6 работах в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 4 результатах интеллектуальной деятельности; 4 отчетах о НИР; 36 работах в других научных изданиях и материалах конференций.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конгрессах, конференциях и семинарах: Международной конференции по проводным и беспроводным сетям и системам следующего поколения NEW2AN (Санкт-Петербург, 2017); Международной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» DCCN (Москва, 2020); Международных научно-

технических и научно-методических конференциях «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО (Санкт-Петербург, 2013–2022); Региональных научно-методических конференциях магистрантов и их руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики» ПКМ (Санкт-Петербург, 2020–2021); 72-й Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Дню радио (Санкт-Петербург, 2017); 4-й Международной конференции по сетям будущего и распределенным системам ICFNDS (Санкт-Петербург, 2020); 14-ой международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ (Владимир, 2021).

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 работы

1. На стр. 71-73 диссертации при описании формул (1.10)-(1.13) использованы нестандартные обозначения участков массива, не объясненные в тексте диссертации.
2. В формуле (2.1) на стр. 109 диссертации присутствует расхождение между самой формулой и представленной далее раскрытой версией формулы. В первом случае индекс v начинается с 1, а во втором случае — с нуля.
3. В главе 3 на странице 136 предложено использовать для модуляции элементов группы $GF(3^2)^*$ модуляцию DPSK-9. Однако отсутствует обоснование, почему выбран именно этот метод и чем он лучше других.

4. На различных графиках, представленных в диссертации, используются различные форматы представления больших чисел: на одних графиках степенной, на других - экспоненциальный, что затрудняет восприятие информации.
5. Необходимо более четко указать как Результат 2 на стр. 6 автореферата связан с объектом исследования – сетями пятого и последующих поколений.
6. Результатом работы определен разработанный автором протокол многоадресной передачи данных NCDP на основе сетевого кодирования. Из автореферата не ясно, как осуществлялось тестирование разработанного протокола.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Владимирова Сергея Сергеевича. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема разработки комплекса методов уменьшения сетевой задержки и идентификации объектов для сетей связи пятого и последующих поколений, имеющая важное 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 российских и зарубежных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 3,11,14 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 Владимирова Сергея Сергеевича «Разработка и исследование комплекса методов уменьшения сетевой задержки и идентификации объектов для сетей связи пятого и последующих поколений» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»,

утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 11.09.2021 года), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Владимир Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Заключение принято на заседании кафедры прикладной информатики и теории вероятностей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» 08.11.2022 (состав кафедры – 46, присутствовали – 35), протокол № 0200-19-04/04.

08.11.2022 г.

Заведующий кафедрой прикладной информатики
и теории вероятностей РУДН
доктор технических наук
(05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций),
профессор

 Самуйлов Константин Евгеньевич

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