

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Андреева Сергея Дмитриевича на тему «**Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей**»

на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

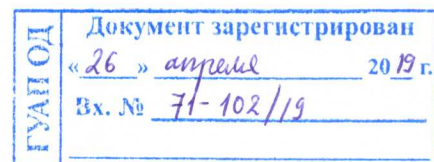
1. Актуальность темы диссертации

Беспроводные решения в настоящее время стали самыми массовыми технологиями доступа в современных сетях связи. Безусловно, сильнейшим толчком к их развитию стало массовое проникновение сетей подвижной связи, количество подключений к которым во многих странах превышает количество жителей.

Развитие вычислительной техники и множества смежных областей знаний наряду с совершенствованием технологий связи и их проникновением во все сферы деятельности человека привели к формированию новых направлений и концепций развития информационного общества и цифровой экономики. На фоне всеобщей информатизации появились новые направления и концепции информатизации, например, Интернет вещей, тактильный Интернет, направления информатизации городской, транспортной инфраструктуры и др.

Эти тенденции позволяют с достаточной уверенностью утверждать, что в ближайшей и долгосрочной перспективах будет происходить дальнейшая интеграция и проникновение информационных и телекоммуникационных технологий в жизнь человека, а роль инфокоммуникационной системы будет неуклонно возрастать.

Высокие темпы развития сетей связи во многом обеспечиваются многообразием применяемых для их построения технологий радиодоступа. Многообразие сосуществующих технологий с одной стороны является следствием эволюции сетей связи, как это принято называть, сменой



поколений, а с другой стороны – широким кругом приложений, на которые они ориентированы.

Можно предположить, что поддержание многообразия технологий является наиболее эффективным путем развития такой сложной системы как сеть связи и инфокоммуникационная экосистема в целом.

Поскольку концепция многообразия лежит в основе понятия гетерогенных сетей связи, стоит предположить, что современные и будущие сети связи будут гетерогенными.

Если рассмотреть гетерогенную сеть как набор ресурсов различного типа, а предоставление услуг сравнить с задачей распределения ресурсов, то в отличие от гомогенных систем в гетерогенной сети приходится решать задачу оптимального распределения ресурсов различных типов. Это возможно лишь при наличии соответствующих моделей и методов, позволяющих описать систему, сформулировать и решить данную задачу. Именно этому и посвящена настоящая работа «Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей». В связи с этим тема работы соискателя является актуальной.

2. Содержание работы и основные научные результаты

2.1 Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, шести приложений и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность разработки и исследования моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей.

Глава 1 посвящена описанию основных понятий, определений и структуры гетерогенных сетей связи пятого поколения (5G). Сформулированы задачи по организации непрерывного беспроводного покрытия и повышению качества восприятия услуг как при обслуживании людей в качестве пользователей, так и при поддержке межмашинного взаимодействия. В главе дается анализ предпосылок перехода к сетям 5G и направлений их развития, возможностей использования беспроводного

спектра, процесса интеграции сетей связи 5G с Интернетом вещей. Также приведен детальный анализ стандартизации сетей связи 5G.

Результаты, полученные в первой главе, подтверждают актуальность выбранного направления исследований и определяют круг задач, подлежащих решению.

Глава 2 посвящена исследованию методов управления качеством обслуживания пользователей в гетерогенных сетях 5G. Проведен анализ различных вариантов интеграции технологий радиодоступа, анализ интегрированной сотовой и локальной сетей доступа, анализ методов уплотнения сетей доступа и учета динамики их загрузки, анализ методов управления доступом и радиоресурсами в интегрированных сетях.

В результате разработана модель гетерогенной сети с несколькими интегрированными между собой технологиями радиодоступа, учитывающая обслуживание потоков трафика и высокую плотность размещения узлов сети, позволяющая оценивать параметры качества обслуживания.

Также разработан алгоритм с разделением пользовательской сессии, применимый для управления потоками трафика в гетерогенной сети с двумя совмещенными технологиями радиодоступа, который позволяет повысить скорость отправки данных пользователями, а также снизить среднее время их передачи.

В главе 3 приведен анализ различных механизмов и технологий увеличения сетевой емкости и повышения качества обслуживания в сетях 5G. В частности, делается подробный анализ метода использования прямых соединений между устройствами, а также использования крайне высоких частот. Дается сравнительный анализ и определяется целесообразность различных вариантов использования прямых соединений на нелицензированных частотах. Разработаны перспективные сценарии применения связи на крайне высоких частотах.

В результате была получена модель гетерогенной сети с двумя одновременно функционирующими технологиями радиодоступа и возможностью установления прямых соединений между соседними устройствами (устройство-устройство), которая применима для оценки параметров качества обслуживания.

Также разработан и представлен алгоритм управления с одновременным подключением пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры в условиях их плотного размещения, учитывающий особенности распространения радиосигнала в сетях 5G.

В главе 4 дается обоснование и анализ тенденций к интеграции сетей 5G с Интернетом вещей. Приведены результаты подробного анализа способов организации беспроводного доступа вещей в современных сетях, предпосылок и последствий распространения носимых устройств, повышения энергетической эффективности доступа носимых устройств.

В этой главе разработана модель сотовой сети с конкурентным обслуживанием большого числа пользователей, учитывающая особенности протокола множественного доступа. Модель позволяет изучать показатели эффективности функционирования сети. Также построенная модель позволяет исследовать характер потребления энергии и особенности протокола конкурентного доступа. Она применима для оценки энергетической эффективности передачи потокового трафика пользователей.

В главе 5 доказано, что связь устройство-устройство, управляемая через систему 3GPP LTE, позволяет существенно повысить производительность как сети в целом, так и отдельных абонентских устройств. Исследованы методы управления прямым соединением устройств в сотовых сетях, приводятся результаты анализа практического использования прямых соединений для обмена данными, проводится анализ интеграции систем удаленного хранения и обработки данных.

В главе описан разработанный протокол управления системой прямых соединений для гетерогенной сети с интегрированными технологиями радиодоступа. Предложенный алгоритм распределения трафика пользователей в гетерогенной системе прямых соединений обеспечивает управление нагрузкой с целью снижения времени передачи пользовательских данных и повышения вероятности успешного доступа.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Работа содержит шесть приложений. В приложения вынесены подробные описания аналитических моделей, алгоритмов, графический

материал из соответствующих глав работы, а также документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы.

Список литературы включает 360 наименований.

Структура работы достаточно хорошо продумана и удобна для восприятия читателем. Стоит отметить весьма удачное распределение материала глав между текстом пояснительной записки и приложениями. Графический материал выполнен аккуратно, наглядно и является органичным дополнением текстового материала.

В целом, с учетом значительного объема материала, следует отметить высокий уровень его подготовки.

2.2 Основные научные результаты:

В работе получены следующие научные результаты:

1. Разработана модель гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа. Данная модель, в отличие от известных, учитывает геометрию размещения узлов сети совместно с особенностями обслуживания потоков трафика пользователей во времени.

2. Разработан алгоритм с разделением пользовательской сессии для совмещенной сети радиодоступа. Алгоритм отличается от известных тем, что позволяет вести передачу трафика по нескольким технологиям радиодоступа одновременно, что обеспечивает снижение нагрузки на сотовую сеть.

3. Разработана модель гетерогенной сети с возможностью установления прямых соединений между устройствами. Модель отличается от известных учетом особенностей обслуживания потоков трафика во времени и размещения пользовательских устройств в пространстве.

4. Разработан алгоритм с одновременным подключением пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры. Алгоритм впервые учитывает возможность блокирования канала прямой видимости подвижными препятствиями при осуществлении пользователями передачи на крайне высоких частотах.

5. Разработана модель сети радиодоступа для обслуживания большого числа устройств. Модель отличается от известных тем, что учитывает

особенности функционирования протокола случайного множественного доступа, стандартизованного для сотовой системы связи.

6. Разработана модель сети радиодоступа для обслуживания множества носимых устройств. Модель отличается от известных, тем, что учитывает особенности протокола случайного множественного доступа, стандартизованного для локальной системы связи на крайне высоких частотах.

7. Разработан протокол управления системой прямых соединений для гетерогенной сети, а также способ его реализации в рамках модельной сети. Подобные протоколы ранее не применялись для снижения нагрузки на сотовую сеть методом выгрузки трафика в сети других технологий радиодоступа.

8. Разработан алгоритм распределения трафика пользователей в гетерогенной системе прямых соединений. В отличие от известных, данный алгоритм основан на применении методов сетевого кодирования с целью повышения доступности контента на соседних пользовательских устройствах.

3. Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, а также широким спектром публикаций и выступлений как на российских, так и на международных конференциях.

Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на российских и международных конгрессах, конференциях и семинарах.

По основным результатам диссертации опубликованы 68 работ, в том числе в 6 монографиях, в 12 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, в 32 работах, опубликованных в трудах, индексируемых Scopus и Web of Science.

Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены при его участии и под непосредственным научным руководством.

Полученные в диссертационной работе результаты обладают научной новизной, а именно, разработаны новые, отличающиеся от известных:

-модель гетерогенной сети с набором интегрированных между собой технологий радиодоступа;

-алгоритм с разделением пользовательской сессии для совмещенной сети радиодоступа;

-модель гетерогенной сети с возможностью установления прямых соединений между устройствами;

-алгоритм с одновременным подключением пользователя к нескольким узлам сетевой инфраструктуры;

-модель сети радиодоступа для обслуживания большого числа устройств;

-модель сети радиодоступа для обслуживания множества носимых устройств;

-протокол управления системой прямых соединений для гетерогенной сети, а также способ его реализации в рамках модельной сети;

-алгоритм распределения трафика пользователей в гетерогенной системе прямых соединений.

4. Научная и практическая значимость результатов

4.1 Научная значимость

Научная значимость диссертационной работы состоит в создании нового научного направления в области разработки и исследования моделей и алгоритмов, обеспечивающих эффективность функционирования гетерогенных беспроводных сетей.

Методология диссертационной работы развивает математические методы теории массового обслуживания и стохастической геометрии, в части их применения для моделирования современных гетерогенных сетей связи.

Полученные научные результаты внедрены в Российском университете дружбы народов (РУДН), Москва; Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), Санкт-Петербург; публичном акционерном обществе «ГИПРОСВЯЗЬ»,

Москва; научно-исследовательском институте радио (ФГУП НИИР), Москва; обществе с ограниченной ответственностью «ЭВС», Санкт-Петербург.

4.2 Практическая значимость

Практическая значимость диссертации заключается в разработке обоснованных рекомендаций, таких как «Методика оценки показателей эффективности для проектирования гетерогенных беспроводных сетей». Результаты работы также использованы в учебно-методических комплексах лекционных курсов, постановках задач для выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров.

5. Характеристика работы в целом

Материал диссертационной работы Андреева Сергея Дмитриевича методично изложен и хорошо структурирован. Для каждого раздела представлены содержательные и достаточные выводы. Сергей Дмитриевич продемонстрировал глубокие знания в части новых телекоммуникационных технологий, а также математических методов моделирования (теории вероятностей, математической статистики, теории случайных процессов, теории массового обслуживания и имитационного моделирования).

Настоящая диссертационная работа позволяет заключить, что Андреев Сергей Дмитриевич обладает обширными знаниями и навыками выполнения научных исследований, а полученные им результаты имеют важное значение для теории и практики развития сетей и систем связи.

К настоящей диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. Относительно допущения при моделировании выбора технологии связи. Не всегда можно согласиться с тем, что человек предпочтет выбор сети WiFi выбору системы LTE (стр. 92) с целью минимизации стоимости услуг. Зачастую выбор обусловлен соображениями соотношения стоимости и качества, возможно и затратами времени. При близких значениях стоимости и показателей качества вероятность такого предпочтения на практике может быть весьма низкой.

2. Автор часто употребляет слово эффективность. В большинстве случаев из контекста ясно, о чем именно идет речь, однако в ряде случаев нет однозначного понимания, что же автор имел в виду, например, на стр. 81

говорится об эффективности обслуживания, которая характеризуется средним числом сессий, но на графике приведены среднее число пользователей и вероятность блокировки. На стр. 141 говорится о численном значении энергетической эффективности (14%), однако выражение для ее определения не приведено. Было бы целесообразно определить, как соотносятся эти параметры с понятием эффективности.

3. При построении модели (например, в главе 2, а также других моделей) автор оперирует понятиями файла, сессии, интенсивности сессий, отказов сессий и т.д., т.е. все показатели функционирования относятся к единице, за которую принимается сессия передачи / приема файла. Такой подход, безусловно, позволяет характеризовать пропускную способность сети. Однако не меньшую важность имеет обслуживание трафика на уровне пакетов (кадров), которое определяет качество предоставления потоковых и интерактивных услуг. При подходе, предложенном в работе, данная характеристика может быть получена лишь косвенно. Имело бы смысл связать результаты моделирования с показателями качества предоставления таких услуг.

4. Модель распространения миллиметровых волн, разработанная автором в главе 3, чрезвычайно важна для анализа функционирования перспективных сетей связи в этом диапазоне частот, однако она не учитывает особенностей распространения сигналов в помещениях, где может быть сконцентрировано существенное количество пользователей. Поэтому полученные результаты, весьма полезные, характеризуют лишь ту долю пользователей сети, которая находится на открытом пространстве. Имело бы смысл учесть эти особенности при моделировании.

5. При построении модели взаимодействия M2M-устройств с базовой станцией LTE (стр. 190) делается допущение о коллизиях, возникающих в случае одновременной передачи устройствами сообщения. При принятии данного допущения вероятность коллизии будет завышена по сравнению с реальным значением. В реальности вероятность потери сообщения не равна единице, т.к. она зависит от условий приема сигналов от конфликтующих источников. При высокой вероятности конфликта эта разница может быть весьма существенна. Следовало бы определить условия применимости предложенной модели с данной точки зрения.

В ряде случаев имеют место неясные или неточные формулировки. Например, на ряде графиков (например, рис. 3.8 и 3.9) зависимости для дискретных величин представлены непрерывными линиями, что не лучшим образом отражает их природу.

6. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным использованием известных научных методов, критическим анализом известных достижений и теоретических положений других авторов.

Для получения соответствующих научных результатов автор последовательно реализует предложенную методологию исследования, включающую в себя такие этапы как анализ существующих знаний предмета исследования, комплексное моделирование (аналитическое, имитационное и натурное), анализ полученных результатов и формулирование соответствующих положений и рекомендаций. Обоснованность основных результатов также подтверждается достаточно большим объемом имитационных и натуральных экспериментов, проведенных непосредственно автором или под его руководством.

Полученные результаты прошли апробацию путем их представления научной общественности в виде докладов на конференциях и публикаций в научных изданиях.

7. Заключение

Отмеченные недостатки не являются значимыми. Представленная к защите диссертационная работа оценивается положительно. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационного исследования. Диссертация Андреева Сергея Дмитриевича «Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные результаты разработки нового направления, имеющие существенное научное и практическое значение. Диссертация полностью

соответствует критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (в действующей редакции) "О порядке присуждения ученых степеней"), и ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент,
профессор кафедры Сетей Связи и Передачи Данных,
СПбГУТ, доктор техн. наук

E-mail: alex-in-spb@yandex.ru



Александр Иванович Парамонов

Тел. +7 (812) 326-31-50

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Почтовый адрес: 193232, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков д.22, корп.1.



А.И. Парамонова

ЗАВЕРЯЮ

Исполнительный директор
Администрации-кадрового
управления СПбГУТ

А.П. Зверев

04

20 19 г.