

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПУ РАН
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

 Д. А. Новиков

«15» октября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) - на диссертационную работу Кучерявого Евгения Андреевича на тему «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи», представленную к защите в диссертационном совете Д 219.001.04 на базе ордена Трудового Красного Знамени ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ) на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность диссертационной работы.

Проблемы создания цифровой экономики и в Российской Федерации, и в других странах во многом связаны с необходимостью существенной модернизации сетей связи. Еще недавно казалось, что сети связи четвертого поколения смогут обеспечить длительную эволюцию сетей связи, но сегодня пришло понимание того факта, что сети связи четвертого поколения только подготовили эволюционный переход к сетям связи пятого поколения, что на самом деле явилось абсолютно необходимым шагом в развитии сетей. Сети связи пятого поколения знаменуют собой принципиальный шаг в развитии сетей связи за счет выполнения требований концепций Интернета вещей и

Лист № 144/12
«23» 10 2018 г.
подпись

тактильного Интернета. Это – сверхплотные сети за счет очень большого числа интернет вещей и одновременно сети связи с ультра малыми задержками вследствие требований по ограничению задержек величиной в 1мс. Такие свойства сетей можно реализовать только при комплексном использовании различных технологий путем совместного использования их ресурсов. Поэтому и в теории, и в практике работ по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций в настоящее время начинаются исследования в области гетерогенных беспроводных сетей связи. Диссертационная работа Е.А.Кучерявого посвящена основной проблеме при построении гетерогенных беспроводных сетей связи, а именно: распределению ресурсов в таких сетях. Исходя из сказанного, можно с уверенностью утверждать, что тематика диссертационной работы Е.А.Кучерявого несомненно актуальна.

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

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 416 страниц, включая 102 рисунка, 20 таблиц, список литературы из 318 наименований. В приложении к диссертационной работе приведены документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы в явном виде звучит уже в ее названии. В диссертации разработан комплекс новых моделей и методов распределения ресурсов для беспроводных гетерогенных сетей связи, эффективность которых подтверждена как аналитически, так и экспериментально. Поэтому, основные результаты, полученные в диссертационной работе, обладают несомненной научной новизной.

Предложена новая методология исследования распределения ресурсов в гетерогенных сетях связи, отличающаяся от известных комплексным анализом

и синтезом различных технологий радиодоступа. Комплексное использование для исследования распределения ресурсов в гетерогенных сетях связи пространственного (стохастическая геометрия) и временного (теория очередей) представления сетевых структур открывает новое направление научных работ в области специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций и в теории телетрафика.

Предложен новый критерий оптимизации распределения ресурсов в гетерогенных сетях связи, отличающийся от известных тем, что справедливое распределение ресурсов для гетерогенных сетей с учетом требуемого баланса между сетевыми возможностями и пропускной способностью достигается за счет использования критерия $\max\text{-min}$, основанного на полосе пропускания. Целевая функция при этом дополняется весовыми коэффициентами на основе мгновенных значений спектральной эффективности. Такое изящное решение достаточно сложной задачи по распределению ресурсов позволяет достичь до 60% лучшего значения 5% квантиля производительности соты по сравнению с критериями, не учитывающими динамику изменений характеристик радиоканала.

Разработан метод управления производительностью гетерогенных радиотехнологий доступа H-CRAN, отличающийся от известных тем, что используется кооперативное управление посредством менеджера кооперативных радиоресурсов CRRM в H-CRAN в реальном масштабе времени на основе динамического управления ресурсами двух альтернативных метрик: справедливого распределения ресурсов для пользователей всех доступных сетей радиодоступа и общей производительности системы. Разработанный метод позволяет по-новому взглянуть на возможности управления ресурсами в сетях радио доступа гетерогенной структуры, поскольку позволяет более чем в 2 раза увеличить общую производительность системы.

Предложена новая архитектурная реализация взаимодействия беспроводных сетей 3GPP и IEEE, отличающаяся от известных тем, что

используется разработанный в диссертационной работе «Шлюз входа в сеть доступа» (AAGW), обеспечивающий такое совместное функционирование сетей 3GPP и IEEE, при котором не требуется использование ни операторской магистральной сети, ни Интернета. Не очень значимый на первый взгляд результат является одним из ключевых в новой теории и практике создания сетей связи с ультра малыми задержками, обеспечивая значительное сокращение сквозных задержек в сети за счет системного подхода автора к проблеме построения сетей связи с учетом стратегических характеристик их развития.

Разработана методология эффективного распределения мощности передачи и схема управления мощностью для одновременно функционирующих двух и более радиотехнологий доступа устройства в гетерогенной сети, максимизирующая энергоэффективность мобильного устройства при удовлетворении минимальной требуемой скорости передачи пользовательских данных. И здесь автор, строго используя преимущества гетерогенности сети, достигает превосходного результата по сравнению с традиционными работами по энергетической эффективности для гомогенных сетей.

Разработаны модель и метод облачной клиентской ретрансляции, которые, в отличие от известных, учитывают особенности трафика для устройств M2M, расположенных на границе соты. Облачные структуры уже хорошо зарекомендовали себя при построении сетей связи в условиях внедрения концепции Интернета вещей, в которой устройства M2M занимают достаточно важное место. Поэтому, разработанные модель и метод облачной клиентской ретрансляции не могли не дать хорошего нового научного результата. Но выигрыш по производительности, опять-таки в разы, а точнее – в 3-4 раза подчеркнул, что с учетом особенностей трафика в сетях M2M, применение облачных структур может принципиально улучшить характеристики сети за счет рационального распределения ресурсов.

Разработаны модель и метод выгрузки трафика в гетерогенных сетях, отличающиеся от известных тем, что для выгрузки трафика используется технология WiFi Direct. Автор является одним из основателей направления исследований в области выгрузки трафика и удачное использование для этих целей технологии WiFi Direct совместно со следующим новым научным результатом по использованию сетевой поддержки для взаимодействия D2D обеспечивает не только удвоение (!) пропускной способности, но и повышение энергоэффективности до 6 раз (!).

Разработаны модель и метод распределения ресурсов для взаимодействия D2D в гетерогенных беспроводных сетях, отличающиеся от известных использованием новой технологии сетевой поддержки D2D, что позволяет существенно сократить общие энергозатраты в гетерогенной зоне базовой станции и увеличить пропускную способность сети в целом.

Разработаны модель и метод доступа устройств M2M к ресурсам системы LTE, отличающиеся от известных учетом специфики обслуживания данных малого объема, что позволяет организовать эффективное обслуживание трафика M2M в LTE. Этот новый научный результат, как и большинство предыдущих, значительно расширяет наши представления о новых сетях связи. Действительно, строго учитывая особенности трафика для сетей M2M, а именно: их малый объем, можно добиться уменьшения задержки пакетов почти для 85% типов трафика, что опять-таки принципиально важно в условиях предстоящего создания сетей с ультра малыми задержками.

Разработаны модель и метод доставки данных от M2M устройств в гетерогенных сетях 3GPP NB-IoT с возможностью клиентской ретрансляции, позволяющие для ряда сценариев как повысить вероятность доставки сообщений, так и повысить энергоэффективность передающих узлов. Этот научный результат получен в новой области исследований для совершенно нового специфичного протокола Интернета вещей, стандартизованного 3GPP. В настоящее время это пока только увеличение вероятности доставки

сообщений при одновременном повышении энергоэффективности передающих узлов, но здесь основные результаты на основе предложенных автором моделей и методов, безусловно, впереди.

Теоретическая значимость работы обусловлена, прежде всего, разработкой новой методологии исследования распределения ресурсов в гетерогенных сетях связи, отличающейся комплексным рассмотрением различных радиотехнологий доступа. Новая методология исследований не только позволила в явном виде решить ряд сложнейших задач для гетерогенных сетей связи, но может быть широко использована и для различных приложений в области сетей и систем связи, например, для Интернета Вещей. Фактически своей диссертационной работой Е.А.Кучерявый открывает новое направление исследований в области сетей связи на основе новой методологии, позволяющей комплексно учитывать гетерогенность различных радио технологий, что в дальнейшем только увеличит актуальность полученных новых научных результатов в связи с появлением все новых и новых технологий телекоммуникаций. Научные результаты диссертационной работы Е.А.Кучерявого вносят существенный вклад в развитие теории массового обслуживания и теории телетрафика.

Практическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в создании научного инструментария и научно обоснованных рекомендаций для планирования беспроводных гетерогенных сетей связи, что позволяет оптимизировать процесс внедрения сетей и систем связи четвертого и пятого поколений, являющихся, в свою очередь, инфраструктурной основой для создания цифровой экономики. Существенную практическую ценность имеет разработанная под руководством автора система имитационного моделирования WINTERsim, используемая рядом научно-исследовательских коллективов.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в ПАО «Ростелеком» при выполнении НИР по современным технологиям для модернизации сетей связи в направлении создания сетей 5G, в

ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке методики по планированию гетерогенных сетей связи, в Российском университете дружбы народов при создании модельной распределенной сети для исследования и оптимизации работы механизмов в системах связи нового поколения 5G, в «Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» при чтении лекций и проведении практических занятий.

Основные результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию для проведения научно-исследовательских работ в области современных телекоммуникационных сетей и систем в отраслевых научно-исследовательских институтах ФГУП ЦНИИС, ФГУП НИИР, в институтах РАН – ИПУ, ИПИ, при проектировании и планировании современных сетей связи ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», операторскими компаниями ПАО «Ростелеком», ПАО «Мегафон», ПАО «ВымпелКом», ПАО «МТС», а также при подготовке специалистов по современным сетям связи в университетах 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, результатами имитационного и натурного моделирования, а также широким обсуждением результатов диссертации на ведущих международных и российских конференциях.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно, экспериментальные исследования проведены при его преобладающем участии или под его научным руководством. Направления исследований диссертационной работы, формулировки проблем и постановки

задач обсуждались с научным консультантом проф. К.Е.Самуйловым, что отражено в совместных публикациях, в которых основные результаты и их доказательства принадлежат автору.

Полнота опубликования и апробация результатов исследования.

Основные результаты диссертации опубликованы в 78 работах, в том числе в трех монографиях, 12 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, в 63 работах, опубликованных в трудах, индексируемых Scopus, из них 51 индексируемых в Web of Science.

Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих конгрессах, конференциях и семинарах: IEEE Globecom: Anaheim CA, USA 2012, Atlanta GA, USA 2013, San Diego CA, USA 2015, Washington DC, USA 2016, Singapore 2017; IEEE ICC (IEEE International Conference on Communications): Budapest Hungary 2013, Sydney Australia 2014, London UK 2015, Kuala Lumpur Malaysia 2016; IEEE CAMAD (IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks) Kyoto, Japan 2011; IFIP WWIC (International Conference on Wired/Wireless Internet Communication) Vilanova i la Geltrú, Spain 2011, Santorini Greece 2012, St. Petersburg Russia 2013; DCCN (International Conference on Distributed Computer and Communication Networks), ИПУ РАН, Moscow, Russia, 7-10 октября 2013; Конференции «XLIII Неделя науки Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия, 4-5 декабря 2014; Юбилейной 70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия, 1-11 февраля 2017 г.; семинарах НИУ ВШЭ, РУДН, МТУСИ, ИПУ РАН, СПбГУТ.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации её 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. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Недостатки работы.

1. Архитектура гетерогенной сети 5G на рис.2.1 (стр.83) не включает в себя беспилотные летательные аппараты (БПЛА), хотя их применение могло бы улучшить характеристики сети связи пятого поколения в целом. Это же относится и к рис.2.5 (стр.94), где в качестве шлюза AAGW использование БПЛА выглядело бы весьма перспективным.

2. При анализе и синтезе моделей и методов для передачи трафика M2M с кооперацией на рис.3.3 рассматривается модель, в которой используются базовая станция и устройства M2M стандарта IEEE 802.16 (стр.159), что вряд ли найдет широкое применение на практике.

3. В разделе 6.7 “Численные результаты” (стр.345-354) как для базовой системы без ретрансляции (стр.345), так и для усовершенствованной системы с ретрансляцией отсутствуют результаты для задержек.

4. Имеются недочеты редакционного характера, встречаются опечатки и стилистические погрешности.

Заключение.

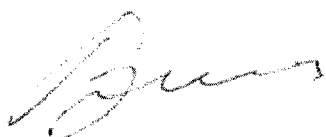
Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы Е.А.Кучерявого. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема создания комплекса моделей и методов распределения ресурсов для беспроводных гетерогенных сетей связи четвертого и пятого поколений, имеющая важное хозяйственное значение.

Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты широко апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях, на семинарах в ведущих университетах и исследовательских центрах. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 3, 5, 11, 12, 14 специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты. На основании изложенного считаем, что диссертация Е.А.Кучерявого «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Кучерявый Евгений Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Доклад автора по диссертации «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» заслушан и настоящий отзыв принят на заседании расширенного

научного семинара лаборатории № 69 «Управление сетевыми системами»
Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН 3 октября 2018
года, протокол № 12.

Зав. лабораторией № 69 «Управление сетевыми системами»
(специальность 05.13.15),
д.т.н., проф.



Вишневский Владимир Миронович

15 октября 2018 года

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии
наук

Адрес: 117997, г. Москва, Профсоюзная ул. 65
Сайт: <http://www.ipu.ru> Телефон: +7 (495) 334-89-10
Факс: +7 495 334-93-40, +7 499 234-64-26
E-mail: dan@ipu.ru

