

ОТЗЫВ

официального оппонента 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
ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Актуальность темы диссертационной работы

Появление транкинговых радиосетей, а затем и сотовых сетей связи явило новый тип пользователя услуг – мобильный пользователь. При этом важную роль в генерации сетевого трафика стал играть обмен информацией между пользователями не только на уровне «человек-человек», но и на уровнях «человек-устройство», «устройство-устройство». Технология Интернета вещей поставила дополнительные новые задачи перед телекоммуникационным сообществом, связанные с созданием сетей, которые, действуя на одной территории, были бы интегрированы на самых разных уровнях, сочетали различные стандарты и технологии, обеспечивая бесшовный переход из одного стандарта к другому, от одной технологии к другой. Такие сети должны не просто сочетать разные стандарты, но и обеспечивать полное взаимодействие между различными сетевыми уровнями, а также сетями, построенными на разных технологиях радиодоступа. Именно такие сети получили название гетерогенных, и они должны объединить ресурсы мобильных и стационарных сетей телекоммуникаций.

Концепция развития сетей 5G подразумевает использование не только технологий доступа в сеть через базовые станции, но и технологии прямого взаимодействия D2D, технологии межмашинного взаимодействия M2M, специализированные технологии (приложений) Интернета вещей.

Внедрение и развитие гетерогенных сетей требует создания аналитических моделей функционирования таких сетей, разработки новых протоколов взаимодействия используемых радиотехнологий, разработки методов доступа к ресурсам сети, методов распределения ресурсов сети и методов анализа качества предоставления услуг в такой сети. Важной проблемой при взаимодействии устройств является проблема разработки энергоэффективных методов и алгоритмов реализации приложений концепции Интернета вещей.

УТВЕРЖДЕНО
31.10.18
И.И.И.И.

Именно эта комплексная задача решается в диссертации, поэтому тема диссертационного исследования безусловно является **актуальной**.

Содержание работы

Диссертационная работа Кучерявого Е.А. состоит из введения шести глав, заключения, списка используемых терминов, списка литературы и приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цели и задачи исследования, излагается научная новизна, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию гетерогенных сетей и их взаимодействию с облачными структурами сети доступа. Здесь показано, что на перспективу развития гетерогенных сетей требуется разработка новой методологии исследования гетерогенных сетей и новые модели и методы распределения ресурсов. Предлагается новый критерий оптимизации (max-min) распределения ресурсов, учитывающий полосу пропускания мгновенные значения спектральной эффективности. При этом задача оптимизации сводится к задаче линейного программирования. По решению задачи оптимизации разработан метод управления производительностью облачной технологии доступа (H-CRAN) с использованием менеджера кооперативных ресурсов (CRRM). Для проверки эффективности метода управления разработана тестовая среда на базе программно-конфигурируемой сети с использованием протокола OpenFlow. Эксперимент подтвердил преимущества, которые получает облачная сеть доступа при использовании менеджера CRRM.

Во второй главе обсуждаются проблемы перехода к сетям пятого поколения, которые при сверхвысокой плотности распределения устройств по территории и требовании ультрамалых задержек при передаче сообщений должны обеспечить справедливое распределение ресурсов сети. Показано, что методологически целесообразно решать задачу распределения ресурсов для трех типов гетерогенных сетей: тип «макро» с нивелированием интерференции сигналов от конкурирующих линий доступа, тип «D2D», где ресурсы эксклюзивны для выделенной пары устройств и необходим учет интерференции от других соединений, и тип «малая сота», с существенной интерференцией между объектами сети и общим ресурсом на несколько передатчиков. Для решения задачи распределения ресурсов предлагается использовать новый шлюз входа в сеть доступа (AAGW), который позволяет пользовательскому оборудованию использовать доступные радиointерфейсы без применения специальных решений, переводящих их (радиointерфейсы) в функциональность решений 3GPP (партнерский проект 3-го поколения). Здесь

же разработан алгоритм выбора мощности передачи в условиях наличия различных радиотехнологий, работающих одновременно.

В третьей главе рассматриваются кооперативные коммуникации, реализуемые технологией M2M. Исследована трехузловая модель клиентской ретрансляции и возможности её облачной реализации при обеспечении приемлемого уровня качества обслуживания. Разработаны модель и метод облачной клиентской ретрансляции для устройств M2M, расположенных на границе соты, что увеличивает производительность системы при уменьшении задержки пакетов.

Четвертая глава посвящена разработке и анализу моделей распределения ресурсов при передаче трафика по технологии D2D с сетевой поддержкой. Показано, что сетевая поддержка технологии D2D существенно расширяет возможности данной технологии. Определены количественные соотношения между пространственной плотностью и интерференционным расстоянием между устройствами D2D, получены зависимости среднего значения и дисперсии отношения сигнал/интерференция (SIR) от расстояния до интерферирующего передатчика. Предложено «внедрение» технологии D2D в архитектуру сети по 3GPP путем дополнения пакетного ядра сети (EPC) сервером D2D, что позволяет просто позиционировать пользовательское оборудование через центр определения местоположения (SM-LC), а также взаимодействовать с серверами приложений. Разработана модель и метод выгрузки трафика от абонентов D2D через технологию WiFi Direct, что повышает пропускную способность и энергоэффективность соты. Натурным экспериментом на модельной сети Университета Брно (BUT) в Чехии подтверждены теоретические результаты по эффективности предлагаемой архитектуры ядра сети.

В пятой главе рассматривается модель и метод распределения ресурсов гетерогенной сети LTE при передаче данных малого размера для Интернета вещей по протоколу IEEE 802.11ah. Разработана математическая модель протокола IEEE 802.11ah, позволяющая с применением марковских моделей функционирования кластера устройств M2M определить пропускную способность канала и энергетические затраты на передачу коротких сообщений. Разработана модифицированная процедура (COBALT) доступа устройств M2M к ресурсам сети LTE, позволяющая уменьшить задержку пакетов по сравнению с доступом по физическому управляющему каналу (PUCCH) и по сравнению со случайным доступом на физическом уровне (PRACH) практически для всех видов трафика.

Шестая глава посвящена разработке моделей и методов распределения ресурсов в гетерогенных сетях дальнего радиуса действия для приложений

узкополосного Интернета вещей (NB-IoT). При этом на основе марковских моделей трафика рассчитаны вероятностно-временные характеристики обслуживания, такие как вероятность потери сообщения и средняя задержка сообщения. Разработана модель и метод доставки данных от M2M устройств в гетерогенной сети NB-IoT при использовании клиентской ретрансляции. Рассчитаны энергозатраты передающих узлов.

Научная новизна и теоретическая значимость полученных результатов

Автором диссертационного исследования получены следующие **основные** новые научные результаты:

- Для справедливого распределения ресурсов гетерогенных сетей предложен критерий оптимизации (max-min), базирующийся на учете доступной полосы пропускания и мгновенных значений спектральной эффективности устройств в сети.
- Предложен метод управления производительностью гетерогенных радиотехнологий доступа, основанный на использовании облачных технологий, позволяющий посредством менеджера кооперативных ресурсов реализовать управление в реальном масштабе времени.
- Для реализации взаимодействия радиотехнологий по рекомендациям 3GPP и IEEE предложен шлюз входа в сеть доступа, который позволяет пользовательскому оборудованию использовать доступные радиointерфейсы без применения операторской магистральной сети и Интернета.
- Для устройств M2M разработаны модель и метод доступа устройств к ресурсам технологии LTE. Разработан метод облачной клиентской ретрансляции, учитывающий особенности трафика устройств M2M со слабой энергетикой.
- Разработаны модель и метод распределения ресурсов для реализации технологии D2D в гетерогенных сетях на основе новой технологии сетевой поддержки, базирующейся на возможностях специального «сервера D2D», помещенного в пакетное ядро сети.
- Разработаны теоретические основы взаимодействия технологии M2M с сетью узкополосного Интернета (NB-IoT) при использовании возможностей клиентской ретрансляции.

Практическая ценность полученных результатов

Практическая ценность полученных результатов определяется задачами, решаемыми в диссертации. Ориентируясь на то, что поставленные задачи решены в полном объёме, можно практическую ценность результатов сформулировать в следующем виде.

На основе разработанных методов и алгоритмов оптимизации распределения ресурсов в гетерогенных сетях предложены конкретные варианты практического использования теоретических результатов. В частности:

- метод управления производительностью облачной технологии доступа (H-CRAN) с использованием менеджера кооперативных ресурсов (CRRM),
- новое архитектурное решение для гетерогенных сетей с использованием технологий WLAN, не требующее доступа ни в операторскую магистральную сеть ни в Интернет,
- рекомендации по совместному использованию в гетерогенных сетях технологий D2D и WiFi Direct,
- рекомендации по совместному использованию технологий M2M и NB-IoT,
- метод доставки данных от M2M устройств в сеть LTE.

Степень обоснованности и достоверности полученных результатов

Обоснованность и достоверность результатов проведенных исследований подтверждается адекватностью выбранных математических моделей, корректным анализом этих моделей, проверкой сделанных предположений и допущений методами статистического имитационного моделирования, реализованного системой WINTERsim, одним из авторов которой является диссертант, и пакетом OMNet++. Достоверность результатов весома подтверждается результатами эксперимента, проведенного на модельной сети Университета Брно (BUT) в Чехии. Кроме того, обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждается публикациями автора в ведущих отечественных и зарубежных (большой частью) изданиях и результатами их обсуждения на многочисленных отечественных и международных конференциях, симпозиумах, семинарах, а также реализацией ряда положений диссертации на практике.

Замечания по содержанию диссертации

1. Верификация предположений, положенных в основу создания моделей функционирования гетерогенной сети осуществляется в диссертации статистическим моделированием в системе WINTERsim, алгоритмы функционирования которой регламентированы рекомендациями ITU-R. К сожалению, в диссертации не указывается (хотя бы конспективно) как применительно к рассматриваемым радиоканалам (вид модуляции и кодирования, характер многолучевости, помехи и собственно интерференция сигналов) моделируются быстрые и медленные замирания (см., например, стр.49), как устанавливается необходимый объем выборки для однозначной интерпретации результатов моделирования, как результаты, полученные на физическом и канальном уровнях, интерпретируются на прикладном уровне?
2. Гетерогенные сети предназначены для обслуживания не только статичных, но и мобильных абонентов (и устройств). Движение абонента меняет характер трафика, характер замираний и интерференции сигналов. Возможна ли простая доработка моделей и методов решения оптимизационных задач и изменение архитектурных решений при учете мобильности абонентов?
3. Поставленная на стр.81 задача сфокусировать усилия на достижение важнейших целей при создании сетей 5G – ультранизкая задержка, высокая скорость передачи и быстрая адаптация сети к изменяющимся условиям функционирования, вряд ли может быть успешно решена в силу вышеобозначенных свойств радиointерфейса.
4. В главе 1 на стр. 66 говорится о том, что при включении в набор параметров, определяющих экстремум целевой функции в задаче оптимизации, параметра SINR (отношение сигнал/интерференция + шум) приведёт к резкому усложнению постановки задачи и к использованию в итоге методов выпуклого программирования. При этом уменьшения сложности можно достичь с помощью *аппроксимации точных уравнений интерференции*. Данное утверждение требует объясняющего комментария.
5. Не пояснено происхождение кривых на рис.2.10 (формулы?, алгоритмы?).
6. Для борьбы с замираниями в радиосвязи используется пространственное разнесение приемных антенн, но не передающих (стр.143), причем сигналы в антеннах на приеме должны быть независимы (или хотя бы некоррелированы).

7. Формулы раздела 3.2.2. прокомментированы недостаточно и не пронумерованы. Откуда, к примеру, взялась формула для средней длины очереди q_d . Вывода формулы нет, есть объяснение, что так можно, но без ссылок.
8. Для улучшения производительности каналов D2D (стр.191) интерференцию сигналов лучше не подавлять, а использовать, причем с применением оптимальных методов обработки сигналов, что, конечно, потребует дополнительного вычислительного ресурса.

Общее заключение по диссертации

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Кучерявого Е.А. Она представляет собой законченную научную работу **прорывного характера**, в которой на высоком теоретическом уровне решена актуальная проблема разработки и исследования комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи. Изложенные в диссертации научные результаты Кучерявого Е.А. получили высокую оценку специалистов и в России, и за рубежом, вследствие чего автор завоевал заслуженный авторитет.

Основные результаты исследования в достаточно полном объеме отражены в публикациях автора как в России, так и за рубежом (3 монографии, 12 публикаций в журналах из Перечня ВАК, 63 публикации, индексируемые в наукометрических базах Scopus и Web of Science) и прошли апробацию на многочисленных международных и всероссийских научных конференциях. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертация Кучерявого Евгения Андреевича «Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи» полностью соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», п.9 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 N 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а ее автор, Кучерявый Евгений Андреевич, заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук по этой специальности.

Официальный оппонент, заведующий кафедрой Информационной безопасности ФГБОУ ВО ПГУТИ Карташевский В.Г. 31 октября 2018 г.

Сведения об оппоненте:

Карташевский Вячеслав Григорьевич, гражданин Российской Федерации, Заслуженный работник связи РФ, доктор технических наук по специальности 05.12.02 – «Системы и устройства передачи информации по каналам связи» (1995г.), профессор по кафедре «Автоматической электросвязи» (1997г.), заведующий кафедрой Информационной безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики». Адрес: ул. Льва Толстого, д. 23, Самара, 443010.

Телефон: (927) 794-12-48, E-mail: kartash@psati.ru

д.т.н., профессор

Карташевский В.Г.

Подпись Карташевского В.Г. заверяю

Ученый секретарь с



к.э.н, доцент

Витевская О.В.