УТВЕРЖДАЮ

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

Д.А.Новиков

___ ноября 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН) - на диссертационную работу Тонких Евгения Викторовича на тему «Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности», 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 кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертационной работы

Происходящие в настоящее время принципиальные изменения в понимании развития сетей связи на основе технологий сетей пятого и последующих поколений требуют проведения масштабных исследований и разработок в области высокоплотных сетей и сетей связи с ультра малыми задержками. Именно эти два направления развития сетей связи определяют, в основном, характеристики и возможности сетей связи пятого и последующих поколений. Диссертационная работа посвящена проблемам планирования высокоплотных сетей как раз потому, что существующие методы планирования сетей связи не могут быть эффективно использованы для планирования высокоплотных сетей, поскольку разрабатывались для других характеристик

плотности сетей, а не для 1 млн устройств на 1 кв. км, как это требуется в настоящее время. Исходя из сказанного, тема представленной диссертационной работы "Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности " является, несомненно, актуальной.

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

Диссертационная работы изложена на 139 страницах и включает введение, 4 главы, заключение, приложение и список литературы, состоящий из 124 источников.

Научная новизна диссертационной работы проявляется уже непосредственно в самом названии. Действительно, высокоплотные сети являются одной из двух основных характеристик, на которых в настоящее время основано все развитие сетей связи пятого и последующих поколений. Другую характеристику представляют сети связи с ультра малыми задержками. Высокоплотные сети названы так потому, что плотность узлов сети, при которой должны выполняться требования по качеству обслуживания и качеству восприятия составляет 1млн устройств на 1 кв. км. Здесь, естественно, вступает в силу закон о переходе количества в качество. Никогда еще в процессе эволюционного развития сетей связи наука не сталкивалась с такой характеристикой плотности узлов сети, что потребовало иного подхода к планированию сетей связи высокой плотности и необходимости учета характеристик пространства окружения самой сети.

Автор диссертации начинает исследование проблем планирования сетей связи высокой плотности с разработки метода планирования для однородного пространства окружения. Разработанный автором метод планирования полносвязной сети Ad Hoc высокой плотности до 1млн устройств на один $1м^2$ в условиях однородной структуры пространства окружения отличается от известных тем, что в качестве модели сети используется модель, включающая область сигналов и область помех, а радиус связи устройства составляет 10м. При этом полная связность сети доказана на основе теоремы Эрдеша-Реньи. Сам

по себе неплохой результат одновременно открывает новый взгляд на планирование сети высокой плотности, а именно: если перейти к кластеризации такой сети, необходимым становится использование для кластеризации естественных препятствий на пути распространения сигналов.

Отсюда и естественный переход к исследованиям неоднородного пространства окружения высокоплотной сети, где автор получает основные новые результаты и выносимые на защиту положения. Автор предлагает метод планирования сети связи высокой плотности, учитывающий самоподобную структуру неоднородного пространства окружения сети путем использования геометрических фракталов. При этом для планирования высокоплотной сети в диссертации использована кривая Гильберта, что позволяет с достаточной для практики степенью точности учесть неоднородность пространства окружения планируемой сети.

Важно отметить, что в отличие от известных методов планирования сетей связи для планирования сети высокой плотности при использовании кривой Гильберта предложено ввести параметр условной ширины кривой, что позволяет оценивать площадь, занимаемую строениями, стенами и иными элементами пространства окружения планируемой сети связи высокой плотности. Сравнение результатов имитационного моделирования высокоплотных сетей для метода планирования сети с использованием фрактальной кривой Гильберта, учитывающего неоднородную структуру пространства окружения сети, доказало, что для этого метода требуется более, чем в два раза меньшее число транзитов при маршрутизации сообщений по сравнению с методом планирования сети, предполагающим однородную структуру пространства окружения. Именно этот результат доказывает, что в планировании сетей связи высокой плотности в отличие от предыдущих этапов развития сетей связи высокоэффективным становится использование фрактальной геометрии. Попутно автор получает оценки фрактальной размерности методом Миньковского для различных фрактальных фигур для представления

пространства окружения высокоплотной сети, в том числе для салфеток Серпинского, ковра Серпинского, кривой Гильберта.

В заключительной четвертой главе диссертационной работы разработана методика планирования высокоплотной сети связи для выбора фрактальной фигуры при планировании и проектировании высокоплотной сети в условиях неоднородного пространства окружения, основанная на близости параметров фрактальной размерности, модифицированной информационной размерности и доли площади, занимаемой в площади пространства окружения сети иными элементами этого пространства. Методика реализована в виде алгоритма выбора фрактальной фигуры.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в самом предмете исследования - методах планирования высокоплотных сетей, которые отличаются от методов планирования существующих сетей. При разработке и исследовании методов планирования сетей связи высокой плотности с учетом самоподобных характеристик неоднородного пространства окружения сети автор использовал геометрические фракталы, что существенно обогатило знания о структуре и характеристиках сетей связи. Разработка метода планирования сети высокой плотности на основе применения кривой Гильберта для представления характеристик неоднородного пространства окружения планируемой сети доказала высокую эффективность такого подхода, позволив уменьшить число транзитных участков при маршрутизации сообщений более, чем в два раза по сравнению с планированием сети для однородного пространства.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в создании методики планирования и проектирования сети связи высокой плотности на основе выбора фрактальной фигуры в условиях неоднородного пространства окружения, базирующейся на близости параметров фрактальной размерности, модифицированной информационной размерности и доли площади, занимаемой в площади пространства окружения сети строениями, стенами и иными элементами этого пространства. Методика реализована в виде алгоритма выбора фрактальной фигуры.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в ФГУП НИИР: при выполнении государственных контрактов по научно-техническому и методическому обеспечению выполнения Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций функций Администрации связи РФ в Секторе стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи при разработке стандартов для сетей IMT-2020; ПАО "ГИПРОСВЯЗЬ" при разработке "Методики планирования сети связи высокой плотности на основе использования фрактальных фигур" и в Санкт-Петербургском Государственном Университете Телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам "Интернет Вещей и самоорганизующиеся сети" и "Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций".

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, 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 моделирования с использованием пакетов Mathcad, обсуждением результатов диссертационной работы на конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

Полнота опубликования и апробация результатов исследования

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 3 статья в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных SCOPUS и WoS (одна в Q1, еще одна в Q2), 1 статья в журналах, включенных в РИНЦ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях и семинарах: секции «Информационные технологии как средство повышения качества жизни населения», доклад на Форуме «Интернет + Город», организованном Институтом Развития Интернета, при поддержке Минкомсвязи России, ПАО «Ростелеком» и ФРИИ, РИА Новости (Москва, 6 октября 2016), Региональном семинаре МСЭ для стран Европы и СНГ «Внедрение 5G в Европе и СНГ: стратегии и политика, стимулирующие новые возможности роста», 3-5 июля 2018 года, г. Будапешт, Венгрия, Конференции IEEE Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2020, Москва, 19–20 марта 2020 года, конференции NEW2AN 2020 Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems, август 2020, С.- Петербург, 9-ой и 10-ой Международных научно-технических и научно-методических конференциях “Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании” АПИНО 2020 и 2021,СПб ГУТ, заседаниях 11,13 и 20 Исследовательских комиссий МСЭ-Т в 2020 и 2021 годах, семинарах кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича.

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. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Недостатки работы

1. Стр.69. Поскольку рассматриваются вопросы надежности, следовало бы привести требования, например, по коэффициенту готовности для сетей связи высокой плотности.
2. Стр.74. Требуются дополнительные обоснования по разделению на области помех и сигналов.
3. Стр.89-91. При исследовании агрегированных структур остается неясным, каким образом следует выбирать площадь квадратной ячейки.
4. По тексту имеются опечатки и стилистические неточности, например, на стр. 70,79,86.

Заключение

Отмеченные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы Тонких Евгения Викторовича. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача разработки методов планирования сетей связи высокой плотности, имеющая значение для отрасли связи и специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты широко 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 паспорта 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 Тонких Евгения Викторовича «Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности» 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 кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Тонких Евгений Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Доклад автора по диссертации «Разработка и исследование методов планирования сетей связи высокой плотности» заслушан и настоящий отзыв принят на заседании расширенного научного семинара лаборатории № 69 «Управление сетевыми системами» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН 25 октября 2021 года, протокол № 24.

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

[redacted] Вишневский Владимир Миронович

08 ноября 2021 года

Подпись Вишневского В.М.
ЗАВЕРЯЮ
ВЕД. ИНЖЕНЕР
СОБОКИНЕНОВА

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