

УТВЕРЖДАЮ

директор Федерального

государственного бюджетного

учреждения науки Института проблем

управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук

академик РАН



Д.А. Новиков

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Мутханны Аммара Салеха Али «Разработка и исследование комплекса моделей и методов интеграции граничных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций в диссертационном совете Д 55.2.004.01 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича»

Актуальность темы диссертационной работы.

Сети связи в настоящее время являются одним из основных направлений развития цифровой экономики государства в целом, поскольку определяют уровень развития информационно-коммуникационных технологий. При этом общепризнанно, что ключевым направлением развития сетей связи является построение сетей связи пятого и шестого поколений. Это построение базируется на двух основных концепциях – Интернета Вещей и Тактильного Интернета. Первая из них привела к появлению высокоплотных и сверхплотных сетей, а вторая – сетей связи с ультрамалыми задержками. Для эффективного построения таких сетей потребовалось создать множество принципиально новых решений, в числе которых одно из важнейших мест занимают граничные вычисления в том числе и их разновидность – туманные

вычисления. Поэтому научная проблема интеграции граничных и/или туманных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений, а, соответственно, и тема диссертационной работы Аммара Салеха Али Мутханны актуальны.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Теоретическая и практическая ценность диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Работа содержит 393 страниц машинописного текста, 75 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 366 наименований.

Научная новизна диссертационной работы хорошо видна уже из самого названия. Разработка и исследование комплекса моделей и методов интеграции граничных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений исключительно востребованы в настоящее время мировым сообществом, что подтверждается большим числом работ автора в ведущих российских и зарубежных журналах.

Автор концентрирует внимание на проблемах новых технологий для создания сетей связи пятого и шестого поколений на основе концепции интегрированных сетей SAGSIN (Space-Air-Ground-Sea Integrated Networks). При этом автору удастся убедительно доказать, что создание таких сетей не может быть эффективным без широкого использования граничных и туманных вычислений. Анализ этих направлений исследований и формулировке целей и задач диссертационной работы посвящена первая глава диссертации.

Во второй главе предложено совместно использовать кластеризацию сети и метаэвристический хаотический алгоритм «роя сальп» для интегрального решения проблемы размещения контроллеров на базе кластеризации мультиконтроллерной сети и балансировки нагрузки. При этом для решения научной задачи интеграции размещения контроллеров в мультиконтроллерных сетях и балансировки нагрузки предложено использовать в отличие от известных решений иерархическую кластеризацию мультиконтроллерной сети, включающую в себя кластеры с головными узлами и централизованный

контроллер. Именно такой подход позволяет добиться балансировки нагрузки для разработанного метода построения сети. Задача размещения контроллеров в такой мультиконтроллерной сети решена на основе разработанного в главе модифицированного алгоритма хаотического роя сальп для использования в иерархических кластерных сетях clus-CSSA, что позволило уменьшить долю отказов в обслуживании со стороны контроллера и увеличить общее использование системы во всем диапазоне изменения задержки от 1мс до 10мс по сравнению как с широко известными метаэвристическими алгоритмами роя частиц PSO (Particle Swarm Optimization) и серого волка GWO (Grey Wolf Optimization), так и с предыдущей версией хаотического алгоритма роя сальп CSSA (Chaotic Salp Swarm Algorithm). При этом для наиболее сложного случая задержки величиной в 1мс выигрыш по доле отказов и по общему использованию системы достигает значения более, чем в 2 раза.

В третьей главе автор исследует проблемы интеграции граничных вычислений в структуру сети «воздух-земля» для сетей Интернета Вещей высокой и сверхвысокой плотности. Эти проблемы являются наиболее актуальными сегодня в связи с появлением концепции интегрированных сетей космос-воздух-земля-море. В главе разработаны модель сети, отличающаяся от известных тем, что предложено для уменьшения задержки и энергопотребления в такой сети использовать мобильные серверы граничных вычислений на БПЛА и метод выгрузки трафика с наземной сети на мобильные серверы граничных вычислений на БПЛА. Указанный подход отличается от известных тем, что процедура выгрузки трафика является трехуровневой, причем на конечных устройствах используется программный профилировщик, который определяет сложность вычисляемой задач и по результатам его работы механизм принятия решения определяет необходимость выгрузки трафика. Разработанные модель и метод интеграции граничных вычислений в структуру сети «воздух-земля» для сетей Интернета Вещей высокой и сверхвысокой плотности обеспечивают уменьшение задержки до более, чем в 2 раза по сравнению с сетью без использования технологий граничных вычислений и на

30-40 % по сравнению с сетью с использованием только наземных граничных вычислений. Кроме того, обеспечивается уменьшение энергопотребления до более, чем в 2 раза по сравнению с сетью без использования технологий граничных вычислений, а также уменьшение доли заблокированных задач по выгрузке трафика в десятки раз по сравнению с сетью без использования технологий граничных вычислений и в разы по сравнению с сетью с использованием только наземных граничных вычислений.

В четвертой главе диссертационной работы предложен новый метод построения сети с использованием технологий MEC, SDN и D2D для поддержки приложений беспилотных автомобилей. Разработанная архитектура направлена на преодоление двух основных проблем автомобильных сетей – высокой плотности трафика и наличия непокрытых зон в автомобильной сети связи. При этом, разработан также алгоритм кластеризации на основе взаимодействий D2D для транспортных средств в непокрытых зонах и для выгрузки трафика сети в регионах с интенсивным движением. Разработанная архитектура позволяет увеличить производительность системы на 74 % в терминах вероятности блокировки задач.

Пятая глава диссертационной работы посвящена разработке метода размещения SDN-контроллеров в мультиконтроллерных сетях, отличающийся тем, что контроллеры могут располагаться на мобильных узлах сетей VANET, например, автобусах, для обеспечения связи в плотных и сверхплотных сетях 6G и взаимодействия с туманной вычислительной средой устройств сети. Этот неожиданный по своей сути метод позволяет уменьшить задержку на 60 % по сравнению с традиционными моделями граничных вычислений на базе SDN.

В шестой главе разработан метод прогнозирования трафика на основе CNN – LTP-CNN, который предсказывает трафик сети IoT на базе состояния сети за предыдущий интервал времени. При этом алгоритм прогнозирования реализован на туманных узлах, которые представляют собой основную часть сетей IoT/5G. Разработанный метод LTP-CNN может прогнозировать трафик сети IoT с точностью около 90 %.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в разработке и исследовании комплекса моделей и методов интеграции граничных и/или туманных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений для глобального фрагмента Воздух-Земля концепции SAGSIN. Это закладывает основы для перехода сетей связи общего пользования в среднесрочной перспективе к интегрированным сетям. Важным результатом, имеющим существенную теоретическую ценность, является разработанный метод построения мультиконтроллерной сети, основанный на интегральном решении задач по размещению контроллеров в мультиконтроллерных сетях, базирующийся на метаэвристическом алгоритме вследствие сложности и решаемых задач, и алгоритме балансировки нагрузки. Самостоятельную научную ценность имеет также метод размещения SDN-контроллеров на мобильных узлах сетей VANET, например, автобусах, для обеспечения связи в плотных и сверхплотных сетях 6G и взаимодействия с туманной средой устройств сети.

Практическая ценность работы состоит в создании научно-обоснованных рекомендаций по интеграции граничных и/или туманных вычислений в современных сетях связи с учетом массового внедрения новых услуг связи, включая услуги телеприсутствия, что реализуется как в методиках планирования сетей связи ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», так и в международных стандартах (рекомендациях) Сектора стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены: в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ» при разработке методик планировании сетей связи пятого поколения; в Секторе стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи при по разработке стандартов (вкладов); в ФГУП НИИР при выполнении государственных контрактов; в РУДН при создании научного центра моделирования беспроводных сетей 5G; в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при проведении работ по Мегагранту «Исследование сетевых

технологий с ультра малой задержкой и сверхвысокой плотностью на основе широкого применения искусственного интеллекта для сетей 6G» по соглашению № 075-15-2022-1137 с Министерством науки и высшего образования РФ; в Уфимском университете науки и технологий при чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ.

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 ФГБУ 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 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, результатами натурного и имитационного моделирования, а также широким спектром публикаций и выступлений как на российских, так и на международных научных конференциях.

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 изложены в 137 опубликованных работах, в том числе в 24 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 87 работах в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 2 результатах интеллектуальной деятельности; 6 отчетах о НИР; 18 работах в других научных изданиях и материалах конференций. 7 работ опубликовано без соавторов.

Основные положения диссертационной работы обсуждались и были одобрены на следующих конгрессах, конференциях и семинарах: Международной конференции по проводным и беспроводным сетям и системам следующего поколения NEW2AN (Санкт-Петербург, 2015–2020); Международной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» DCCN (Москва, 2017–2021); Международной научнотехнической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО (Санкт-Петербург, 2019– 2022); Региональной научно-методической конференции магистрантов и их 11 руководителей «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики» ПКМ (Санкт-Петербург, 2022); Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Дню радио (Санкт-Петербург, 2017, 2021); 4-й Международной конференции по сетям будущего и распределенным системам ICFNDS (Санкт-Петербург, 2017–2020); Международном конгрессе ультрасовременных телекоммуникаций и систем управления (ICUMT, 2018–2021), IEEE Конференции молодых ученых России в области электротехники и электронной техники (ElConRus 2017), IEEE Международной конференции по электротехнике и фотонике (EexPolytech 2019), 4-я Международной конференции МЕС по большим данным и умному городу (ICBDSC 2019), XXII

Международной конференции по программным вычислениям и измерениям (SCM 2019)), Международном симпозиуме по потребительским технологиям (ISCT 2018), 20-й международной конференции по передовым коммуникационным технологиям (ICACT, 2018). IEEE конференции Системы синхронизации, генерации и обработки сигналов в телекоммуникациях (SINKHROINFO 2017), 18-ой конференции Ассоциации «Открытые инновации» и семинару по информационной безопасности и защите информационных технологий (FRUCT-ISPIT 2016), 38-ой Международной конференции по телекоммуникациям и обработке сигналов (TSP 2015), 15-ой Международной конференции «Проводные/беспроводные интернет-коммуникации» IFIP WG (WWIC 2017). 14-ой международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» ПТСПИ (Владимир, 2021), Молодежной научной школе по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017). Были сделаны доклады на пленарных заседаниях следующих конференций: Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО (Санкт-Петербург 2022), Международной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» DCCN (Москва 2022) и 5-ой Международной школе прикладной теории вероятностей, Коммуникационные технологии и наука о данных (АРТСТ-2020).

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.

Замечания по диссертационной работе

1. Хороший фундаментальный анализ развития сетей связи в главе 1 несколько отягощен перспективными значениями задержки и скорости мобильных устройств в таблице 1.3.2 на страницах 39-40. Если уже сейчас при круговой задержке величиной в 1мс ограничения по предоставлению услуг Тактильного Интернета составляют 50км, то неясно, о каких сетевых услугах может идти речь при задержках в 0,1мс и, соответственно, расстояниях в 5км. Это же относится и к скорости транспортного средства в 1000 км/час.

2. Стр.129-130. При анализе функционирования кластерной мультиконтроллерной сети SDN и ее архитектуры на рис.2.3.1 отмечается, что назначение бета-контроллера осуществляется альфа-контроллером после того, как нагрузка между кластерами станет несбалансированной. Хотелось бы видеть при этом критерий несбалансированности, а также то, почему не используются известные ранее наработки по кластеризации беспроводных сенсорных сетей, при исследовательских работах по которым были разработаны методы, основанные на разбиении жизненного цикла сети на постоянные по времени раунды. Последнее, возможно, помогло бы уменьшить время нахождения системы в режиме несбалансированности нагрузки.

3. На стр. 307-308 приведена классификация программно-конфигурируемых сетей SDN, в которой одним из вариантов является SDN-сеть на основе туманных вычислений – SDN централизованной топологии с распределенными граничными контроллерами SDN, интегрированными в туманные узлы. Требуются пояснения к такой реализации, поскольку непонятно, есть ли SDN в такой структуре и, если есть, то, где они расположены на сети.

4. По тексту диссертации имеются опечатки и стилистические неточности в ограниченном объеме.

Заключение

Замечания не повлияют на общую положительную оценку диссертационной работы Мутханны Аммара Салеха Али. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема разработки и исследования комплекса моделей и методов интеграции граничных и/или туманных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений для глобального фрагмента Воздух-Земля концепции SAGSIN, 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 научных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 18 специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты. Диссертационная работа Мутханны Аммара Салеха Али «Разработка и исследование комплекса моделей и методов интеграции граничных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 18.03.2023 года), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Мутханна Аммар Салех Али заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Диссертация и автореферат Мутханны Аммара Салеха Али на тему «Разработка и исследование комплекса моделей и методов интеграции граничных вычислений в сетях связи пятого и шестого поколений» заслушаны и обсуждены на заседании расширенного научного семинара лаборатории № 69

«Управление сетевыми системами» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН 20 ноября 2023 года, протокол № 21.

Зав. лабораторией № 69

«Управление сетевыми системами»,

д.т.н., проф.

A blue ink signature is written over a large orange rectangular redaction box.

В.М. Вишнеvский

27 ноября 2023 года

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук (ИПУ РАН)

Адрес: 117997, г. Москва, Профсоюзная ул. 65,

Сайт: www.ipu.ru

Телефон: +7 495 334-89-10

Факс: +7 495 334-93-40, +7 499 234-64-26

Email: dan@ipu.ru