

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

Кучерявого Андрея Евгеньевича

на диссертацию Воробьевой Дарья Михайловны «Разработка и исследование кластеризации сетей Интернета Вещей, туманных вычислений и голографических коммуникаций», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

В современном мире инфокоммуникационные технологии стали не просто инструментом коммуникации, а фундаментальной инфраструктурой, определяющей развитие экономики, науки и повседневной жизни. Расширяется состав услуг, предоставляемых пользователям, возрастает число «умных» устройств, для которых увеличиваются объемы данных, передаваемых сетью, ужесточаются требования к времени доставки данных. От стабильной работы сетей связи зависит функционирование «умных» городов, промышленной автоматизации, систем беспилотного транспорта и глобальных информационных платформ. За каждой простой, для современного общества, услуги: видеозвонок, онлайн-платеж или передача данных с одного устройства на другое — стоит сложная, многоуровневая система, построенная на принципах, которые разрабатывались десятилетиями.

На сегодняшний день, согласно данным мировых статистических порталов, общее количество подключенных «умных» устройств (датчики, счетчики, камеры, бытовая техника и др., подключенные к сети интернет) в мире превышает 20 миллиардов. А в соответствии с рекомендациями Сектора стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи, 3GPP требуется создание сетей, которые содержат в среднем 1 млн устройств на кв. км и обеспечивают задержку доставки данных для самых срочных услуг не более 1 мс. Удовлетворение этих требований невозможно без внедрения новых аппаратно-программных решений и изменения архитектуры сетей, что и обуславливает высокую актуальность настоящего исследования.

В диссертационной работе предложены и обоснованы новые системные решения для перспективных сетей связи. Разработаны и исследованы модели и методы с

использованием алгоритма кластеризации DBSCAN, позволяющие увеличить число обслуживаемых узлов с помощью подвижного головного узла кластера для неоднородных сетей интернета вещей, сформировать кластеры в сетях туманных вычислений, размесить облачные агенты для обеспечения требований по качеству обслуживания услуги голографической видеоконференцсвязи и использования алгоритма DBSCAN.

Таким образом, решение задач, связанных с построением архитектур сетей связи будущего, повышению их эффективности и стабильности, а также обеспечению требуемого качества обслуживания с учетом появляющихся новых услуг невозможно решить без использования кластеризации сети.

Именно использование алгоритмов кластеризации сети, в частности DBSCAN, позволяет перейти от статического управления сетью к адаптивному, учитывающему динамику нагрузки, пространственное распределение узлов, что особенно критично для сетей интернета вещей и систем реального времени. Это и определяет научную и практическую значимость настоящего исследования. С учетом изложенного, тема диссертации Воробьевой Дарьи Михайловны является актуальной.

Научная новизна результатов, полученных в работе, состоит в следующем:

1. Разработаны и исследованы модель и метод для неоднородной сети интернета вещей, отличающиеся от известных тем, что неоднородная сеть интернета вещей представляет собой сеть с мультимодальным распределением узлов сети, а сбор данных с узлов интернета вещей осуществляется с помощью подвижных головных узлов кластеров, кластеризация при этом осуществляется на основе алгоритма DBSCAN, что в совокупности позволяет обеспечить прирост числа узлов, обслуживаемых подвижным головным узлом на 20% для реальных значений неоднородности сети.

2. Разработан и исследован метод формирования кластеров в сетях туманных вычислений, отличающийся от известных тем, что для кластеризации используется алгоритм DBSCAN с последующим перераспределением некластеризованных узлов с помощью динамического программирования, что позволяет уменьшить долю потерянных заявок на величину до 27%.

3. Разработаны и исследованы модель и метод размещения облачных агентов для обеспечения требований по качеству обслуживания услуги голографической видеоконференцсвязи, отличающиеся от известных модели и метода квазислучайного

выбора размещения облачных агентов тем, что для кластеризации используется алгоритм DBSCAN, а для последующего перераспределения некластеризованных пользователей по кластерам - метод k-кратного выбора центра графа CDSh, что позволяет уменьшить задержку на величину до 37%.

Теоретическая значимость исследования состоит в расширении области знаний для сетей интернета вещей за счет комплексного использования подвижных головных узлов и алгоритма кластеризации DBSCAN для неоднородных сетей интернета вещей с мультимодальным распределением узлов сети, для кластеризации в сетях туманных вычислений с использованием для этой цели алгоритма DBSCAN и последующего перераспределения некластеризованных узлов с помощью метода динамического программирования, а также для обеспечения требований по качеству обслуживания услуги голографической видеоконференцсвязи за счет применения облачных агентов и их размещения с использованием алгоритма DBSCAN с последующим перераспределением некластеризованных пользователей с помощью метода k-кратного выбора графа CDSh.

Практическая значимость работы состоит в использовании предложенных моделей и методов, которые позволяют:

- при планировании неоднородной сети интернета вещей с мультимодальным распределением узлов обеспечить прирост числа обслуженных узлов на 20%,
- при планировании сетей туманных вычислений уменьшить долю потерянных заявок на величину до 27%,
- при планировании сетей связи с предоставлением услуги голографической видеоконференцсвязи уменьшить задержку на величину до 37%.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании и проектировании современных сетей связи, а также в процессе обучения студентов и аспирантов профильных высших учебных заведений. Результаты работы внедрены в учебный процесс в СПбГУТ.

Достоверность, полученных автором в диссертационной работе научных и практических результатов, подтверждается обоснованным выбором предмета и объекта исследований, исходных данных при постановке задач исследования, принятых допущений и ограничений, а также соответствием результатов аналитического и

имитационного моделирования, экспериментальных данных, проведенных лично автором, согласованностью с данными, полученными другими авторами и апробацией результатов на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Всего по теме диссертации опубликовано 10 научных статей, из них: одна работа опубликована в трудах, индексируемых в Scopus, 4 работы опубликованы в рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 5 работ в других изданиях и материалах конференций.

Диссертационная работа Воробьевой Дарьи Михайловны «Разработка и исследование кластеризации сетей Интернета Вещей, туманных вычислений и голографических коммуникаций» является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация соответствует пунктам 1,3,7,8 паспорта специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Научный руководитель,
заведующий кафедры сети связи и передачи данных СПбГУТ,
доктор технических наук, профессор

01 сентября 2026 года

Кучерявый Андрей Евгеньевич

*Юрий
А. З. Кучерявый
Заведующий*

Начальник
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
О. В. ЖЕЛЕЗНИКОВА



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

Юридический адрес: наб. р. Мойки, д. 61, литера А, Санкт-Петербург, 191186

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

Тел.: (812) 3263156, факс (812) 3263159, e-mail: rector@sut.ru, web-сайт: www.sut.ru