

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

Степанова Михаила Сергеевича на диссертацию Марочкиной Анастасии Вячеславовны «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### **1. Актуальность темы диссертации**

Развитие Интернета вещей (ИВ) является одним из определяющих трендов эволюции современной инфокоммуникационной системы. Беспроводные сенсорные сети являются той составляющей ИВ, которая в настоящее время получила наибольшее распространение благодаря относительно малой стоимости и простоте инсталляции. БСС уже получили широкое распространение в различных предметных областях. Развитие технологий построения БСС позволяет расширять области применения и круг решаемых задач, который в настоящее время составляют задачи мониторинга состояния окружающей среды, различных объектов и процессов, а также задачи управления.

Широкое распространение таких сетей приводит к стремительному росту количества устройств, подключенных к сетям связи и росту масштабов самих БСС. Рост количества устройств в ограниченном объеме, приводит к формированию сетей высокой плотности, что усложняет их построение и функционирование. Размещение множества сетевых устройств в пространствах, занимаемых зданиями и сооружениями, во многих случаях требует представления этих сетей не двумерными, а трехмерными моделями, позволяющими учесть их особенности.

Решению именно этих задач и посвящена диссертационная работа Марочкиной А.В. В своей работе автор разрабатывает элементы модельно-методического аппарата, обеспечивающего повышение эффективности решения задач планирования и управления трехмерными сетями ИВ

высокой плотности. Поэтому, полагаю, что тематика работы и решаемые в ней задачи актуальны.

**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность результатов диссертационной работы, научная новизна.**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации четко обоснованы.

Основные результаты и выводы в диссертации являются новыми.

Достоверность полученных автором научных и практических результатов определяется обоснованным выбором исходных данных при постановке частных задач исследования, основных допущений и ограничений, принятых в процессе математического моделирования, соответствием расчетов с результатами экспериментальных исследований, проведенных лично автором, согласованностью с данными, полученными другими авторами и апробацией результатов исследований на Российских и Международных научно-технических конференциях.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на российских и международных научно-технических конференциях, а также опубликованы в периодических научно-технических журналах.

**Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:**

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Разработанные модель и метод кластеризации трехмерной сети Интернета вещей высокой плотности основаны на использовании положений теории фракталов, что обеспечило повышение эффективности решения этой задачи для трехмерных сетей ИВ высокой плотности.

2. Разработанный метод выбора головных узлов кластера основан на близком к оптимальному выборе алгоритма поиска  $k$ -кратного центра графа, который позволяет найти  $k$ -головных узлов, а также позволяет учесть требования к точности решения и вычислительной сложности.

3. В разработанном методе многокритериальной оптимизации маршрута в трехмерной сети Интернета вещей высокой плотности используется Серый реляционный анализ, позволяющий принимать решения при малом объеме статистики, а также позволяет использовать требуемое количество критериев.

### **3. Теоретическая и практическая ценность работы**

Теоретическая значимость работы состоит в расширении модельно-методического аппарата описания трехмерных сетей Интернета вещей высокой плотности. Полученные результаты позволяют:

- модифицировать известные модели точечных процессов, для моделирования сетей интернета вещей высокой плотности в трехмерном пространстве;
- применять элементы теории фракталов при решении задачи кластеризации сетей интернета вещей высокой плотности;
- использовать многокритериальную оптимизацию в задаче выбора головных узлов сети интернета вещей высокой плотности;
- применять метод Серого реляционного анализа при решении задачи маршрутизации трафика в сети интернета вещей высокой плотности.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в работе результаты могут быть положены в основу алгоритмов и протоколов управления сетью высокой плотности, а именно при разработке протоколов кластеризации, выбора головных узлов сети и протоколов маршрутизации.

Полученные результаты использованы в учебном процессе высших учебных заведений при чтении лекций и проведении практических и лабораторных занятий.

Результаты работы внедрены в ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», в ФГБУ НИИР, а также при чтении лекций и проведении лабораторных занятий по в СПб ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

#### **4. Публикации по теме диссертации**

По материалам диссертации соискатель опубликовала 12 публикаций, из них: 4 статьи в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданиях (перечень ВАК при Минобрнауки России), 2 статьи в изданиях, включенных в международные базы цитирования (SCOPUS); 6 статей в других изданиях и материалах конференций.

#### **5. Содержание диссертации**

5.1. Материал диссертации изложен достаточно подробно и доходчиво. Текстовый материал и иллюстрации оформлены аккуратно, в соответствии с требованиями ГОСТ.

Список использованных литературных источников оформлен также в соответствии с требованиями ГОСТ.

5.2. Материал диссертации изложен в логической последовательности, отвечающей требованиям проведения научных исследований, имеет целостность и внутреннее единство содержания.

5.3. Выводы обоснованы и достаточно точно отражают результаты проведенных исследований.

5.4. Диссертация представлена в виде рукописи и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит всего 159 страниц, список литературы из 111 позиций, приложение с актами о внедрении результатов работы, объем работы без приложения и списка литературы составляет 141 страницу.

#### **6. Замечания по диссертационной работе**

6.1 При анализе распространенных алгоритмов кластеризации, страницы 44-48, автор использует ставший де-факто, стандартным набор тестов, применяемый в таких случаях. В контексте решаемых в работе задач, представляли бы интерес примеры, характерные для трехмерных сетей высокой плотности или пояснения к приведенным примерам в части их применимости в таких задачах.

6.2 При разработке метода выбора головных узлов (в третьей главе диссертации) автор приводит анализ известных алгоритмов поиска  $k$ -кратного центра графа. Однако эти алгоритмы, объединяет то, что они требуют вычисления длин всех кратчайших путей, а решение этой задачи может потребовать значительного времени. Автор не поясняет как именно решается эта задача.

6.3 В четвертой главе диссертации автор разрабатывает метод многокритериального выбора маршрута в сети ИВ высокой плотности. Автор пишет о возможности его использования с различными алгоритмами поиска кратчайшего пути, приводя ряд примеров, но не определяет конкретных требований к ним. Следовало бы более четко определить эти требования для понимания применимости того или иного алгоритма.

6.4 Имеют место отдельные недочеты в оформлении работы, например, отсутствуют единицы измерения по осям координат на рисунках 3.20, 4.2, 4.3 и некоторых других; встречаются опечатки в формулах (3.12), (3.13), (4.9) и пояснения к (4.9), отсутствуют надписи в шапке таблицы 3.1, встречаются отдельные опечатки.

## **7. Выводы и заключение**

Диссертационная работа Марочкиной Анастасии Вячеславовны «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа соответствует пунктам п. 2, п. 4, п. 14

паспорта специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

В диссертации решена задача, имеющая существенное значение для отрасли связи, а именно – разработаны модели и методы для построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности.

Диссертация отвечает критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.04.2016 N 335).

Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Несмотря на отмеченные выше замечания, диссертационная работа «Разработка моделей и методов построения трехмерных сетей интернета вещей высокой плотности» оценивается положительно, а ее автор, Марочкина Анастасия Вячеславовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.02.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

« 19 » октября 2023 года

Официальный оппонент,

доцент кафедры «Сети связи и систем коммутации», МТУСИ

кандидат технических наук, доцент

М.С. Степанов

Подпись руки Степанова М.С. заверяю

Учёный секретарь Учёного совета МТУСИ

Т.В. Зотова

Степанов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, доцент кафедры «Сети связи и систем коммутации», Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

технический университет связи и информатики». Адрес: 111024, г.  
Москва, Авиамоторная ул., 8а  
Тел.: (495) 957-77-31  
E-mail: [mtuci@mtuci.ru](mailto:mtuci@mtuci.ru)