ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Кучерявого Евгения Андреевича на диссертацию Фам Ван Дай на тему «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертации

Весьма популярным трендом технологического процесса информатизации мирового общества, является вывод в сеть ставших уже привычными для прогрессивных стран, устройств и приборов, используемых в повседневной жизни. Получаемые при этом новые возможности автоматизации сбора данных или даже удаленного управления устройствами выглядят крайне привлекательными для конечных пользователей. Это и стало главной предпосылкой широкого распространения данного направления во всем мире. Среди формируемых в рамках данного течения инфокоммуникационных структур, можно выделить такие как интернет нановещей, медицинские сети, промышленные, сельскохозяйственные сети, а также многие другие. Все эти высокотехнологичные течения, объединяются в едином понятии, получившем название Интернет вещей (ИВ).

Одно из центральных мест в исследовании инфокоммуникационных процессов между устройствами ИВ, принадлежит энергоэффективным сетям дальнего радиуса действия (LPWAN – Low-Power Wide-Area Network). Однако, построение информационного общества невозможно без интенсивного развития современных сетевых технологий, таких как Интернет вещей, сетей пятого поколения 5G/IMT-2020 и других, использующих в качестве телекоммуникационной основы беспроводные самоорганизующиеся сенсорные сети. Ввиду нетрадиционной архитектуры таких сетей особую актуальность

приобретают вопросы разработки моделей и методов маршрутизаций для энергоэффективных ячеистых сетей дальнего радиуса действия.

Задачи разработки методов и моделей маршрутизации являются одними из наиболее несущих, особенно для энергоэффективных ячеистых сетей дальнего радиуса действия с учетом развития приложений умных городов. Это подтверждает актуальность исследований, выполненных в рамках диссертационной работы Фам В.Д. и важность решаемой научных задачи.

Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы подтверждается корректным использованием математического и имитационного моделирования, соответствием расчетов с результатами экспериментальных исследований. Выводы диссертации обоснованы, рассуждения логичны и подкреплены фактами.

Основные результаты, обладающие научной новизной:

1. Фрагмент энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия представлен в виде системы массового обслуживания, на базе которой была разработана имитационная модель, отличающаяся от известных тем, что используется ячеистая топология с различной связностью. На базе серии компьютерных экспериментов определены пороговые уровни параметров качества обслуживания при различных характеристиках рассматриваемой сети связи.

2. Разработаны методы маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия на основе комплексного показателя канала связи и машинного обучения с подкреплением, отличающиеся от известных тем, что позволяют обеспечить эффективную передачу данных между узлами ячеистой сети и повысить охват зоны покрытия по сравнению с

энергоэффективными ячеистыми сетями дальнего радиуса действия с топологией «звезда», а также уменьшить задержку доставки пакетов при высокой нагрузке за счет самообучения на основе собираемых данных.

3. Разработан метод передачи мультимедийного трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия, отличающийся от известных тем, что позволяет передавать изображения через сеть LoRa с поддержкой ячеистой топологии и поддержкой заданных параметров передаваемых изображений.

Приведенное выше позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая диссертационная работа содержит новые научные результаты.

Теоретическая и практическая ценность работы

Теоретическая значимость заключается в расширении модельно-методического аппарата сетей ячеистой структуры, учитывающего параметры трафика, качества обслуживания и надежности, а также методов маршрутизации и услуги передачи изображения в сетях связи Интернета вещей с ячеистой топологией.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что она может быть использована для организации узкополосных беспроводных сетей связи Интернета вещей с поддержкой ячеистой или многоскачковой топологии, что повысит зону обслуживания без необходимости установки дополнительных базовых станций, а также способствует развитию приложений умных устойчивых городов за счет преимущества узкополосных беспроводных сетей. Результаты диссертационной работы могут быть применены при проектировании сетей связи Интернета вещей в умных городах, а также для сбора данных с устройств Интернета вещей в условиях плотной городской застройки.

Эти результаты могут быть полезны для планирования энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия, а также позволяют осуществить выбор методов маршрутизации как для БСС, так и для сетей пятого поколения 5G/IMT-2020.

Большое значение для процесса обучения имеет разработанная автором имитационная модель на основе фреймворка OMNET++ и inet с дополнительными возможностями изменения исследуемых параметров.

Результаты диссертационной работы используются в СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича при чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ по курсам «Сверхплотные сети» и «Искусственный интеллект в сетях связи».

Содержание работы и публикации по теме

Диссертационная работа содержит введение, четыре основные главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы, включающий 111 наименований на русском и английском языке, и два приложений.

К достоинствам работы следует отнести то, что автором предложен модель энергоэффективных ячеистых сетей дальнего радиуса действия, которая дополняет методы маршрутизации к функционированию существующих энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия.

Более того, разработаны методы маршрутизации на основе оценки комплектного показателя качества соединения и машинного обучения с подкрепления. При этом разработан метод оценки комплектного показателя качества соединения с применением машинного обучения (метод опорных векторов), показывающий высокую точность оценки.

Кроме того, разработан метод передачи мультимедийного трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия.

Как диссертация, так и автореферат написаны качественно и точно, а также аккуратно оформлены. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. По результатам основных разделов даны соответствующие выводы, которые адекватно характеризуют результат, полученные в работе.

Основные результаты диссертации изложены в 19 опубликованных работах, в том числе 3 работы – в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации; 9 работ – в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science; 7 публикаций – в других изданиях и материалах конференций.

Результаты диссертации докладывались и обсуждались как на российских, так и на Международных конференциях: 20th International Conference NEW2AN 2020 and 13th Conference ruSMART 2020 (Санкт-Петербург, 2020); 23st International Conference on Distributed Computer and Communication Networks, DCCN 2020 (Москва, 2020); 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) (Санкт-Петербург, 2020); 22th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2020 (Корея, 2020); на VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Интернет вещей и 5G (INTHITEN 2020)» (Санкт-Петербург, 2020); на 75-й и 76-й конференциях Санкт-Петербургского отделения Общероссийской общественной организации «Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова» (СПб НТОРЭС) (Санкт-Петербург, 2020, 2021), X Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» СПбГУТ (Санкт-Петербург, 2021); 4th International Conference on Future Networks and Distributed Systems (ICFNDS) (Санкт-Петербург, 2020).

Замечания по диссертационной работе

Наряду с перечисленными выше достоинствами следует также отметить имеющиеся в диссертации **замечания**:

1. На странице 91 на рисунке 31 действие имеет условное обозначение $a(t)$, одновременно с этим в пункте 5 описания алгоритма RF-маршрутизации, расположенного рядом с вышеуказанным рисунком, действие обозначается через p.
2. На странице 87, рисунке 29 видно, что, с увеличением количества узлов в сети до 100 единиц, соотношение успешно доставленных пактов предложенного метода к методу, используемом в AODV, значительно выше, чем при 10, 20 и 40 узлам. Автор не объясняет в тексте данный феномен.
3. Для выбора маршрута между узлами ячеистой сети применен метод машинного обучения с подкреплением, однако не рассматриваются другие методы, которые используются в сетях и системах связи.
4. Имитационная модель фрагмента ячеистой сети разработана в пакете Anylogic, однако не описан какой подход был использован при построении модели. Вероятнее всего, автор применил дискретно-событийное моделирование. Целесообразно более подробно обосновать выбор того или иного подхода при построении модели.
5. В главе 4 не обоснован выбор условного уровня качества изображения, который может задаваться от 0 до 63, а выбрано всего три значения (10, 30 и 60).
6. Не обоснован выбор формата JPEG для изображений, передаваемых по сети. Целесообразно было бы сравнить форматы изображений по различным критериям.

Тем не менее, перечисленные замечания по диссертации и автореферату не ставят под сомнения новизну полученных результатов, теоретическую ценность и практическую значимость работы. Поставленная актуальная научная задача решена в диссертации в полном объеме, а цель исследования является достигнутой.

Заключение

Диссертационная работа Фам Ван Дай «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса

действия» является законченной научно-квалификационной работой, а автореферат достаточно емко описывает проведенное исследование и хорошо отражает основное содержание диссертационной работы.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Фам Ван Дай «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» отвечает всем критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Фам Ван Дай заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Профессор МИЭМ НИУ ВШЭ,
Доктор технических наук, доцент

[redacted] Евгений Андреевич Кучерявый

26.10.2021

Организация: Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики".
Почтовый адрес: Покровский бульвар, д. 11, Москва, 109028.
Тел. (495)771-3232. Сайт: www.hse.ru. Email: hse@hse.ru

Подпись заверяю
Специалист по кадрам
делопроизводству
Проколенко А.И.
26.10.2021.

[redacted]