

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24 ноября 2021 г. № 10

О присуждении Фам Ван Дай, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 22 сентября 2021 года, протокол № 7, диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Фам Ван Дай, 30.08.1993 года рождения, с 14 октября 2019 года по настоящее время является аспирантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

В 2019 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

Диссертация выполнена на кафедре программной инженерии и вычислительной техники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Киричек Руслан Валентинович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра программной инженерии и вычислительной техники, заведующий кафедрой.

Оппоненты: 1. Кучерявый Евгений Андреевич, доктор технических наук, доцент, основное место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, профессор; 2. Ковтуненко Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра информатики, доцент кафедры, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Канаевым Андреем Константиновичем, д-ром техн. наук, проф., профессором кафедры "Электрическая связь", утвержденном Бениным Андреем Владимировичем, канд. техн. наук, доц., и.о. первого проректора – проректора по научной работе, указала, что результаты диссертационной работы Фам Ван Дай целесообразно использовать в научно-исследовательских работах ФГУП ЦНИИС, ФГУП НИИР, при

планировании энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия ПАО «Ростekom», ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», а также в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов в области систем и сетей телекоммуникаций в ПГУПС, СПбГУТ, МТУСИ, ПГУТИ, СибГУТИ.

Диссертационная работа Фам Ван Дай «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по обеспечению маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия, что имеет существенное значение при планировании и использовании энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия на сети электросвязи, в том числе на сети связи для приложений умных городов, и оценивается положительно. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Фам Ван Дай «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» соответствует 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 2.215 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 3, в том числе 3 по искомой специальности, а также: 9 работ в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 7 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Общий объем авторского вклада в работы составляет 6,15 печ.л. из общего количества 9,84 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Фам, В.Д. Модель энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия / В.Д. Фам, Д.А. Галлямов, О.И. Ворожейкина, Р.В. Киричек // Электросвязь. – 2020. – № 5. – С. 33–40.

2. Фам, В.Д. Метод передачи изображений в энергоэффективной сети дальнего радиуса действия с ячеистой топологией / В.Д. Фам, В.С. Кисель, Р.В. Киричек, А.О. Овчинников, А.С. Бородин // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2021. – № 1. — С. 2–15.

3. Фам, В.Д. Исследование методов маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях городского масштаба на основе обучения с подкреплением / В.Д. Фам, Р.В. Киричек, А.С. Бородин // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2021. – № 2. – С. 2–15.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

4. Pham, V.D. Analytic Model of a Mesh Topology based on LoRa Technology / R. Kirichek, V. Vishnevsky, V.D. Pham [et al.] // 22nd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). – IEEE, 2020. – P. 251–255.

5. Pham, V.D. Evaluation of routing protocols for mesh LPWAN network / V.D. Pham, D.T. Le, R. Kirichek // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2020, ruSMART 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12525 / O. Galinina, S. Andreev, S. Balandin [et al.] (eds). – Springer, 2020. – P. 255–266.

6. Pham, V.D. Applying the Concept of Software-Defined Networking in Wireless Mesh Network / E. Kuznetsova, Y. Avakyan, V.D. Pham [et al.] // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. NEW2AN 2020, ruSMART 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12526 / O. Galinina, S. Andreev, S. Balandin [et al.] (eds). – Springer, 2020. – P. 28–38.

7. Pham, V.D. SDN-assisted Unmanned Aerial System for Monitoring Sensor Data / V. Vishnevsky, V.D. Pham, R. Kirichek [et al.] // 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). – IEEE, 2020. – P. 313–317.

8. Pham, V.D. Research on Using the AODV Protocol for a LoRa Mesh Network / V. D. Pham, D. T. Le, R. Kirichek [et al.] // Distributed Computer and Communication

Networks. DCCN 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12563 / V.M. Vishnevskiy, K.E. Samouylov, D.V. Kozyrev (eds). – Springer, 2020. – P. 149–160.

9. Pham, V.D. Agriculture Management Based on LoRa Edge Computing System / F. Sharofidinov, M.S.A. Muthanna, V.D. Pham [et al.] // Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12563 / V.M. Vishnevskiy, K.E. Samouylov, D.V. Kozyrev (eds). – Springer, 2020. – P. 113–125.

10. Pham, V.D. Methods and Models for Using Heterogeneous Gateways in the Mesh LPWANs / V. Kulik, V.D. Pham, R. Kirichek // Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol. 12563 / V. M. Vishnevskiy, K. E. Samouylov, D. V. Kozyrev (eds). – Springer, 2020. – P. 137–148.

11. Pham, V.D. A Hybrid Wireless Mesh Network for Sensor and Actuator Management in Smart Sustainable Cities / V.D. Pham, A. Ovchinnikov, A. Zadorozhnaya [et al.] // The 4th International Conference on Future Networks and Distributed Systems (ICFNDS). – 2020. – P. 1–4.

12. Pham, V.D. Evaluation of A Mesh Network based on LoRa Technology / V.D. Pham, V. Kisel, R. Kirichek [et al.] // 23rd International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT, IEEE). Transactions on Advanced Communications Technology (ICACT-TACT Journal). – 2021. – Vol. 9, Issue. 2. – P. 1280–1285.

Публикации в других изданиях:

13. Фам, В.Д. Метод организации многоскачковой сети LoRa для сбора данных и управления устройствами Интернета вещей в умных устойчивых городах / В.Д. Фам, Р.В. Киричек // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2020. – № 1. – С. 159–161.

14. Фам, В.Д. Применение гетерогенных шлюзов в ячеистых сетях LPWAN / В.А. Кулик, В.Д. Фам, Р.В. Киричек // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020). – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 466–473.

15. Pham, V.D. Models and methods of usage of the heterogeneous gateways in the mesh LPWAN networks / V.A. Kulik, V.D. Pham, R.V. Kirichek // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020). – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 458–465.

16. Pham, V.D. A study of using AODV protocol in LoRa Mesh network / V.D. Pham, T.D. Le, R.V. Kirichek // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020). – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 499–506.

17. Фам, В.Д. Исследование использования протокола AODV в ячеистой сети LoRa / В.Д. Фам, Т.Д. Ле, Р.В. Киричек // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020). – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 490–498.

18. Фам, В.Д. Исследование протоколов маршрутизации для ячеистой сети дальнего радиуса действия / В.Д. Фам, Т.Д. Ле, Р.В. Киричек // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2020). – Москва: ИПУ РАН, 2020. – С. 474–481.

19. Фам, В.Д. Анализ алгоритмов маршрутизации для узкополосных сетей дальнего радиуса действия с поддержкой самоорганизации / В.Д. Фам, Р.В. Киричек // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 187–190.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Кучерявого Е.А.; официального оппонента Ковтуненко А.С.; ведущей организации ПГУПС; Абилова А.В., к.т.н., доц., декана Приборостроительного факультета Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова; Васильева А.Б., к.т.н., заместителя генерального директора ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»; Волкова А.С., к.т.н., доц., доцента кафедры телекоммуникационных систем Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники»; Заболоцкого А.М., д.т.н., доц., профессора кафедры телевидения и управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники; Карташевского В.Г., д.т.н., проф., заведующего кафедрой Информационной безопасности Поволжского

государственного университета телекоммуникаций и информатики; Молчанова Д.А., д.т.н., PhD, старшего научного сотрудника Технологического университета Тампере; Мыровой Л.О., д.т.н., проф., ведущего научного сотрудника Ордена Трудового Красного Знамени Российского научно-исследовательского института радио имени М.И. Кривошеева; Сорокина А.А., к.т.н., доц., доцента кафедры связи Астраханского государственного технического университета; Степанова М. С., к.т.н., доцента кафедры сети связи и системы коммутации Московского технического университета связи и информатики; Шувалова В. П., д.т.н., проф., заведующего кафедрой передачи дискретных сообщений и метрологии Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

Все отзывы положительные, но имеются следующие замечания. В тексте диссертации и автореферата отсутствует обоснование выбора программного обеспечения для имитационного моделирования энергоэффективных ячеистых сетей дальнего радиуса действия. Во второй главе при проведении анализа методов маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях целесообразно представить в виде сводной таблицы сравнение проанализированных методов маршрутизации. В разделе 3.2 главы 3 при разработке модели энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия полезно было бы в явном виде учесть энергетические характеристики составляющих ее беспроводных узлов. В главе 4 при исследовании энергопотребления узла-передатчика целесообразно было бы рассмотреть различные конфигурации технологии LoRa. В тексте автореферата не проводится полное представление аналитической модели фрагмента энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия, как это сделано в диссертационной работе. Для лучшего понимания целесообразно было бы привести аналитическую модель и численные расчёты на ее основе. На стр. 91 на рис. 31 действие имеет условное обозначение  $a(t)$ , одновременно с этим в п. 4 описания алгоритма RF-маршрутизации, расположенного ряда с вышеуказанным рисунком, действие обозначается через  $p$ . На стр. 87, рис. 29 видно, что, с увеличением количества узлов в сети до 100 единиц, соотношение успешно доставленных пакетов предложенного методов к методу, используемому в AODV, значительно выше, чем

при 10, 20 и 40 узлам. Автор не объясняет в тексте данный феномен. 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. 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. 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). Не обоснован выбор формата JPEG для изображений, передаваемых по сети. Целесообразно было бы сравнить форматы изображений по различным критериям. В первой главе диссертации при проведении анализа существующих и перспективных технологий передачи данных для приложений Интернета вещей, в том числе для умных городов, было целесообразно выбрать альтернативную форму представления материала (например, табличную). Во второй главе при проведении анализа методов маршрутизации было интересно дополнительно проанализировать результаты исследований энергопотребления для различных алгоритмов маршрутизации, чтобы подчеркнуть эффективность применения для устройств интернета вещей с батарейным питанием. При разработке модели оценки комплексного показателя качество соединения не был обоснован выбор метода опорных векторов для обучения модели. На стр. 70 не приводятся пояснения параметров Гауссовского ядра для обучения модели. Целесообразно привести параметры и обосновать их выбор. В автореферате при формулировке категорий научной новизны, теоретической значимости, практической ценности, а также в положениях, выносимых на защиту, отсутствуют какие-либо количественные показатели. Вместе с тем, в материалах автореферата таковые показатели есть. При анализе методов маршрутизации не было уделено должного внимания протоколам, использующим в качестве метрики данные о местоположении узлов, хотя такие прототипы известны, а эволюция технологий сетевого позиционирования придает им дополнительный импульс развития. На стр. 8, глава 3 в формуле распределения плотности вероятности (6), описывающей



смещенное трехпараметрическое гамма-распределение, не хватает возведения в степень на параметр формы  $(\alpha-1)$  для  $(x-c) - (x-c)^{(\alpha-1)}$ . На стр. 12, глава 3 на рис. 9-11 автор сопоставляет разработанный метод с протоколом AODV по различным параметрам, но не указывает конкретные средние значения разницы в тексте. Для удобства расчета читателями эффективности данного метода в сравнении с AODV по указанным параметрам в таких случаях рекомендуется напрямую указывать прирост производительности в процентах в сравнении с сопоставляемым протоколом. Во второй главе автор упоминает о том, что существует несколько типов протоколов маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях: проактивные, реактивные и гибридные. При этом далее рассматриваются только протоколы AODV и DSR (реактивные), а также DSDV (проактивный) и не упоминается рассмотрение гибридных протоколов маршрутизации (например, ZRP, TORA и т.д.). В четвертой главе описываются условные уровни качества изображения JPEG (10, 30 и 60), которые рассматривались в работе. При этом не очень понятно (в отличие от упоминаемого автором разрешения изображений), с какими численными характеристиками изображений связаны эти уровни. В автореферате отсутствует обоснование выбора технологии LoRa для разработки модели фрагмента сети LPWAN. Не приводится сравнение разработанного метода маршрутизации на основе машинного обучения с существующими методами, проанализированными в главе 2. На рис. 4а и 4б представлены графики, отображающие соотношение полученных аналитических моделей к исходным эмпирическим распределениям. Из автореферата непонятно каким образом получены эмпирические распределения? Также на рисунках по оси ординат вероятность попадания обозначена как  $P(i)$ , а ниже вероятность попадания в заданное распределение  $P(t)$ , непонятно чем отличаются эти вероятности. Из автореферата неясно почему на рис. 5, на котором представлена модель оценки комплексного показателя качества соединения выбрано Гауссовское ядро? В автореферате из рис. 3 не ясно, сколько всего имеется конечных узлов в структуре имитационной модели сети с гетерогенным шлюзом:  $N$  или  $4N$ . При описании разделов 3.1 и 3.2 упоминаются как конечные узлы (КУ), так и устройства интернета вещей (ИВ). Если речь об одних и тех же объектах, то следует придерживаться какого-то одного термина,

иначе необходимо пояснить, чем КУ отличаются от устройств ИВ. В автореферате не представлено обоснование выбора пакета имитационного моделирования для построения фрагмента энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия. В главе 3 представлен метод маршрутизации на основе оценки комплексного показателя качества соединения. Традиционно в ячеистых сетях маршрутизация между узлами базируется на построении маршрутов и хранении таблицы маршрутов в локальных узлах. В предлагаемом автором подходе, маршрутизация вынесена на централизованный узел, что является единой точкой отказа всей сети. Целесообразно было бы обосновать необходимость выбора данного подхода. На стр. 14 при описании метода передачи мультимедийного трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия рассмотрена технология LoRa. В настоящее время в качестве предварительных национальных стандартов Российской Федерации представлены технологии: NB-Fi, OpenUNB, XNB. Не обоснован выбор технологии LoRa для проведения экспериментов. Автор говорит об энергоэффективности сети LPWAN, однако не раскрывает этого понятия и не приводит численных ее оценок. Автор сравнивает разработанный протокол только с протоколом AODV, для более полной характеристики имеет смысл привести сравнение и с другими методами маршрутизации. На стр. 5-6 и 16 автореферата подчеркивается необходимость разработки альтернативных алгоритмов выбора маршрутов для переадресации пакетов в сетях LPWAN с топологией «звезда». Вызывает определенные сомнения возможность подобной разработки в силу особенности данной сетевой топологии. Возможно, в данном случае имеет место опечатка, и речь идет о сетях с ячеистой топологией. На стр. 13 обозначения маршрутов  $p_i$  между узлом  $i$  и узлом приемника  $s$ , не совпадают с аналогичными обозначениями маршрутов на стр. 12, но повторяют обозначения вероятности попадания в заданное распределение из выражения (3). В выражении 15 не раскрыто значение ряда переменных. Так, не указано, что представляет функция  $Q_d(s,p)$ . Также не приведено описание коэффициента  $\gamma$ , из чего остается неясным, фигурирует ли этот же коэффициент в выражении гауссовского ядра, представленного на стр. 9.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается ведущей ролью, известностью, компетентностью и значимой позицией в научных кругах крупнейших специалистов в области сетей и систем связи, в том числе в областях, связанных с профилем диссертационной работы, значительным количеством публикаций в рецензируемых изданиях по тематике диссертационного исследования. Официальные оппоненты также известны своими публикациями в области диссертационной работы, д.т.н., доцент, Кучерявый Е.А. автор ряда работ по энергоэффективным сетям дальнего радиуса действия и исследованию ячеистых сетей миллиметрового диапазона, также Кучерявый Е.А. является одним из часто цитируемых авторов по тематике самоорганизующихся сетей, а к.т.н., доцент, Ковтуненко А.С. активно занимается исследованиями по тематике машинного обучения в системах передачи данных, чему посвящены публикации в ведущих научных журналах. Кафедра электрической связи ПГУПС внесла значительный вклад в исследования сетей и систем связи, в частности, силами таких ученых, как Канаев А.К., Шмытинский В.В., Роденков Д.Н., Плеханов П.А. Проведено большое количество исследований по синхронизации в сетях связи применительно к решению прикладных задач.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны** модель фрагмента энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия с учетом особенностей инфраструктуры умных городов, отличающаяся от известных тем, что позволяет создавать имитационные модели для определения порогового уровня параметров качества обслуживания при различных характеристиках рассматриваемой сети связи; методы маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия на основе оценки комплексного показателя качества соединения и машинного обучения с подкреплением, отличающиеся от известных тем, что позволяют обеспечить эффективную передачу данных с меньшей задержкой и высоким значением коэффициента доставки пакетов по сравнению с протоколом "AODV", а также уменьшить задержку доставки пакетов при высокой нагрузке за счет самообучения на основе собираемых данных; 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; **предложены** метод оценки комплексного показателя качества соединения на основе метода опорных векторов и алгоритм RF-маршрутизации; **доказана** эффективность разработанных методов маршрутизации в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия по сравнению с протоколом AODV; **введено** новое понятие – энергоэффективные ячеистые сети дальнего радиуса действия, характеризующее класс сетей, которые рассмотрены в диссертации.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано** расширение 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; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы теории вероятностей, математической статистики, теории графа и теории массового обслуживания, машинного обучения; **изложены** параметры, оказывающие влияние на передачу изображения в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия; **раскрыты** методы передачи мультимедийного трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия, которые традиционно не используются в энергоэффективных сетях дальнего радиуса действия; **изучены** методы оценки качества соединения с использованием машинного обучения, в том числе метод опорных векторов; **проведена модернизация** существующих методов маршрутизации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** основные теоретические и практические результаты работы, которые реализованы в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций 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". Кроме, того, научные результаты, полученные Фам Ван Дай, были внедрены при разработке программы и методики

испытаний в лаборатории инновационных инфокоммуникаций ПАО "Ростелеком"; **определены** возможности применения предлагаемых моделей и методов на практике, а именно для эффективного построения энергоэффективных ячеистых сетей дальнего радиуса действия с учетом особенностей умных городов; **создана** имитационная модель фрагмента энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия на базе технологии LoRa в пакете OMNET++ и проведены компьютерные эксперименты на базе имитационной модели; **представлены** результаты имитационного моделирования, которые позволяют продемонстрировать эффективную работу методов маршрутизации.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для **экспериментальных работ** результаты получены с использованием широко известных систем моделирования OMNET++ и AnyLogic, обеспечивающих необходимую достоверность экспериментальных исследований; **теория** построена на известных положениях теории вероятностей, математической статистики, теории графа, теории массового обслуживания, и машинного обучения, а также согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации или по смежным отраслям; **идея базируется** на методах построения самоорганизующихся сетей, которые позволяют предоставить услуги сбора данных с устройств интернета вещей на заданной территории; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **использованы** сравнение полученных результатов в диссертационной работе и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при постановке и решении задач, а также обобщении основных результатов. Полученные соискателем результаты имеют прикладное значение для отрасли связи и представляют задел для диссертации доктора технических наук.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. На графиках (слайд 11), видно, что если коэффициент расширения спектра ставим 10, то задержка оказывается больше и у всех основных результатах, которые у Вас присутствуют. Чем больше коэффициент расширения спектра, тем хуже. Вы можете назвать какой-то сценарий, в котором увеличение коэффициента расширения спектра будет улучшать какую-то характеристику системы?

2. Как Вы выбираете весовые коэффициенты в этой общей оценке?

Соискатель Фам Ван Дай в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию:

1. При использовании большого коэффициента расширения спектра, мы можем передавать информацию на значительно большие расстояния, т.е. чем больше коэффициент расширения спектра, тем больше расстояние, на которое мы можем передавать. Но, таким образом, в различных предложениях требуются расстояния между узлами по-разному – километр, два или три километра. Таким образом? можно выбрать коэффициент расширения спектра правильно, т.е. здесь коэффициент расширения спектра не показывает хуже. Хуже в задержке, но показывает эффективность при передаче на большие расстояния.

2. По результатам экспериментов получаем набор данных: уровень принимаемого сигнала плюс отношение сигнала к шуму плюс количество полученных пакетов в размере окна 10 или размера равным 20. Нам нужно определить среднее значение уровня принимаемого сигнала на среднее значение отношение сигнала к шуму и значение процента получения пакета в размер окна. На основе полученных процентов, доставленных пакетов, мы оцениваем, что чем больше процент доставленных пакетов, тем лучше качество соединения в зависимости от метрики RSSI, и SNR – уровень принимаемого сигнала и значение сигнал к шуму.

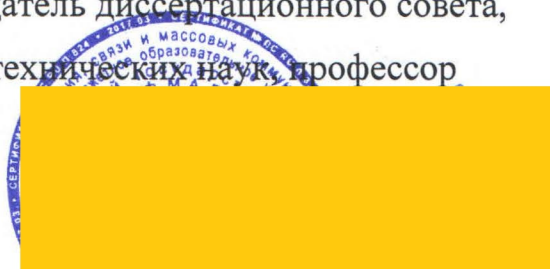
А также согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию, что он согласен со всеми замечаниями, но есть некоторые объяснения выбора Гауссовского ядра. В результате экспериментов были получены нелинейные данные, поэтому для более точного предсказания качества соединения было выбрано Гауссовское ядро. Термин «условное качество изображения» – это было определено по спецификации устройства с камерой.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 2, 12 и 14 паспорта научной специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 24 ноября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Фам Ван Дай ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи, имеющей значение для отрасли связи, а именно, увеличение покрытия зоны обслуживания сети и коэффициента доставки пакетов на основе предлагаемых моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, доцент



Маколкина Мария Александровна

26 ноября 2021 года