

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина»**

(ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»,
ФГБОУ ВО «РГРТУ», РГРТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
и инновациям, д.т.н., доцент



С.И. Гусев

«04» февраля 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на диссертационную работу **Пестина Максима Сергеевича** на тему «Методы и алгоритмы взаимодействия программного обеспечения узлов беспроводных децентрализованных сетей передачи данных при решении задач маршрутизации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Пестина Максима Сергеевича посвящена исследованию вопросов взаимодействия сетевого программного обеспечения узлов в беспроводных децентрализованных сетях в целях повышения эффективности маршрутизации трафика и, таким образом, ускорения передачи данных в целом. Беспроводные децентрализованные сети представляют собой технологию организации одноранговой связи между мобильными абонентами без использования централизованной инфраструктуры. Данные в них могут передаваться как напрямую, так и через цепочки промежуточных абонентов, которые сами по себе могут являться источниками и получателями информации. Задачи объединения отдельных узлов в сеть, построения между абонентами оптимальных маршрутов и балансировки трафика по ним обычно решаются программным обеспечением сетевой маршрутизации.

Такое программное обеспечение, независимо от специфических функций и задач отдельных узлов, на которых оно установлено, должно

обеспечивать контроль и управление сетью как единым объектом. Поскольку программное обеспечение указанного класса функционирует физически на отдельных устройствах, для решения общих задач маршрутизации требуются эффективные механизмы обеспечения межпрограммного взаимодействия. Стоит отметить, что существующие схемы взаимодействия сетевого программного обеспечения отдельных абонентов обеспечивают высокую эффективность передачи данных только в сетях с относительно стабильной стационарной или квазистационарной топологией. При повышении динамики ее изменения начинают проявляться недостатки, связанные с замедленной реакцией сетевого программного обеспечения на изменение ее структуры, связанное с отсутствием актуальной информации о текущих связях между узлами. Что в свою очередь может привести к значительному снижению пропускной способности каналов связи. Так существующие реактивные подходы взаимодействия не обеспечивают построение оптимальных параллельных маршрутов, что снижает эффективность методов и инструментов балансировки трафика по ним. В проактивных подходах из-за высокого объема периодически отправляемого служебного трафика для поддержания в актуальном состоянии таблиц маршрутизации существенно снижается качество связи при повышении количества сетевых абонентов.

Таким образом, существует проблема обеспечения эффективной передачи данных в беспроводных децентрализованных сетях с высокой динамикой изменения топологии. Для решения указанной проблемы автор диссертации предлагает новые методы и алгоритмы организации взаимодействия сетевого программного обеспечения, которые обеспечивают стабильную пропускную способность каналов передачи данных за счет минимизации служебного трафика и балансировку трафика по квазипараллельным путям передачи данных. В своей работе автор корректно описал объект, предмет и научную задачу исследования. Цель диссертации сформулирована грамотно, а правильно поставленные задачи и сформулированная программа исследования позволили ее достичь. Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что представленное диссертационное исследование является актуальным и важным.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Пестина М.С. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной научной литературы и двух приложений.

Во введении автор дает общую характеристику работы, рассматривает её актуальность, ставит цель, задачи исследования, формулирует научную новизну, практическую значимость, приводит положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и публикации результатов. Стоит отметить правильность выбора цели диссертационной работы и задач, которые привели к ее достижению, корректность выбора объекта, предмета исследования. Приведенные научная новизна, практическая значимость и выносимые на защиту положения соответствуют фактическому содержанию диссертации.

В первой главе представлены результаты анализа современных методов, алгоритмов и протоколов взаимодействия сетевого программного

обеспечения, предназначенного для обнаружения и обслуживания маршрутов, их оценки и балансировки потоков данных по найденным путям. Автор рассматривает основные задачи маршрутизации, возникающие в беспроводных децентрализованных сетях передачи данных, описывает объект исследования, а именно ПО сетевой маршрутизации, и приводит примеры его применения на практике. Для оценки эффективности передачи трафика по сети автор анализирует соответствующие критерии и выбирает показатель запаса времени на передачу потока данных. Значительная часть главы посвящена обзору и анализу существующих методов взаимодействия сетевого программного обеспечения, балансировки трафика, выбору маршрутных метрик. Делается вывод, что наиболее подходящим под условия функционирования беспроводных децентрализованных сетей являются реактивные методы взаимодействия между программными компонентами узлов, однако при этом для повышения или сохранения высокой эффективности передачи данных требуется дополнительно применять некоторый функционал проактивного обмена. Таким образом, можно утверждать, что Пестин М.С. умеет проводить грамотный анализ современных отечественных и зарубежных литературных источников, делать на его основе правильные выводы, являющиеся основой для продолжения исследования.

Во второй главе представлены разработанные автором методы и алгоритмы обеспечения взаимодействия между сетевым программным обеспечением отдельных узлов при решении задач маршрутизации, которые имеют грамотно обоснованную научную новизну. Метод взаимодействия сетевого программного обеспечения при установлении и дальнейшем поддержании соединения с сетью отличается от известных тем, что широковебательный запрос на установление соединения совмещается с предыдущими ответами на запросы других узлов в одном служебном сообщении, которое содержит информацию о смежных абонентах первого порядка и связанных с ним каналах передачи данных. Отличительной особенностью метода взаимодействия сетевого программного обеспечения при построении квазипараллельных маршрутов является то, что для накопления и передачи частных метрик формируемых путей выполняется единый реактивный запрос от узла-инициатора с последующей цепочкой информационных ответов от промежуточных узлов. В методе взаимодействия сетевого программного обеспечения при восстановлении маршрутов при обрыве канала связи новым является то, что применяется реактивный алгоритм взаимодействия узлов для восстановления маршрута в ближней зоне абонента-инициатора. Для практической реализации предложенных методов автор разработал соответствующие алгоритмы. Кроме того, дополнительно были разработаны метод балансировки потоков данных в децентрализованных сетях по квазипараллельным маршрутам, а также метод оценки маршрутов связи, используемый для сокращения общего объема служебных сообщений при построении путей. Вторая глава содержит подробное описание предложенных автором методов и алгоритмов, доступное для понимания сторонними независимыми исследователями, что позволит им создавать собственные альтернативные реализации сетевых протоколов на

практике на основе авторского решения. Анализ второй главы позволяет утверждать, что Пестин М.С. способен самостоятельно разрабатывать новые теоретические подходы, обладающие научной новизной.

В третьей главе диссертации описана процедура создания программного инструмента для моделирования процессов взаимодействия сетевого программного обеспечения в различных сценариях работы беспроводных децентрализованных сетей, предложены архитектура программного обеспечения сетевой маршрутизации отдельных узлов и протокол связи на основе описанных методов и алгоритмов, созданы программные модули для выполнения процедур сетевой маршрутизации, функционирующие в рамках разработанного программного инструмента. Таким образом, были получены новые результаты в виде законченного программного продукта, которые можно применять на практике для организации сети передачи данных между мобильными абонентами беспроводных децентрализованных сетей, а также для исследования и настройки протоколов маршрутизации.

Четвертая глава посвящена исследованию корректности и производительности предложенных в диссертации методов и алгоритмов взаимодействия программного обеспечения сетевой маршрутизации и экспериментальному подтверждению, что их практическая реализация позволяет обеспечить улучшение эффективности передачи трафика в сетях в различных сценариях их функционирования. Было показано, что применение созданных автором методов и алгоритмов обеспечения взаимодействия сетевого программного обеспечения позволяет повысить коэффициент доставки пакетов в среднем в 1,24 раза, снизить сквозную задержку их передачи в среднем в 1,17 раз относительно стандартных технологий, и в целом повысить эффективность передачи трафика по выбранному критерию в 1,31 раз. Применение метода балансировки трафика по квазипараллельным маршрутам позволяет повысить коэффициент доставки пакетов в 1,37 раз, снизить сквозную задержку в 2,4 раза, и, таким образом, дополнительно повысить эффективность передачи потока данных в 1,7 раз. Автор грамотно провел экспериментальное исследование, полученные им результаты не вызывают сомнений и позволяют утверждать, что поставленная в диссертационной работе цель была полностью достигнута.

В заключении сформулированы основные выводы по работе и приведены рекомендации, обобщенные по результатам проведенных исследований.

Автореферат написан корректно, в полной мере раскрывает содержание диссертационной работы и содержит основные положения, результаты, выводы диссертационного исследования.

Структура и содержание диссертации и автореферата соответствуют требованиям ВАК, предъявляемым к подобным работам.

Научная новизна результатов диссертации

В своей диссертации Пестин М.С. заявляет три результата, обладающие научной новизной:

1. Предложены методы и алгоритмы взаимодействия программного обеспечения сетевой маршрутизации при построении и восстановлении

маршрутов связи в децентрализованных сетях передачи данных. На основе анализа текста диссертации можно утверждать, что они отличаются от существующих подходов тем, что накопление и передача частных метрик формируемых путей выполняется через информационный запрос построения маршрута и последующие информационные ответы. При этом часть информационных ответов на запрос поиска маршрута передается узлу-источнику в широко-вещательном режиме, что позволяет учесть сразу несколько возможных вариантов построения альтернативных маршрутов.

2. Предложен новый метод оценки маршрутов передачи данных, формируемых в процессе взаимодействия программного обеспечения сетевых узлов. Он применяется для вычисления на основе частных критериев обобщённой маршрутной метрики, использование которой позволяет отфильтровывать как маршруты с низкой пригодностью для передачи трафика, так и отдельные служебные пакеты, при помощи которых производится формирование таких маршрутов.

3. Для распределения нагрузки между квазипараллельными маршрутами предложен метод балансировки потоков трафика в децентрализованных сетях передачи данных, который позволяет значительно снизить сквозную задержку доставки сообщений, когда стандартные подходы не обеспечивают поддержку альтернативных параллельных путей. В основе метода лежит определение весов маршрутов на основе частных метрик, собранных на этапе взаимодействия сетевого программного обеспечения при формировании путей, расчете пропорций, в которых трафик будет распределен по квазипараллельным маршрутам, и в корректировке частных метрик при получении информационных уведомлений о восстановлении маршрута связи.

На основе вышеперечисленного можно сделать вывод, что заявленные результаты действительно обладают научной новизной.

Теоретическая и практическая ценность работы

Теоретическая ценность работы состоит в развитии гибридных подходов взаимодействия программного обеспечения сетевой маршрутизации узлов беспроводных децентрализованных сетей передачи данных за счёт создания новых методов и алгоритмов, позволяющих снизить при их использовании суммарную задержку доставки трафика в сети при высокой динамике изменения топологии. Автор проанализировал существующие подходы, методы и алгоритмы взаимодействия сетевого программного обеспечения, выявил их положительные и отрицательные стороны, что позволило при разработке новых решений совместить найденные преимущества, нивелируя при этом некоторые недостатки. Пестин М.С. разработал новые методы и алгоритмы организации взаимодействия программного обеспечения сетевой маршрутизации для решения задач построения и восстановления путей, балансировки трафика, а также метод оценки маршрутов передачи данных. Полученные теоретические результаты использованы в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Тульский государственный университет», что подтверждается соответствующим актом внедрения.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что создано программное обеспечение для моделирования процессов функционирования беспроводных децентрализованных сетей передачи данных, программное обеспечение сетевой маршрутизации, в основе которого лежат предложенные автором методы, алгоритмы и протокол связи. Отличительными особенностями, реализованными автором в программном инструменте для моделирования децентрализованных сетей, являются возможности производить визуальную отладку алгоритмов взаимодействия сетевого программного обеспечения и динамически изменять пользовательские сценарии его функционирования. Созданная в ходе выполнения исследования архитектура сетевого программного обеспечения отличается тем, что в отдельные модули выведены независимые реализации предложенных в работе алгоритмов, что позволяет их заменять на аналогичные сторонние компоненты, в которых могут быть реализованы требуемые конкретной архитектурой программного обеспечения интерфейсы. Значимость результатов работы подтверждается актами внедрения в деятельность предприятий ООО «Дипвью Групп», ООО «АДВЕРТ-ПРО», а также 4 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ в Роспатент.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликовано 25 научных работ: в том числе 3 публикации в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science и Scopus; 9 статей в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК, среди которых 4 – в журналах квартиля K1, 5 – в журналах квартиля K2; 1 статья в журнале, включенном в Перечень ВАК по смежной специальности (квартиль K1); 8 работ, опубликованных в сборниках трудов Всероссийских и международных конференций; 4 авторских свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ в Роспатент.

Количество, а также качественное содержание работ свидетельствуют о высокой публикационной активности Пестина М.С., его способности грамотно излагать результаты научных исследований в научных изданиях.

Апробация диссертационной работы

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на многочисленных всероссийских и международных научно-технических конференциях и научных семинарах. Результаты диссертационной работы были включены в отчет по научно-исследовательской работе, выполненной автором в рамках гранта для поддержки молодых ученых по тематике диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Пестина М.С. имеет высокую степень апробации.

Оценка достоверности результатов диссертации

Анализ текста диссертационной работы и выполненных публикаций позволяет положительно говорить о достоверности полученных результатов. Основные положения и выводы в достаточной степени аргументированы и обоснованы. В работе для достижения поставленной цели использовались известные и апробированные методы и инструменты. В достаточной мере проведен анализ зарубежных и отечественных публикаций по теме диссертации. Теоретические положения хорошо согласуются с данными, полученными в ходе экспериментальной проверки достигнутых результатов. В пользу достоверности работы также говорит большое количество выполненных публикаций по тематике исследования, участие в конференциях Всероссийского и международного уровней, наличие зарегистрированных результатов интеллектуальной собственности (свидетельства о регистрации программ для ЭВМ), актов внедрения результатов в деятельность сторонних организаций.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации стоило бы более подробно привести пошаговый пример работы алгоритмов взаимодействия сетевого программного обеспечения в конкретных сценариях функционирования сети при заданной сетевой топологии и временной последовательности ее динамического изменения, а также для определенного набора параметров узлов, участвовавших в информационном обмене.

2. В первой главе при анализе литературы не для всех источников указаны авторы, что несколько снижает понимание ее содержания. Целесообразным являлось бы упоминание одного из авторов или название публикации.

3. В третьей главе диссертации в явном виде не описано, являются ли взаимосвязанными или независимыми друг от друга предложенные архитектура программного обеспечения сетевой маршрутизации и протокол маршрутизации на основе разработанных автором методов и алгоритмов.

4. В четвертой главе диссертации стоило более подробно описать исходные параметры имитационного моделирования при проведении экспериментальных исследований.

5. В диссертации имеются стилистические и редакционные ошибки и неточности.

Отмеченные замечания не меняют общего положительного заключения о результатах работы.

Заключение

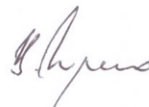
Диссертационная работа Пестина Максима Сергеевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи повышения эффективности передачи данных в беспроводных децентрализованных сетях за счет создания новых методов и алгоритмов взаимодействия сетевого программного обеспечения. Диссертация выполнена на высоком уровне, ее результаты являются достоверными и обоснованными. Содержание и положения работы соответствуют паспорту

научной специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, а именно пункту 3 «Модели, методы, архитектуры, алгоритмы, языки и программные инструменты организации взаимодействия программ и программных систем».

Представленная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о присуждении ученых степеней» (постановление правительства № 842 от 24.09.2013 г.), а ее автор Пестин Максим Сергеевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры «Систем автоматизированного проектирования вычислительных средств» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина», протокол № 7 от «04» февраля 2025 г.

Заведующий кафедрой
«Систем автоматизированного
проектирования вычислительных средств»,
заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор



Корячко Вячеслав Петрович

Контакты ведущей организации:
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Рязанский государственный
радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»
Адрес: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1
Телефон: (4912) 72-03-03
Email: rgrtu@rsreu.ru

Подпись Корячко Вячеслава Петровича заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета РГРТУ
к.ф.-м.н., доцент



К. В. Бухенский