

«УТВЕРЖДАЮ»



Ректор ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет»

А. Д. Гуляков

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» на диссертационную работу **Нгуена Ван Тина** на тему: «Математическое и программное обеспечение процессов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в программно-конфигурируемых сетях на основе нейронных сетей и роевых алгоритмов», 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 диссертации

Технология программно-конфигурируемых сетей (ПКС) представляет собой инновационный подход к управлению компьютерными сетями, обеспечивающий гибкость и адаптивность за счет разделения плоскости управления и передачи данных. В условиях стремительного развития технологий Интернета вещей, сетей 5G и облачных сервисов ПКС становятся ключевым инструментом для обеспечения высокой пропускной способности, минимальной задержки и эффективного управления сетевыми ресурсами. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью совершенствования математических и программных средств управления процессами интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС. Анализ современного состояния предметной области показывает, что существующие методы маршрутизации обладают рядом ограничений, включая недостаточную масштабируемость, высокую вычислительную сложность и ограниченную адаптивность к динамическим изменениям сети, таким как

перегрузки или сбои. Эти проблемы особенно критичны для приложений, требующих обработки данных в реальном времени. В диссертационной работе Нгуена Ван Тина решена актуальная научная задача разработки математического и программного обеспечения интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС на основе нейронных сетей и алгоритмов роевого интеллекта. Предлагаемые подходы направлены на повышение эффективности, адаптивности и надежности сетевой инфраструктуры за счет использования современных методов искусственного интеллекта. Таким образом, актуальность и значимость данной работы не вызывают сомнений.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Нгуена Ван Тина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель и задачи исследований, раскрыта научная новизна работы и ее теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследуются основные направления развития компьютерных сетей, способствующие решению проблем современных сетевых технологий: программируемость сети и централизованное управление. Программно-конфигурируемые сети рассматриваются как инновационная технология, обеспечивающая гибкость сетевой инфраструктуры за счет разделения плоскостей управления и передачи данных. В ходе анализа развития ПКС автором установлено, что актуальной задачей является разработка новых математических и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных, соответствующих требованиям современных приложений. Показано, что подходы на основе технологии ПКС позволяют оптимизировать использование сетевых ресурсов и повысить производительность сети.

Автором рассмотрены ключевые компоненты ПКС: протокол OpenFlow, обеспечивающий управление таблицами потоков, различные типы

контроллеров ПКС (NOX, POX, Ryu, OpenDaylight и др.), а также эмулятор Mininet, используемый для моделирования ПКС. Проведен сравнительный анализ традиционных сетей и ПКС, выявлены преимущества ПКС в плане масштабируемости и автоматизации. В ходе анализа существующих методов маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС выявлены недостатки: низкая адаптивность к динамическим изменениям, недостаточная масштабируемость и высокая вычислительная сложность.

Таким образом, автор в своем диссертационном исследовании ставит научную задачу разработки новых алгоритмов и программных компонентов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в программно-конфигурируемых сетях, основанных на нейронных сетях и алгоритмах роевого интеллекта, учитывающих динамические изменения сети и требования к качеству сетевых сервисов, а также выполняющих вычисления в режиме реального времени.

Во второй главе представлены разработанные в рамках диссертационной работе математические модели и алгоритмы многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на основе роевых алгоритмов и нейронных сетей.

Разработана математическая модель ПКС, представленная в виде графа. Каждый канал связи в модели ПКС характеризуется метрикой, определяемой по коэффициенту загруженности канала. Для решения задачи поиска нескольких кратчайших путей в работе предложено использовать алгоритмы роевого интеллекта, такие как: генетический алгоритм, алгоритм оптимизации муравьиной колонии, алгоритм миграции стаи птиц, пчелиной колонии и светлячков. Для обеспечения эффективного построения оптимальных маршрутов автор использует методы прямого и приоритетного кодирования. Выявлено, что алгоритмы роевого интеллекта позволяют оптимизировать сетевые ресурсы и адаптироваться к изменениям в топологии сети, обеспечивая высокую производительность маршрутизации.

Для исследования процессов маршрутизации в режиме реального времени автором предложена модель на основе рекуррентной нейронной сети, использующей информацию о весах каналов для прогнозирования маршрутов.

Разработаны методы оптимизации гиперпараметров модели с применением роевых алгоритмов для повышения точности прогнозирования оптимальных маршрутов. Отмечено, что предложенная модель отличается высокой точностью и эффективностью, что делает ее пригодной для применения в динамичных сетевых средах.

В третьей главе диссертации предложены модель и алгоритм динамической балансировки потоками данных в программно-конфигурируемых сетях (ПКС) для обеспечения их равномерного распределения и предотвращения перегрузок в сети.

Сформулирована модель ПКС, представленная в виде структуры с динамическими характеристиками каналов, определяемыми уровнем их загрузки. Модель направлена на распределение трафика множества потоков по нескольким маршрутам с учетом их пропускной способности и минимизации суммарных затрат. Индекс балансировки нагрузки применен для оценки качества распределения трафика, способности снижать риск перегрузки и улучшать общую производительность сети.

Разработан метод динамической многопутевой балансировки, основанный на непрерывном мониторинге состояния сети и гибком управлении трафиком. Метод включает компоненты для отслеживания топологии, портов и потоков, а также механизм распределения нагрузки с применением взвешенного циклического подхода. При выявлении перегрузок осуществляется перенаправление потоков по альтернативным маршрутам. Отмечено, что метод гарантирует стабильное качество обслуживания и эффективную работу сети в условиях изменяющихся нагрузок.

В четвертой главе разработана визуальная программная система SDNLoadBalancer для исследования процессов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС. Программная система реализована на платформе PyQt5 и объединяет в себе средства графического проектирования, эмуляции с использованием Mininet, управление через контроллер Ryu и генерацию трафика с помощью Iperf3.

Архитектура библиотеки программных компонентов маршрутизации и балансировки отличается наличием интерфейсов для взаимодействия с

сетевыми приложениями, а также использованием нейросетевых моделей и роевых алгоритмов для принятия решений. Кроме того, структура программной системы построена с учетом принципов микросервисной архитектуры, что обеспечивает гибкость настройки параметров и структуры сети, а также возможность организации распределённой обработки данных.

В главе подробно раскрыты функциональные компоненты системы, такие как мониторинг топологии, портов, потоков и задержек, а также модуль интеллектуальной многопутевой маршрутизации. Пользовательский интерфейс позволяет запускать симуляции и визуализировать результаты в реальном времени. Система демонстрирует высокую степень интеграции, автоматизации и расширяемости, что делает ее эффективным инструментом как для научных исследований, так и для образовательных целей.

В пятой главе диссертации представлено всестороннее исследование разработанного в ходе диссертационного исследования математического и программного обеспечения процессов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС. Автор последовательно анализирует эффективность различных алгоритмов оптимизации, включая генетический алгоритм, алгоритм миграции стаи птиц, искусственной пчелиной и муравьиной колонии, светлячков, а также их модифицированных версий.

Исследование проводится на основе сравнения работы алгоритмов на различных топологиях ПКС с разными целевыми функциями. Особое внимание уделено использованию алгоритмов роевого интеллекта и их адаптации к динамически изменяющимся условиям сети. Показано, что благодаря способности к самоорганизации, эти методы обеспечивают высокую эффективность в нестабильной сетевой среде, превосходя традиционные алгоритмы, такие как алгоритм Йена.

Также подробно рассмотрены особенности параметризации каждого алгоритма, их влияние на количество успешных маршрутов, стоимость маршрутов и время выполнения. Такой подход обеспечивает объективное и всестороннее сравнение производительности различных подходов и методов.

Значительное внимание уделено нейросетевой маршрутизации, в которой гиперпараметры моделей настраиваются с помощью алгоритмов роевого

интеллекта. Полученные результаты демонстрируют высокую точность как на этапе обучения, так и при тестировании, превосходя базовые методы, такие как случайный поиск. Все это свидетельствует о высокой практической значимости разработанных программных решений для интеллектуального управления ПКС.

Кроме того, автором проведен эксперимент, подтвердивший эффективность предложенного метода динамической адаптивной многопутевой балансировки потоков данных (DAMLB). По сравнению с традиционными подходами, такими как ECMP и Round Robin. Предложенный метод DAMLB обеспечивает более равномерное распределение нагрузки, устранение перегрузок на отдельных участках сети и повышение общей пропускной способности.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты, полученные в работе.

Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертации Нгуена Ван Тина заключается в разработке и создании новых математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных на основе искусственных нейронных сетей и методов роевого интеллекта, обеспечивающих высокую точность определения оптимальных маршрутов и равномерное распределение нагрузки в условиях динамически изменяющейся сети.

В диссертации Нгуена Ван Тина получены следующие новые научные результаты:

1. Математическая модель и метод интеллектуальной маршрутизации в ПКС, отличающиеся использованием алгоритмов роевого интеллекта и их адаптацией для условий динамически изменяющейся сети.

2. Нейросетевая модель многопутевой маршрутизации в ПКС на основе рекуррентной нейронной сети, позволяющая принимать решения о маршрутизации в режиме реального времени.

3. Математическая модель и метод оптимизации гиперпараметров нейросетевой модели многопутевой маршрутизации в ПКС на основе

алгоритмов роевого интеллекта, обеспечивающие высокую точность прогнозирования маршрутов и снижение вычислительных затрат.

4. Модель и алгоритм динамической балансировки потоков данных в ПКС, обеспечивающие равномерное распределение нагрузки в сети и адаптацию к изменяющимся условиям трафика для увеличения пропускной способности и минимизации потерь пакетов.

5. Архитектура библиотеки программных компонентов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС, отличающаяся наличием программных интерфейсов для взаимодействия с сетевыми приложениями и обеспечивающая эффективное управление потоками данных на основе нейронных сетей и роевых алгоритмов.

6. Структура программной системы для организации распределенной обработки данных, отличающаяся использованием микросервисной архитектуры и возможностью гибкого конфигурирования параметров и структуры сети.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Разработанные в диссертации алгоритмы интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС, основанные на алгоритмах роевого интеллекта и нейросетевых моделей, ориентированы на использование в системах управления трафиком. Эти методы позволяют эффективно адаптировать сетевую инфраструктуру к изменяющимся условиям и требованиям, повышая ее гибкость и производительность.

Другим практическим результатом диссертации является созданная программная система SDNLoadBalancer, которая включает графический редактор, эмулятор сети, генератор трафика и комплексную систему мониторинга и интеллектуального управления параметрами ПКС. Интеграция разработанных алгоритмов в данную систему обеспечивает реализацию интеллектуального управления потоками данных в ПКС. Представленное решение может быть применено при разработке и модернизации сетевых сервисов, а также интегрировано в существующие ПКС-платформы с целью повышения устойчивости и оптимальности работы сети.

Научные результаты диссертации внедрены в учебном процессе на кафедре САПР ВС Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина (РГРТУ), а также в инженерной практике компании ООО «Технологии НТР» (Вьетнам).

Достоверность научных положений и практических результатов подтверждается применением компьютерного моделирования, правильным использованием теоретических выводов, сопоставлением полученных данных с расчетными параметрами и экспериментальными результатами, основанными на исследованиях и научных положениях, разработанных автором. Обоснованность обеспечивается использованием теории алгоритмов, теории графов, теории множеств и методов объектно-ориентированного программирования. Также подтверждением служит создание функционирующей программной системы для организации распределенной обработки данных в программно-конфигурируемой сети, которая обеспечивает развертывание и поддержку работы сетевых сервисов и приложений. Это подкреплено соответствующими свидетельствами о регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ РФ и наличием актов о внедрении результатов диссертационной работы.

Рекомендуется дальнейшее использование результатов диссертационного исследования в деятельности компании ООО «Технологии НТР» (Вьетнам), а также в компьютерных сетях центров обработки данных и корпоративных сетях Интернет-провайдеров.

Замечания по диссертационной работе

1. Во второй главе диссертации недостаточно раскрыта вычислительная сложность представленных алгоритмов, что затрудняет оценку их применимости в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

2. В третьей главе диссертации рекомендуется дополнительно включить конкретные примеры, демонстрирующие работу предложенного алгоритма динамической балансировки потоков данных в ПКС. Это позволило бы лучше понять его применение в реальных сценариях и повысить убедительность излагаемых результатов.

3. В пятой главе диссертации рассмотрена топология ПКС с учетом весов в фиксированный момент времени. Однако остается неясным вопрос, насколько предложенные алгоритмы роевого интеллекта способны адаптироваться к изменяющимся условиям сети.

4. В пятой главе диссертации представленная модель искусственной нейронной сети демонстрирует высокую точность прогнозирования, однако не рассматривается поведение системы в случае ошибочного прогноза, что может повлиять на ее надежность в реальных условиях эксплуатации.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Нгуена Ван Тина выполнена на высоком научно-техническом уровне и написана грамотным языком. Текст диссертации логически структурирован и содержит обоснованную оценку теоретических и практических результатов. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты исследований.

Результаты диссертации прошли широкую апробацию на различных международных и всероссийских конференциях, внедрены и используются в учебном процессе на кафедре САПР ВС Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина (РГРТУ), а также в инженерной практике компании ООО «Технологии НТР» (Вьетнам). Основные результаты диссертации достаточно широко освещены в научно-технических изданиях. По результатам диссертационного исследования опубликовано 22 печатные работы: 7 статей в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК по специальности 2.3.5; 5 статей в изданиях, входящих в международные базы научного цитирования Web of Science и Scopus; 3 статьи в других изданиях и материалах конференций. По результатам выполненной работы Нгуена Ван Тина получено 7 авторских свидетельств о регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ.

Диссертация Нгуена Ван Тина является законченной научно-квалификационной работой, в которой получены новые научные результаты,

имеющие важное значение в области вычислительных систем и компьютерных сетей. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 2.3.5 и соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Нгуен Ван Тин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры вычислительной техники (ВТ) ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», протокол № 24 от «24» апреля 2025 г.

Заведующий кафедрой ВТ
ФГБОУ ВО «ПГУ»,
доктор технических наук, доцент

Митрохин Максим
Александрович

Профессор кафедры ВТ
ФГБОУ ВО «ПГУ»,
доктор технических наук, профессор

Зинкин Сергей
Александрович

Контакты ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПГУ»)

Адрес: 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40

Контактный телефон: +7 (8412) 66-63-32

E-mail: cnit@pnzgu.ru

24.04.2025 г.

С отзывом ознакомлен

13.05.2025 г.



Личную подпись М. А. Митрохина
ЗАВЕРЯЮ С. А. Зинкина
Специалист по кадрам Т. А. Пелова
«24» «04» 2025 г.