

Отзыв официального оппонента

на диссертацию и автореферат 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. Развитие программно-конфигурируемых сетей (ПКС) в условиях стремительного роста трафика, внедрения технологий 5G и последующих поколений, распространения устройств Интернета вещей (Internet of Things, IoT), требует новых подходов к управлению сетевыми потоками и инфраструктурами. Современные ПКС-инфраструктуры нуждаются в интеллектуальных решениях, способных эффективно справляться с высокими нагрузками и сложными сценариями в реальном времени. Традиционные методы маршрутизации зачастую не обеспечивают достаточной адаптивности к динамическим изменениям, что снижает производительность сети. Применение нейронных сетей и алгоритмов роевого интеллекта позволяет разрабатывать адаптивные и масштабируемые решения интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных. Комбинирование возможностей нейронных сетей и алгоритмов роевого интеллекта способствует созданию надежных и производительных ПКС, способных эффективно отвечать на современные вызовы. Данные технологии обеспечивают высокую отказоустойчивость и оптимизацию ресурсов за счет учета текущего состояния сети и прогнозирования будущих изменений. Диссертация Нгуена В.Т. посвящена разработке новых математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС на основе искусственных нейронных сетей и роевых алгоритмов. Учитывая ограничения существующих решений, диссертация Нгуена В.Т. отличается высокой актуальностью и значимой прикладной ценностью в условиях развития современных сетевых инфраструктур.

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

Во введении автор обосновывает актуальность разработки и создания новых математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС. Автор формулирует объект, предмет и цели исследования, обосновывает научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов.

Первая глава диссертации посвящена анализу и развитию современных компьютерных сетей на основе технологии программно-конфигурируемых сетей. На с. 15-25 диссертации подробно анализируется концепция программно-конфигурируемых сетей. В разделе 1.2 автор описывает архитектурные особенности ПКС, включая разделение плоскостей управления и передачи данных, а также роль внешнего контроллера в управлении сетевыми устройствами. Особое внимание уделяется протоколу OpenFlow, который обеспечивает управление таблицами потоков коммутаторов. В разделе 1.3 проводится сравнительный анализ традиционных и программно-конфигурируемых сетей по таким характеристикам, как архитектура, конфигурация, масштабируемость, гибкость и безопасность. Автор отмечает, что ПКС обеспечивают централизованное управление, автоматизацию и высокую адаптивность, что делает их более подходящими для современных сетевых сред. На с. 28-37 подробно исследуются методы маршрутизации в ПКС, включая статическую, динамическую и многопутевую маршрутизацию. Особое внимание уделяется применению математических подходов, алгоритмов машинного обучения и методов, вдохновленных природой для оптимизации маршрутизации и балансировки потоков данных. На основе проведенного анализа автор диссертации определяет, что основным ограничением существующих методов маршрутизации в ПКС являются низкая адаптивность к динамическим изменениям, недостаточная масштабируемость и высокие вычислительные затраты. В выводах по первой главе автор формулирует задачу разработки математического и программного обеспечения интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС, основанного на нейронных сетях и алгоритмах роевого интеллекта, с целью создания более адаптивных и эффективных решений.

Вторая глава диссертации посвящена разработке математического обеспечения интеллектуальной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях. В разделе 2.1 автор формулирует задачу многопутевой маршрутизации и представляет математическую модель ПКС в виде графа. Вес канала определяется на основе коэффициента загруженности, что способствует выбору менее загруженных путей для маршрутизации. В разделе 2.2 рассматривается интеллектуальная многопутевая маршрутизация на основе роевого интеллекта (РИ). На с. 44-47 описаны методы кодирования пути: прямое кодирование для генетического алгоритма и оптимизации муравьиной колонии, а также приоритетное кодирование для алгоритмов стаи птиц, искусственной пчелиной колонии и светлячков. В разделе 2.3 предложена нейросетевая модель многопутевой маршрутизации на основе рекуррентной нейронной сети. Для повышения эффективности модели автор разработал метод оптимизации гиперпараметров с использованием алгоритмов РИ. Выводы по главе автор подчеркивает новизну предложенных решений, их практическую значимость

и потенциал для дальнейших исследований в области интеллектуальной маршрутизации в ПКС.

В третьей главе диссертации автором разработано математическое обеспечение для балансировки потоков данных в ПКС. В разделе 3.1 сформулирована задача балансировки потоков данных, направленная на определение оптимальных маршрутов, распределение трафика между маршрутами и адаптацию к изменениям в сети, таким как перегрузка каналов. Для оценки равномерности распределения трафика используется индекс Джейна (LBI). В разделе 3.2 предложен метод динамической адаптивной многопутевой балансировки потоков данных (DAMLB), основанный на взаимодействии четырех компонентов: мониторинга топологии, портов, потоков и многопутевой маршрутизации. В основных результатах и выводах по третьей главе автор подчеркивает новизну предложенного метода DAMLB и его способность адаптироваться к динамическим изменениям в сети для повышения эффективности управления потоками данных в ПКС.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке программного обеспечения для интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС. В разделе 4.1 представлена структура визуальной программной системы SDNLoadBalancer, разработанной на платформе PyQt5 для проектирования и эмуляции ПКС. SDNLoadBalancer обеспечивает интуитивный графический интерфейс для проектирования сложных сетевых топологий, настройки компонентов, мониторинга сети в реальном времени и визуализации маршрутов. В разделах 4.2-4.5 описаны ключевые компоненты визуальной программной системы SDNLoadBalancer. Графический редактор позволяет проектировать топологии ПКС через интерфейс перетаскивания и настраивать параметры коммутаторов, хостов, контроллеров и каналов. Эмулятор ПКС использует Mininet для моделирования виртуальных сетевых устройств с интеграцией контроллера Ryu. Система мониторинга и управления ПКС обеспечивает контроль топологии, потоков и многопутевую маршрутизацию с использованием алгоритмов роевого интеллекта и адаптивной маршрутизации при перегрузке. Генератор трафика iPerf3 тестирует производительность сети с настройкой параметров и выводом результатов в JSON. Разработанное программное обеспечение вносит значительный вклад в повышение эффективности управления ПКС и оптимизацию сетевых процессов.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию процессов интеллектуальной многопутевой маршрутизации и балансировки потоков данных в программно-конфигурируемых сетях. В разделе 5.1 анализируются алгоритмы роевого интеллекта: генетический алгоритм, оптимизация муравьиной колонии, алгоритм стаи птиц, искусственной пчелиной колонии и светлячков. Эксперименты на различных топологиях ПКС с использованием эмулятора Mininet и контроллера Ryu показывают, что эти алгоритмы эффективно находят кратчайшие пути, хотя их

производительность зависит от параметров настройки. Сравнительный анализ выявляет преимущества и недостатки каждого алгоритма в сложных сетевых сценариях. В разделе 5.2 проведено исследование модели многопутевой маршрутизации на основе рекуррентной нейронной сети, оптимизированная с использованием алгоритмов роевого интеллекта, что позволило достичь высокой точности прогнозирования маршрутов до 98%. В разделе 5.3 исследован метод динамической адаптивной многопутевой балансировки DAMLB, который обеспечивает равномерное распределение трафика и превосходит традиционные методы, такие как ECMP и Round Robin, по пропускной способности и снижению потерь пакетов. Исследования демонстрируют значительный вклад в развитие методов управления ПКС, способствуя повышению эффективности и гибкости сетевых операций.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Научная новизна диссертации заключается в разработке новых математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС на основе искусственных нейронных сетей и роевого интеллекта. Безусловно, к научной новизне также стоит отнести разработанную визуальную программную систему SDNLoadBalancer для проектирования сетевых инфраструктур и интеллектуального управления потоками данных в ПКС.

Теоретическое значение работы состоит в разработке принципиально новых математических моделей, методов, алгоритмов интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС, а **практическая значимость** полученных автором результатов, состоит в создании программных средств управления сетевым трафиком в современных компьютерных сетях.

Достоверность проведенных исследований подтверждается широкой апробацией результатов научных исследований на различных семинарах, всероссийских и международных научных конференциях. Разработанные научные положения и программные средства 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), что говорит о высоком практическом значении результатов диссертации.

Критические замечания

По результатам диссертации могут быть сделаны следующие замечания:

1. В первой главе подчеркиваются преимущества ПКС (такие как гибкость, масштабируемость и автоматизация), но не рассматриваются в полной мере проблемы практической реализации, такие как стоимость перехода от традиционных сетей к ПКС, требования к техническим навыкам или проблемы совместимости с существующей инфраструктурой.

2. В четвертой главе описывается многопоточная архитектура сбора данных. Автор не уточняет, как в конфигурационном файле задается период обновления состояния сети для этих потоков, чтобы предотвратить перегрузку системы и одновременно обеспечить своевременное обновление решений по маршрутизации и балансировке нагрузки.

3. В четвертой главе присутствует большое количество программного кода, разработанных программных компонентов интеллектуального управления потоками данных в ПКС. Следовало бы вынести представленный программный код в отдельное приложение диссертационной работы.

4. В пятой главе отсутствуют характеристики тестовой среды и не указаны необходимые затраты вычислительных ресурсов для проведения экспериментальных исследований.

5. В диссертации имеются орфографические ошибки и неточности.

Стоит отметить, что приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключительная оценка

Диссертация в полной мере соответствует критериям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842) для ученой степени кандидата наук.

Диссертация соответствует областям исследований 3 и 9 паспорта специальности 2.3.5. «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

По теме диссертаций опубликованы 22 научные работы, в том числе: 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; 7 авторских свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный

институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ). Опубликованные работы полностью отражают основные результаты диссертации.

Диссертационная работа Нгуена В.Т. является завершенной научно-квалификационной работой по специальности 2.3.5, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение важной научной задачи новых математических моделей, методов, алгоритмов и программных средств интеллектуальной маршрутизации и балансировки потоков данных в ПКС, имеющей важное значение для развития области вычислительных систем и компьютерных сетей.

Считаю, что 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».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры автоматизированных
и вычислительных систем
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Воронежский государственный
технический университет»

Кравец Олег Яковлевич

30 апреля 2025 г.

Адрес: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
Тел.: +7 (473) 207-22-20, доб. 6125,
E-mail: rector@cchgeu.ru, csit@bk.ru

Подпись д.т.н., проф. Кравца Олега Яковлевича удостоверяю.

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
д-р техн. наук, доцент



Вашкиров Алексей Викторович

С отзывом ознакомлен

13.05.2025 г.