

УДК 004.738

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (физико-математические науки, экономические науки)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ: МЕТОДЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Крепышев Дмитрий Александрович
доцент, канд. экон. наук
SPIN-код: 8507-4755
e-mail krepyshev.d@kubsau.ru
ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, г. Краснодар, РФ

Мирошниченко Максим Евгеньевич
студент
mystdwyse@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Тараненко Вадим Витальевич
студент
omicronsir@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Современные сети стремительно усложняются, отчего и появляется необходимость в создании более эффективной системы динамической маршрутизации. Соответственно встает вопрос о необходимости модернизации и повышения эффективности работы данных технологий. Основной целью представленной статьи является выполнение комплексного анализа относительно использования ИИ в динамической маршрутизации. Авторами комплексно рассматриваются вопросы, связанные с техническими аспектами внедрения ИИ в маршрутизацию трафика, а также основными проблемами и угрозами, которые препятствуют их глобализации. Особенностью работы является рассмотрение сравнительных результатов использования ИИ в динамической маршрутизации с текущими решениями динамической маршрутизации. Предполагается, что представленные результаты могут послужить основой для дальнейшего интереса к проблеме и, в последствии, к решению ключевых проблем, не позволяющих провести глобализацию данной системы

Ключевые слова: ИИ, СЕТИ, ДИНАМИЧЕСКАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ, OSPF, DGP, SDN, TENSOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-020>

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/20.pdf>

UDC 004.738

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

INTELLIGENT DYNAMIC ROUTING OPTIMIZATION: METHODS, ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

Krepyshev Dmitry Alexandrovich
Senior lecturer
RSCI SPIN-code: 8507-4755
e-mail krepyshev.d@kubsau.ru
FSAU HE Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Miroshnichenko Maksim Evgenievich
student
mystdwyse@yandex.ru
“Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia “

Taranenko Vadim Vitaliyovich
student
omicronsir@yandex.ru
“Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

Modern networks are rapidly becoming more complex, which is why there is a need to create a more efficient dynamic routing system. Accordingly, the question arises about the need to modernize and improve the efficiency of these technologies. The main goal of the presented article is to perform a comprehensive analysis regarding the use of AI in dynamic routing. The authors comprehensively consider issues related to the technical aspects of implementing AI in traffic routing, as well as the main problems and threats that hinder their globalization. A feature of the work is the consideration of comparative results of using AI in dynamic routing with current dynamic routing solutions. It is assumed that the presented results can serve as a basis for further interest in the problem and, subsequently, in solving key problems that prevent the globalization of this system

Keywords: AI, NETWORKS, DYNAMIC ROUTING, OSPF, DGP, SDN, TENSOR

Введение.

В современном мире интернет-сети всё больше разрастаются, дополняясь как новыми технологиями, будь то тот же IoT (интернет вещей) или 5G, так и всё повышающимся объёмом передаваемых данных, непосредственно создавая серьёзные испытания для классических используемых систем динамической маршрутизации. Для эффективной работы всей сети необходимо поддерживать её стабильность с достаточным качеством соединения, что уже становится затруднительным для действующих подходов маршрутизации.

На данный момент высокой популярностью пользуются такие подходы к маршрутизации, как OSPF (Open Shortest Path First) и BGP (Border Gateway Protocol). Но помимо нарастающих проблем с общей нагрузкой сетей, у них есть и свой ряд недостатков, как например наличие фиксированных алгоритмов, из-за которых помимо замедления работы и гибкости, присутствует и затруднение в плане совместимости с новыми технологиями, такими как SDN (Software-Defined Networking).

Здесь на сцену выходят технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти методы способны выявлять закономерности в поведении сети, предсказывать потенциальные перегрузки и автоматически корректировать маршруты, снижая вероятность потерь данных и сбоев сети. Кроме того, их использование позволяет значительно ускорить обработку информации о состоянии сети и адаптировать её под изменяющиеся условия без существенных задержек, при этом так же эффективно предсказывая будущие состояния сети на основе исторических и статистических данных.

Стоит также отметить важность совместимости новых решений с существующей инфраструктурой. Создание гибридных систем, которые будут сочетать проверенные временем алгоритмы маршрутизации с интеллектуальными компонентами, позволит обеспечить плавный переход

на более совершенные технологии. Такой подход минимизирует риски, связанные с внедрением новых систем, и создаст основу для их масштабирования в будущем.

Материалы и методы.

Во избежание нарастающих проблем с классическими методами, можно использовать технологии искусственного интеллекта (ИИ) для повышения эффективности и качества маршрутизации. Такие технологии позволят не только в разы быстрее и эффективнее находить оптимальные маршруты передачи данных, но и прогнозировать их на основе обработки множества входных данных. Для создания эффективной ИИ-системы можно использовать алгоритмы обучения с подкреплением и генетические алгоритмы, построенные на эволюционных вычислениях. С помощью этих инструментов можно научить ИИ не только эффективно в реальном времени управлять всем трафиком, но и прогнозировать нагрузки на определённые узлы и принимать меры заранее, причём практически без необходимости ручного труда.

С помощью машинного обучения можно крайне эффективно обрабатывать огромный объём входных данных. Помимо этого, можно использовать глубокие нейронные сети для поиска и установления закономерностей при высокой нагрузке на сеть. А обучение с подкреплением вместе с генетическими алгоритмами можно использовать для принятия решений в реальном времени на основании предполагаемых наиболее вероятных вариантах развития нагрузки сети.

Не смотря на относительную новизну технологии, уже есть и результаты на основе как тестовых систем, так и полноценного использования внутри крупных компаний. Например, те же алгоритмы, построенные на основе Q-обучения, уже могут крайне эффективно анализировать топологию сети для выполнения нужных действий в режиме реального времени. И, как было упомянуто ранее, нейронные сети

могут вполне эффективно и качественно предсказывать времена пиковых нагрузок сетей, отчего и применять заранее необходимые действия во избежание потери качества соединения и полностью исключения вариантов отключения узлов от перегрузки.

Результаты. Использование ИИ для динамической маршрутизации официально подтвердила отечественная компания «Яндекс». Несмотря на то, что подробностей реализации технологии не так много, всё же есть, хоть и краткие, сравнительные результаты ИИ-маршрутизации с предшествующей динамической маршрутизацией, по которым видно, что все интернет-сервисы этой платформы стали более устойчивыми к различным нагрузкам, сбоям или кибератакам.

Рассмотрим реализацию ИИ-маршрутизации на основе открытых данных компании Google, в частности, подразделе Google Cloud. Основой, без которой было бы крайне трудно реализовать динамическую маршрутизацию с помощью ИИ – это SDN. Эта архитектура предоставляет ИИ статистические данные обо всех узлах сети в реальном времени, а для работы использует протоколы соединения OpenFlow. Сам ИИ был создан и расположен на платформе TensorFlow: на ней Google развернула и продолжает обучать свою нейросеть, подавая на вход выходные данные архитектуры SDN.

Для ускорения и, соответственно, увеличения объёма входных данных, что, непосредственно, увеличит «видимую зону» топологии сети для ИИ, используются специальные процессоры TPU (Tensor Processing Units), которые служат для многократного ускорения вычислений матричных данных. Для обучения и прогнозирования система собирает и анализирует следующие данные: задержку, пропускную способность каналов, уровень загрузки серверов и маршрутизаторов, частоту отказов. Помимо этих данных, в прогнозировании применяются также данные о износе оборудования и нагруженности сетей во временных промежутках.

Эффективность подобных решений заключается в способности не только предсказывать потенциальные узкие места в сети, но и формировать проактивные маршруты для обхода перегруженных участков. Например, если ИИ фиксирует тенденцию к росту нагрузки на определённый сегмент сети, он может заранее перераспределить трафик, снижая риск перегрузки и минимизируя потери пакетов.

Однако успешное применение подобных технологий требует наличия чёткой стратегии их внедрения, что пока что смогли реализовать лишь в больших компаниях в ограниченных условиях и потребностях. Это включает в себя обновление существующей инфраструктуры, разработку протоколов взаимодействия ИИ с другими элементами сети и обеспечение высокой степени безопасности. ИИ-маршрутизация не только упрощает управление крупными сетями, но и закладывает основу для создания систем, способных к самообучению и самостоятельному принятию решений.

Обсуждение. Одной из ключевых задач остаётся детальный анализ достигнутых результатов, позволяющий оценить эффективность предложенных решений, определить их ограничения и определить направления дальнейшего развития. Важными элементами такого анализа выступают итоги моделирования и практических экспериментов, а также рассмотрение перспектив и вызовов, связанных с внедрением ИИ в системы маршрутизации.

Эффективность предложенных подходов подтверждается их ключевыми преимуществами. Алгоритмы, основанные на глубоких нейронных сетях, в частности рекуррентных, отличаются высокой точностью при прогнозировании перегрузок, что даёт возможность заранее перераспределить ресурсы и предотвратить сбои. Методы обучения с подкреплением успешно справляются с динамическими изменениями топологии сети. Интеграция искусственного интеллекта с программно-

определяемыми сетями (SDN) позволяет централизовать управление сетью и оптимизировать использование её ресурсов в реальном времени.

Таблица 1 – сравнение процессов маршрутизации OSPF и BGP с ИИ-маршрутизацией

Критерий	Методы OSPF и BGP	ИИ-маршрутизация
Принцип работы	Статические алгоритмы или политики маршрутизации	Используется машинное обучение для предсказания и адаптации к текущим и грядущим ситуациям
Адаптивность	Медленная адаптация, зачастую требуется ручное вмешательство	Крайне быстрая адаптация благодаря прогнозированию на основе статистических и исторических данных
Прогнозирование трафика	Не поддерживается	Использует исторические и статистические данные текущих метрик всех подключённых узлов
Скорость реакции	Зависит от интервала обновления маршрута, зачастую долго, в особенности при высокой нагрузке	Практически мгновенно засчёт прогнозирования
Масштабируемость	Хорошая масштабируемость, но при высоких значениях понижаются другие параметры	Высокая масштабируемость, не теряющая скорость и качество обработки данных при больших значениях
Эффективность использования ресурсов	Низкая: при уменьшении использования ресурсов понижается и качество динамической смены	Оптимизирует использование, перенаправляя трафик заранее
Сложность реализации	Простая интеграция в сети, поддерживается практически всем оборудованием	Требуются огромные вычислительные мощности и правильная интеграция с технологией SDN
Точность маршрутизации	Ограничена метриками, может приводить к неоптимальным решениям	Крайне высокая точность благодаря учёту множества факторов для прогнозирования

Обработка отказов	Крайне медленное восстановление после сбоев, требующее вмешательства зачастую ручного	Быстрое восстановление
Обучение и настройка	Требует ручной настройки и периодического обновления политик	Автоматическое обучение на реальных данных
Устойчивость к перегрузкам	Низкая, отчего при сбоях часто происходит коллапс всей системы	Перераспределение заранее по прогнозу
Безопасность	Средняя, учитывает только введённые при настройке угрозы	Высокая, адаптируется, изучая аномалии трафика
Стоимость внедрения	Низкая, стандартное оборудование	Высокая, требуется внедрение ИИ-инфраструктуры и высокопроизводительные вычислительные ресурсы

Тем не менее, текущие достижения не обходятся без определённых ограничений. Одной из главных проблем остаётся необходимость в высокой вычислительной сложности алгоритмов ИИ, что ограничивает их применение в крупных сетевых инфраструктурах с ограниченными ресурсами. Кроме того, обучение моделей требует значительных объёмов данных, что порождает вопросы безопасности и конфиденциальности.

Все эти проблемы также являются крайне финансовозатратными, отчего эта технология на данный момент не является внедрённой в сеть. Сейчас при своей реализации эта технология весьма не окупаема, так что сперва необходимо исправить некоторые моменты для избежания излишних трат.

При всём при этом, систему необходимо будет внедрять по частям, дабы уменьшить риск случайной ошибки, способной вызвать глобальный сбой. Да и мало того, что необходимо внедрять по фрагментам, так ещё и много времени уйдёт на тест этих фрагментов во избежание возможной

ошибки, которую потом будет либо трудно найти, либо трудно исправить. Помимо этого, перед запуском придётся провести множество тестов, чтобы убедиться в правильности, надёжности и эффективности работы ИИ-маршрутизации.

Заключение. Технологии искусственного интеллекта уже доказали свою эффективность в решении ключевых проблем, связанных с маршрутизацией данных. Эти проблемы включают управление трафиком, масштабируемость сетей, устойчивость к сбоям и адаптацию к изменяющимся условиям. Экспериментальные данные и результаты моделирования подтверждают, что интеллектуальные технологии значительно превосходят традиционные алгоритмы маршрутизации, такие как OSPF и BGP, в таких аспектах, как скорость доставки данных, снижение потерь пакетов и способность к динамической адаптации.

Несмотря на все бесспорные преимущества по сравнению с текущими решениями динамической маршрутизации, есть и ряд проблем, который препятствует повсеместному переходу на новую систему. Одной из основных проблем является необходимость в высокой вычислительной мощности. Очевидно, что для того, чтобы система работала эффективней, необходимо предоставить больше вычислительных мощностей для ИИ, что, в свою очередь, подразумевает более высокие траты на создание и содержание. Помимо этого, появляется и высокая сложность реализации самих алгоритмов, в которых необходимо учесть не только первоочерёдную задачу – улучшение динамической маршрутизации, но и безопасность системы в целом.

Учитывая эти трудности, на данный момент имеет смысл использовать подобную технологию лишь в сетях крупных компаний, что уже используют компании, как например «Яндекс». Однако, по мере дальнейшего развития аппаратного обеспечения и снижения стоимости вычислительных мощностей, можно ожидать более широкого внедрения

таких систем, вплоть до повсеместного применения. Перспективным направлением является использование технологий машинного обучения для оптимизации энергопотребления и повышения эффективности обработки данных.

Еще одним важным аспектом внедрения искусственного интеллекта в маршрутизацию является его роль в построении сетей будущего, таких как сети пятого и шестого поколений (5G и 6G). Эти сети предъявляют повышенные требования к скорости передачи данных и устойчивости соединений, что делает традиционные методы маршрутизации все менее эффективными. В таких условиях ИИ может стать ключевым инструментом, позволяющим адаптировать маршруты в реальном времени, учитывать изменения нагрузки и прогнозировать узкие места в сети.

Таким образом, создание и применение ИИ в динамической маршрутизации в своей идеальной задумке приведёт к повышению качества и скорости передачи трафика, что как поможет уже реализованным технологиям в повышении их эффективности, так и даст много возможностей для реализации инновационных технологий, которые невозможно было реализовать ранее из-за нестабильного и малоскоростного трафика.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Журавлев А.Е., Макшанов А.В., Иванищев А.В. Инфокоммуникационные системы // Аппаратное обеспечение.2021 С.314-331
2. Глушко А. В., Знобищев Р. С., Груздев Д. А., Александров В. А., Гриднев В. А.» (Пограничный маршрутизатор узла: учебное пособие / А. В. Глушко, Р. С. Знобищев, Д. А. Груздев - Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. С80
3. Васин, Н. Н. Технологии пакетной коммутации: учебник / Н. Н. Васин. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. С. 152..
4. Баланов, А. Н. Искусственный интеллект. Понимание, применение и перспективы: учебник для вузов / А. Н. Баланов. - Санкт-Петербург: Лань, 2024.С. 8.
5. Гольдштейн Б. С., Елагин В. С., Зарубин А. А., Селиванов А. Е. Программно-

конфигурируемые сети SDN. Протокол OPENFLOW 2018. С. 47 с

6. Журавлев, А. Е. Инфокоммуникационные системы. Аппаратное обеспечение: учебник для вузов / 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - С. 325.

7. Якупов, Д. О. Программирование активного сетевого оборудования в симуляторе сети передачи данных: учебное пособие / Д. О. Якупов, С. В. Малахов. - Самара: ПГУТИ, 2023 С. 28.

8. Баланов, А. Н. Машинное обучение и искусственный интеллект: учебное пособие для вузов / А. Н. Баланов. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. С. 135.).

9. Краснова, И. А. Виртуализация сетевых функций и программно-конфигурируемые сети: учебное пособие / И. А. Краснова, В. А. Маньков, А. Е. Панов. - Москва: МТУСИ, 2020. С. 32.).

10. Авксентьев, А. А. Сети и системы связи: учебное пособие / А. А. Авксентьев. - Казань: КНИТУ-КАИ, 2020. С. 235.).

References

1. Zhuravlev A.E., Makshanov A.V., Ivanishhev A.V. Infokommunikacionnye sistemy // Apparatnoe obespechenie.2021 S.314-331

2. Glushko A. V., Znobishhev R. S., Gruzdev D. A., Aleksandrov V. A., Gridnev V. A.» (Pogranichnyj marshrutizator uzla: uchebnoe posobie / A. V. Glushko, R. S. Znobishhev, D. A. Gruzdev - Sankt-Peterburg: SPbGUT im. M.A. Bonch-Bruevicha, 2023. S80

3. Vasin, N. N. Tehnologii paketnoj kommutacii: uchebnyj / N. N. Vasin. - Sankt-Peterburg: Lan', 2022. S. 152..

4. Balanov, A. N. Iskusstvennyj intellekt. Ponimanie, primeneniye i perspektivy: uchebnyj dlja vuzov / A. N. Balanov. - Sankt-Peterburg: Lan', 2024.S. 8.

5. Gol'dshtejn B. S., Elagin V. S., Zarubin A. A., Selivanov A. E.Programmno-konfiguriruemye seti SDN. Protokol OPENFLOW 2018. С. 47 с

6. Zhuravlev, A. E. Infokommunikacionnye sistemy. Apparatnoe obespechenie: uchebnyj dlja vuzov / 3-e izd., ster. - Sankt-Peterburg: Lan', 2024. - S. 325.

7. Jakupov, D. O. Programmirovaniye aktivnogo setevogo oborudovaniya v simuljatore seti peredachi dannyh: uchebnoe posobie / D. O. Jakupov, S. V. Malahov. - Samara: PGUTI, 2023 S. 28.

8. Balanov, A. N. Mashinnoe obuchenie i iskusstvennyj intellekt: uchebnoe posobie dlja vuzov / A. N. Balanov. - Sankt-Peterburg: Lan', 2024. S. 135.).

9. Krasnova, I. A. Virtualizacija setevyh funkcij i programmno-konfiguriruemye seti: uchebnoe posobie / I. A. Krasnova, V. A. Man'kov, A. E. Panov. - Moskva: MTUSI, 2020. S. 32.).

10. Avksent'ev, A. A. Seti i sistemy svjazi: uchebnoe posobie / A. A. Avksent'ev. - Kazan': KNITU-KAI, 2020. S. 235.).