



**Российский университет
дружбы народов (РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

18 05 20 22
№ 0200-19-22/105

УТВЕРЖДАЮ

И. о. первого проректора -
проректора по научной работе



Ромашенко Виктория Александровна

« 18 » мая 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)
на диссертацию Мохамеда Али Рефае Абделлаха на тему
«Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе
технологий искусственного интеллекта»,
представленную к защите в диссертационном совете Д 55.2.004.01 на базе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы исследования

В настоящее время наблюдается опережающее развитие технологий сетей связи пятого и последующих поколений. При этом сложность самих сетей и систем связи увеличивается настолько, что без использования современных технологий для обеспечения их устойчивого функционирования не удастся добиться требуемых показателей по качеству обслуживания и качеству восприятия. При этом по-прежнему для достижения требуемого уровня качества решающую роль играет прогнозирование характеристик



**Российский университет
дружбы народов (РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

18 05 20 22
№ 0200-19-22/105

УТВЕРЖДАЮ

И. о. первого проректора -
проректора по научной работе



Ромашенко Виктория Александровна

« 18 » мая 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)
на диссертацию Мохамеда Али Рефае Абделлаха на тему
«Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе
технологий искусственного интеллекта»,
представленную к защите в диссертационном совете Д 55.2.004.01 на базе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы исследования

В настоящее время наблюдается опережающее развитие технологий сетей связи пятого и последующих поколений. При этом сложность самих сетей и систем связи увеличивается настолько, что без использования современных технологий для обеспечения их устойчивого функционирования не удастся добиться требуемых показателей по качеству обслуживания и качеству восприятия. При этом по-прежнему для достижения требуемого уровня качества решающую роль играет прогнозирование характеристик

уровня качества решающую роль играет прогнозирование характеристик трафика. В сетях связи пятого и последующих поколений вследствие их гетерогенности, сверхвысокой плотности и ультра малых задержек для решения задач прогнозирования характеристик трафика требуются технологии искусственного интеллекта. Это направление исследований выглядит многообещающим не только для данной диссертационной работы, но и для исследований в области систем и сетей связи. Исходя из сказанного, тема представленной на отзыв диссертационной работы «Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта» является актуальной.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертация изложена на 146 страницах и состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы из 83 наименований и одного приложения.

Научная новизна диссертационной работы проявляется уже непосредственно в объекте и предмете исследований. Исследования в области прогнозирования характеристик трафика для сетей связи пятого поколения на основе технологий искусственного интеллекта дают благодатную почву для получения новых научных результатов.

Автор начинает свою работу с исследований в области использования технологий искусственного интеллекта для задач прогнозирования характеристик трафика для автомобильных сетей VANET (Vehicular Ad Hoc Networks). Эта задача важна, поскольку функционирование сети VANET в городских условиях характеризуется неоднородностью окружения сети и, как правило, вследствие этого существенными искажениями статистических данных, собираемых для прогнозирования трафика. При этом необходимо учитывать гауссовский шум и выбросы при использовании статистических данных. Автор предлагает использовать методы робастного оценивания и получает новые научные результаты. Разработанный метод прогнозирования потерь пакетов в сетях VANET на основе глубокого обучения и многослойной нейронной сети в условиях, когда данные искажены гауссовским шумом и случайными выбросами, при использовании робастной справедливой оценки и робастной оценки Коши позволяет уменьшить среднеквадратичную ошибку более, чем в пять раз, а абсолютную ошибку примерно в 2 раза по сравнению с методом наименьших квадратов.

В следующей главе автор предлагает для прогнозирования задержки и потерь в сетях Интернета вещей IoT (Internet of Things) и Тактильного

Интернета использовать нелинейную рекуррентную авторегрессионную нейронную сеть NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model). Разработан метод прогнозирования задержки и потерь для IoT и Тактильного Интернета с использованием прогнозирования на несколько шагов вперед MSP (Multi Step Prediction) и прогнозирования на один шаг вперед SSP (Simple Step Prediction). В таких задачах требуется прогнозирование временных рядов, поскольку необходимо прогнозирование следующих значений системы на основе предыдущей и текущей информации, поэтому предложено использовать сеть NARX. Разработанный метод прогнозирования задержки и потерь в сетях Интернета вещей и Тактильного Интернета на основе нейронной сети NARX дает наилучшие результаты при его обучении алгоритмом Левенберга-Марквардта, превосходя при этом алгоритм обучения Флетчера-Ривса и устойчивый алгоритм обучения по значениям среднеквадратичной ошибки и абсолютной ошибки на порядок и более, как при прогнозировании на один шаг, так и при прогнозировании на несколько шагов.

В заключительной четвертой главе автором разработан метод прогнозирования временных рядов трафика IoT с использованием глубокого обучения нейронной сети на основе сети долговременной краткосрочной памяти LSTM (Long Short-Term Memory). Точность прогноза оценивается с использованием среднеквадратичной ошибки и абсолютной ошибки. Предложено три модели глубокого обучения в зависимости от числа скрытых нейронов в слое LSTM, чтобы исследовать влияние изменения числа скрытых нейронов в глубоком обучении LSTM на точность прогнозирования. Разработанный метод прогнозирования пропускной способности сетей 5G/6G для трафика Интернета Вещей на основе LSTM обеспечивает результаты прогноза с приемлемой для практики точностью при 500 скрытых нейронах.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность основных результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата, имитационным моделированием, обсуждением результатов диссертационной работы на международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых журналах.

Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в применении робастных оценок для прогнозирования потерь пакетов в

условиях сети VANET, когда данные искажены гауссовским шумом и случайными выбросами. Применение нелинейных рекуррентных авторегрессионных нейронных сетей для прогнозирования задержки и потерь в сетях Интернета Вещей и Тактильного Интернета также значимо для прогнозирования трафика в сетях связи пятого и последующих поколений. Предложено использовать для прогнозирования пропускной способности сетей 5G для трафика Интернета Вещей глубокое обучение и алгоритм долговременной краткосрочной памяти.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что полученные новые научные результаты могут быть использованы при планировании сетей связи для Интернета Вещей и Тактильного Интернета, а также при обучении в университетах.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Интернет Вещей», «Современные проблемы науки в области инфокоммуникаций», «Машинное и глубокое обучение в телекоммуникациях» и «Искусственный интеллект в сетях и системах связи».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Основные результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию для проведения научно-исследовательских работ в области современных телекоммуникационных сетей и систем на основе технологий искусственного интеллекта в отраслевом научно-исследовательском институте ФГУП НИИР, при проектировании и планировании современных сетей связи ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ», компаниями операторами связи ПАО «Ростелеком», ПАО «Мегафон», ПАО «ВымпелКом», ПАО «МТС», а также при подготовке специалистов по современным сетям связи в университетах ВШЭ, РУДН, СПб НИУ ИТМО, СПбПУ Петра Великого, ПГУПС Императора Александра I, СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, ПГУТИ, МТУСИ, СибГУТИ и др.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Полнота опубликования и апробация результатов исследования

По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, 12 статей в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и WoS (1 статья в Q1 и 4 статьи в Q2), 3 статьи в журналах и сборниках конференций, включенных в РИНЦ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и российских конференциях и семинарах: конференциях NEW2AN (Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems) 2019, С.-Петербург; NEW2AN 2020, С.-Петербург; NEW2AN 2021, С.-Петербург; DCCN (International conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications) 2019, Москва; DCCN 2020, Москва; ICUMT (International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops) 2019, Dublin, Ireland; ICUMT 2020, Brno, Czech Republic; конференции СПбНТОРЭС им. А.С. Попова 2020; X Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании» АПИНО 2021; СПбГУТ, семинарах кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации. Автореферат содержит краткое изложение материалов диссертационной работы по главам и полностью соответствует содержанию самой диссертационной работы. В автореферате выделены все решаемые в каждой главе задачи и представлены научные результаты.

Недостатки диссертационной работы:

1. В разделе 1.3 на стр. 18-20 следовало бы уделить внимание использованию технологий искусственного интеллекта для слайсинга, что может принести ощутимый выигрыш для сетей связи пятого и последующих поколений.

2. На стр. 55 в таблице 2.1 полезно было бы рассмотреть и кусочно-линейную М-оценку Хампеля, которая уже ранее использовалась для оценки нагрузки и потерь в сетях связи.
3. На стр. 68-69 для характеристики производительности в зависимости от различного числа эпох ее значения приведены с разным числом значащих цифр после запятой для справедливой оценки и оценки Коши.
4. Имеются недочеты редакционного характера (например, на стр. 34, 52, 106).

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Мохамеда Али Рефае Абделлаха. Диссертация «Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки методов прогнозирования характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта, имеющей значение для отрасли цифрового развития и связи, а также специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

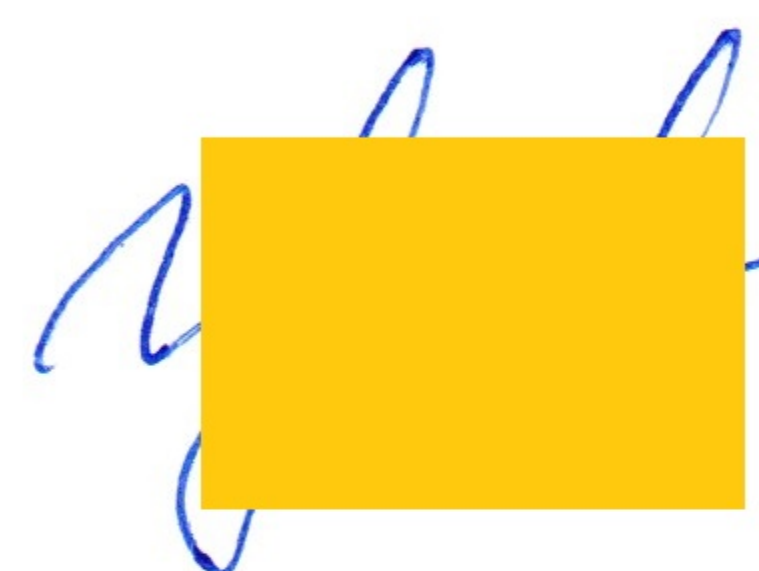
Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью, апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях. Основные научные результаты достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Название работы полностью отражает ее содержание, содержание диссертации соответствует пунктам 3, 11, 12, 14 паспорта специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат адекватно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты.

На основании изложенного считаем, что диссертация Мохамеда Али Рефае Абделлаха «Прогнозирование характеристик трафика для сетей 5G на основе технологий искусственного интеллекта» соответствует критериям, которые установлены пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, в редакции от 11.09.2021), предъявляемым в отношении диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций, а ее автор Мохамед Али Рефае Абделлах заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертация и автореферат заслушаны и обсуждены на заседании кафедры прикладной информатики и теории вероятностей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» 17.05.2022 (состав кафедры – 45, присутствовали – 40), протокол № 0200-19-04/09.

18.05.2022

Доцент кафедры прикладной информатики
и теории вероятностей РУДН,
кандидат физико-математических наук
(специальность 05.13.17 – Теоретические
основы информатики), доцент
Кочеткова Ирина Андреевна



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ
ВО РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

<http://www.rudn.ru/>

+7 (495) 434-70-27

rector@rudn.ru