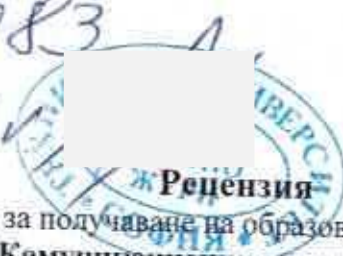


24.04.2024



върху дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен "доктор"
по научна специалност: " **Комуникационни мрежи и системи** "
в професионално направление: **5.3 Комуникационна и компютърна техника**

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Георгиос **Куюмтзидис**
Тема на дисертационния труд: **Подобряване качеството на възприемане в безжични мрежи от следващо поколение чрез машинно обучение**

Изготвил: доц. д-р инж. Агата **Манолова**, Факултет по Телекомуникации,
Технически Университет-София

1. Актуалност на разработвания проблем

Съвременните комуникационни и информационни технологии драматично промениха начина, по който хората общуват помежду си и споделят информация. Тези постижения също направиха възможни промените във всеки аспект от ежедневието, включително пазаруване, образование, развлечения, транспорт и бизнес. Петото поколение (5G) мобилни технологии позволяват пренос на данни с изключително високи скорости, свързват голям брой устройства и осигуряват изключително ниска латентност, както и добра енергийна ефективност. Тези свойства на 5G генерират възможности за иновации, както и нови пазари. Бъдещите безжичните мрежи ще трябва да осигурят поддръжка за непрекъснато променящите се и разнообразни изисквания за свързване на новите вертикални индустрии. Тези индустрии включват областите на цифровите медии и развлеченията, здравеопазването, производството, автомобилостроенето, енергетиката, интернет на нещата (IoT), околната среда и обществената безопасност. Поради разнообразната и обширна гама от услуги и устройства е необходимо да се проектират мобилни мрежи, които са едновременно адаптивни и мащабируеми. Тези мрежи трябва да могат да изпълняват многобройните стандарти за качество на услугата (QoS), за да гарантират, че качеството на преживяване (QoE) е адекватно. Научната област на представения за рецензия дисертационен труд на маг. инж. Куюмтзидис, без съмнение, е изключително актуална и е свързана с изследването и разработването на е да предложи цялостна методология за подобряване на QoE в бъдещите безжични мрежи чрез интегриране на изкуствен интелект (AI) в мрежовите операции за оптимизиране на тяхната производителност.

Темата на дисертационния труд пряко касае разработването на цялостен подход за подобряване на качеството на преживяване (QoE) в бъдещите безжични мрежи чрез интегриране на изкуствен интелект (AI) в мрежовите операции, за да се увеличи максимално ефективността на тези мрежи. За да се приспособят към широк спектър от случаи на употреба, които имат различни нужди от качество на услугата по отношение на честотна лента, латентност, загуба на пакети и трептене, базираните на AI мрежови операции ще бъдат включени в Open RAN архитектурата. В дисертационният труд са предложени алгоритми за машинно обучение, осигуряващи автоматизирано прогнозиране на мрежовия трафик и оптимално разпределение на ресурсите чрез използване на методологии за нарязване на мрежата.

2. Познание на състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Дисертационния труд показва, че докторантът познава добре основите на интердисциплинарна метрика QoE, както и използването на ML алгоритми и иновативната Open RAN архитектура за нейната оптимизация в мултимедийни комуникационни среди. Литературният обзор обхваща 440 източници, книги, научни публикации, интернет сайтове от 2006 до 2023 г.

След направен обстоен анализ на най-актуалните комуникационни технологии, свързани с QoE, в края на Глава 1, докторантът обосновава формулирането на основните задачи на дисертационния труд:

□ Анализ на най-съвременните подходи за интегриране на QoE информираност в безжични и мобилни мрежи.

□ Осигуряване на цялостен анализ на управлението на QoE в мултимедийните комуникации и задълбочено изследване на специфичните аспекти за оценка на QoE за приложения за виртуална реалност и видео стрийминг на игри.

□ Задълбочено изучаване на методологиите за машинно обучение в контекста на безжичните комуникационни мрежи.

□ Предоставяне на цялостен преглед на най-съвременните QoE модели за прогнозиране, базирани на машинно обучение, за видео стрийминг, разширена реалност и приложения за видео игри.

□ Проучване и разработване на безжични комуникационни мрежи, съобразени с QoE, базирани на технологията Open RAN.

□ Разработване на модел за прогнозиране на QoE за безжични приложения за виртуална реалност в Open RAN, използвайки енкoder-декодер с дълга краткосрочна памет (LSTM).

□ Разработване на модел за прогнозиране на QoE за стрийминг на видео игри в Open RAN, използвайки конволюционна невронна мрежа (CNN).

□ Разработване на модел за прогнозиране на трафика на мобилна мрежа, използващ трансформатор на темпорален синтез (TFT).

□ Разработване на модел за разпределение на ресурсите за подобряване на QoE на комуникациите във виртуална реалност, използвайки задълбочено обучение с подсилване.

□ Разработване на модел за нарязване на мрежа за подобряване на QoE на мултимедийни комуникации в Open RAN.

Решаването на така представените задачи на дисертационния труд е представено в следващите 9 глави.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

В глава 1 на дисертационния труд са дефинирани основните задачи, които се изследват и решават в следващите глави. Разработени и представени в дисертационния труд са:

-Модел за прогнозиране на QoE за безжични VR приложения в Open RAN.

-Модел за прогнозиране на QoE за стрийминг на видео игри в Open RAN.

-Модел за прогнозиране на трафика в мобилната мрежа с помощта на TFT архитектура.

-Модел за разпределение на ресурси, базиран на DRL, за подобряване на QoE на безжичните VR комуникации.

-Модел за нарязване на мрежата, предназначен да подобри QoE на мултимедийни комуникации в Open RAN.

От представените резултати и научни публикации следва, че разработените модели за изследване, основани на най-актуални методите като LSTM, CNN, TFT, DRL и Open RAN, съответстват на поставените задачи на дисертационния труд.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд

Дисертационният труд е написан на английски език и е в обем от 258 страници и съдържа увод, десет глави като към всяка са изложени основни приноси, заключение, списък на фигурите, списък на таблиците, списък на използваните съкращения, списък с публикациите по дисертацията, списък на използваната литература. Изложението на дисертационния труд съдържа 45 фигури, 32 таблици и 110 математически израза. Използвани са 440 литературни източници и интернет сайтове, като всички са на латиница.

В края на Глава 1 въз основа на направения обзор, авторът си поставя няколко цели и задачи за изпълнение, на които се дава отговор в следващите глави.

В Глава 2 разглежда управлението на QoE в мултимедийните комуникации, като се изследват трите етапа на управление на QoE: 1) разбиране и моделиране на QoE; 2) мониторинг и оценка на QoE; и 3) адаптиране и контролиране на QoE. В тази глава се прави класификация и анализ на показателите за QoE по отношение на субективна и обективна оценка на QoE, анализ на методологиите за оценка на QoE показателите, анализ на процеса на картографиране на QoS/QoE и анализ на специфичните аспекти за оценка на QoE за VR и приложения за видеоигри и анализ на техните влияещи фактори.

В Глава 3 докторантът описва релевантните подходи за машинно обучение в безжични комуникационни мрежи като анализира на принципа на работа на най-значимите алгоритми относно SL, UL, RL и ANN, свързани с предсказване и оптимизиране на QoE в мултимедийни комуникации. Прави се анализ на интегрирането на ML алгоритми в управлението на QoE за повишаване на точността на процеса на моделиране, подобряване на ефективността на процеса на мониторинг и разработване на иновативни методологии за оптимизация и контрол, както и анализ на интегрирането на ML алгоритми в процеса на разработване на ефективни модели за прогнозиране на QoE.

Глава 4 представлява преглед на най-съвременните модели за прогнозиране на QoE за мултимедийни комуникации. В резултат на проучването се разработва класификация на моделите за прогнозиране по отношение на видео стрийминг, разширена реалност и приложения за видео игри. Въз основа на класификацията се предлага цялостен сравнителен анализ на моделите за прогнозиране за всяка категория приложения, като се анализира на разликата между конвенционалните услуги за стрийминг на видео и нововъзникващите приложения за разширена реалност и видео игри. В тази глава се изследват вариациите във факторите, които значително влияят върху QoE, както и използваните показатели за оценка според типа приложение.

В Глава 5 се разработват отворени мрежи за радиодостъп с отчитане на QoE, въз основа на задълбочен анализ на архитектурата на O-RAN и нейните основни градивни елементи. Предлагат се QoE-aware безжични мрежи, базирани на технологията O-RAN и се прави анализ на методологията за вграждане на AI/ML-базирани оптимизационни модели в O-RAN архитектурата. В главата се разработва практическо ръководство за внедряване на xApps.

Глава 6 третира QoE прогнозиране за приложения за виртуална реалност в Open RAN. В тази глава се предлага нов обективен модел за прогнозиране на QoE за VR 360-

градусови видео стрийминг приложения, базирани на енкодер-декодер LSTM, базиран на цялостно проучване на факторите, влияещи върху QoE, свързани с мрежата/преноса, за безжични VR приложения. Моделът се прилага за прогнозиране върху тестова платформа Open RAN и потвърждение на неговата способност да определя количествено влиянието на работата на безжичната мрежа върху стойността на VR видео QoE. Представя се сравнителна оценка на предложения модел за прогнозиране спрямо най-съвременните DNN модели, принадлежащи към класа RNN, включително SimpleRNN, LSTM, автоенкодер LSTM, двупосочен LSTM и GRU, резултатите се потвърждават експериментално чрез пригодността на енкодер-декодера LSTM за приложения за прогнозиране в реално време.

Глава 7 описва прогнозирането на QoE за видео стрийминг на игри в Open RAN. В тази глава, докторантът представя цялостен анализ на факторите, влияещи върху QoE, свързани с комуникационния канал, за приложения за видео стрийминг на игри. Прилага се модела за прогнозиране върху тестова платформа Open RAN и експериментално потвърждение на способността му да определя количествено въздействието на работата на безжичната мрежа върху QoE на видео игрите. Направена е сравнителна оценка на предложения модел спрямо най-съвременните модели за дълбоко обучение, включително CNN, многоканален CNN, TCN, LSTM, ResCNN-LSTM, RNN и GRU. Експериментално потвърждена е пригодността на предложения модел за проблеми с прогнозиране на времеви редове с множество хоризонти с многовариантни входни данни, също така и ефективността на многоглавия CNN модел за приложения за прогнозиране в реално време.

В Глава 8 се прогнозира трафика в мобилна мрежа като експериментално се потвърждава способността на трансформаторната архитектура да се справя ефективно с предизвикателствата на прогнозирането на трафика в мобилната мрежа. Прави се сравнителна оценка на ефективността и точността на предложения модел за прогнозиране спрямо най-съвременните показатели от категориите статистически анализ, машинно обучение и DNN.

В Глава 9 се предлага нов модел за разпределение на ресурси, който предлага стабилно решение на предизвикателствата на оптимизацията на QoE в безжичните мрежи. Докторантът прави сравнителна оценка на предложения модел за разпределение на ресурсите спрямо установените техники за планиране на ресурсите, включително кръгов режим, BCQI и пропорционално справедливо. В главата е представена нова стратегия за оптимизиране на споделянето на спектъра за подобряване на QoE на VR конферентни видео стрийминг приложения.

Глава 10 третира Срязване на мрежата за подобряване на QoE като се предлага виртуализирана, отворена и интелигентна мрежова архитектура, базирана на Open RAN технология за мултимедийни комуникационни услуги. Извършено е експериментално потвърждение на ефективното използване на мрежовите ресурси с прилагането на мрежов срез. Прегледани са критичните KPI за постигане на висококачествени мултимедийни комуникации и е представен малък тестов стенд, базиран на 4G/5G Open RAN архитектури и различни опции за разделяне. В главата е предложен модел на разделяне на мрежата за оптимизиране на производителността на мрежата и подобряване на QoE на мултимедийни комуникации.

Заключението обобщава направените изводи и очертава бъдещите насоки за работа.

5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд

Дисертацията има силен научноприложни характер и принос в изследване на интердисциплинарна метрика QoE като предлага цялостна методология, ориентирана към приложението, за подобряване на QoE, базирана на използването на ML алгоритми и иновативната Open RAN архитектура.

Основните приноси на дисертацията могат да се обобщят по следния начин:

A) Научни приноси

- Задълбочен преглед на оценката на QoE на мултимедийна услуга, със специален акцент върху приложенията за виртуална реалност и видео стрийминг на игри. В този контекст се дефинира QoE за мултимедийни услуги и се обсъждат трите етапа на управление на QoE.

-Класификация и анализ на най-важните показатели за качество по отношение на субективна и обективна оценка на QoE, както и изследване на методологиите за оценка на тяхната работа и математически модели за корелиране на параметрите на QoS със стойностите на QoE.

- Класификация и анализ на различни ML техники и алгоритми, свързани с прогнозирането и оптимизирането на QoE в мултимедийните комуникации.

-Класификация и анализ на базирани на ML QoE модели за прогнозиране за видео стрийминг, разширена реалност и приложения за видеоигри.

B) Научноприложните приноси

-Разработен модел за прогнозиране на QoE за безжични VR приложения в Open RAN. Предлага се нов модел LSTM на енкодер-декодер, предназначен да предскаже точно стойностите на QoE за VR 360-градусов видео стрийминг през Open RAN.

-Разработен модел за прогнозиране на QoE за стрийминг на видео игри в Open RAN. Предлага се нов модел на CNN с множество глави, пригоден да предскаже стойности на QoE за приложения за стрийминг на видео игри през Open RAN.

-Разработен модел за прогнозиране на трафика в мобилната мрежа с помощта на TFT архитектура. Предлага се нов подход за прогнозиране на трафика в мобилната мрежа и оптимизиране на разпределението на ресурсите за подобро QoE, базирано на TFT.

-Разработен модел за разпределение на ресурси, базиран на DRL, за подобряване на QoE на безжичните VR комуникации. Предлага се нов подход за динамично разпределяне на мрежови ресурси въз основа на QoE оптимизация.

-Разработен модел за нарязване на мрежата, предназначен да подобри QoE на мултимедийни комуникации в Open RAN. Предлага се нов подход за нарязване на мрежата за оптимизиране на QoE чрез разпределяне на ресурси за мултимедийни комуникации.

B) Приложни приноси:

-Разработените модели са програмирани и тествани в експериментална среда и в отделните глави са представени резултати от експериментите, доказващи тяхната ефективност.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите

Предоставеният ми за рецензия дисертационен труд безспорно съдържа научни, научно-приложни и приложни приноси, като те са представени на научни форуми и в списания, като са получили необходимата публичност и са били рецензирани от независими рецензенти. По дисертацията са направени общо 8 публикации в съавторство, като след справка в публичните бази данни, някои от тях вече са генерирани и множество цитати, което доказва приложимостта на дисертационния труд и оценката на международната научна общост за приноса на дисертационния труд и работата на докторанта.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По дисертацията няма направени самостоятелни публикации. Направените 8 публикации по дисертационния труд са в периода 2021 - 2024 г.: 5 статии в списания с SJR индекс и/или Impact Factor, като IEEE Access е с IF 2022 : 3.9, а IEEE Open Journal of the Communications Society е с IF 2023 : 7.9; 3 статии са в сборници доклади, представени на международни научни конференции. Всички публикации са индексирани в базата Scopus и Web of Science. Посочените трудове по брой и място на публикуване покриват изцяло изискванията за придобиване на ОНС „Доктор“.

8. Използване на резултатите от дисертацията в научната и социалната практика

Няма

9. Мнения, препоръки и бележки

Дисертантът е достигнал до интересни научно-приложни и приложни резултати. Очевидно е голямото поле за тяхното практическо приложение във всекидневния живот. Дисертационният труд на маг. инж. Георгиос [REDACTED] Куюмтзидис полага основите на изследване на интердисциплинарна метрика QoE като предлага цялостна методология, ориентирана към приложението, за подобряване на QoE, базирана на използването на ML алгоритми и иновативната Open RAN архитектура. Чрез използване на възможностите на ML техниките и възползване от гъвкавостта и мащабируемостта, осигурени от Open RAN, е разработена холистична рамка за оптимизация, която адресира многостранната динамика на управлението на QoE в мултимедийни комуникационни среди.

Към така представения дисертационен труд, нямам съществени забележки. Приносите на дисертационния труд са разделени и описани към всяка една глава, би било добре да бъдат обобщени и подредени в три групи: Научни, Научно-приложни и приложни в заключителната част от дисертацията, за да се улесни читателя. Препоръката към маг. инж. Куюмтзидис е да продължи с работата си в тази интересна и изгълнсена с предизвикателства област.

10. Заключение

Дисертацията на Георгиос [REDACTED] Куюмтзидис се отличава с редица достойнства в научно-приложен план. Като цяло дисертационният труд издава много висока компетентност по поставената тематика и отговаря на изискванията на ЗРАСРБ и на Правилника на ТУ-София за прилагането му. Въз основа на горепосочените достойнства и приноси на дисертационния труд, считам, че са достатъчно основание за присъждане на ОНС „Доктор“ по научната специалност „Комуникационни мрежи и системи“ на маг. инж. Георгиос [REDACTED] Куюмтзидис. Затова предлагам на уважаемите членове на Научното жури да се присъединят към моята положителна оценка и да гласуват с „ДА“.

23.04.2024 г.

Подпис:

[REDACTED]
/доц. д-р Агата Манолова/

01K78-HC1-083
24.04.2024



Review

on dissertation work for obtaining the educational and scientific degree "doctor" in science major : **"Communication Networks and Systems"**
in professional filed: **5.3 Communication and computer technology**

Author of the thesis: MSc. Eng. Georgios Kougioumtzidis

Title of the thesis: Machine learning for QoE enhancement in future wireless networks

Reviewer: assoc. prof. Agata Manolova, PhD, Faculty of Telecommunications,
Technical University of Sofia

1. Actuality of the problem investigated in the PhD thesis and tasks, developed in the dissertation

Modern communication and information technology has dramatically changed the way in which the people communicate each other and share information. These achievements too they did possible the changes in every aspect of daily life , incl shopping , education, entertainment, transport and business. The fifth generation (5G) mobile and technologies enable data transfer with exceptional high speeds, connect big number of devices and provide extremely low latency as well as good energy efficiency . These properties of 5G generate opportunities for innovation as well as new markets . The future ones wireless networks will must provide support for continuous changing and diverse requirements for connecting the new vertical industries. These industries include the fields of digital media and entertainment , healthcare , manufacturing , automotive , energy , Internet of Things (IoT), environment and public safety . Because of the diverse and extensive range of services and devices need to be designed mobile networks which are at the same time adaptive and scalable. These networks must be able to perform the many quality of service (QoS) standards to ensure that the quality of experience (QoE) is adequate. The scientific one area of the dissertation submitted for review of the mag. eng. Kouygmtzidis is, without a doubt, exceptional current and is related to the research and development of is to offer a comprehensive methodology for improving QoE in the future wireless networks by integrating artificial intelligence (AI) in network operations to optimize their performance.

The topic of the dissertation directly concerns the development of a comprehensive approach to improve the quality of experience (QoE) in the future wireless networks by integrating artificial intelligence (AI) in network operations to increase maximum the effectiveness of these networks. To accommodate a wide range of use cases that they have different quality of service needs in terms of bandwidth, latency, packet loss and jitter, AI - based network operations will be included in the Open RAN architecture. They are in the dissertation proposed machine learning algorithms providing automated network traffic prediction and optimal resource allocation using network slicing methodologies.

2. Knowledge of the state of the problem and creative interpretation of literary material

The dissertation shows that the Ph.D knows well the basics of interdisciplinary QoE metrics, as well as the use of ML algorithms and the innovative Open RAN architecture for its optimization in multimedia communication environments. The literature review covers 440 sources, books, scientific publications, internet sites from 2006 to 2023.

After done a thorough analysis of the most current ones communication technologies related to QoE, at the end of Chapter 1, the Ph.D justifies the formulation of the main tasks of the dissertation:

- Analysis of state-of- the -art approaches for QoE integration awareness in wireless and mobile networks.
- Provide comprehensive analysis of QoE management in multimedia communications and in-depth study of the specific aspects of QoE evaluation for virtual applications reality and video game streaming .
- In-depth studying machine learning methodologies in the context of wireless communication networks.
- Providing a comprehensive review of the most modern QoE prediction models based on machine learning for video streaming , extended reality and video game applications .
- Wireless research and development QoE compliant communication networks based on Open RAN technology .
- Development of a QoE prediction model for wireless applications for virtual reality in Open RAN using long short term memory (LSTM) encoder -decoder .
- Development of a QoE prediction model for video game streaming in Open RAN using convolutional neural network (CNN).
- Development of a forecasting model of mobile network traffic using a temporal fusion transformer (TFT).
- Development of a resource allocation model to improve QoE of communications in virtual reality using deep reinforcement learning .
- Development of a network slicing model to improve the QoE of multimedia communications in Open RAN.

The solution of the thus presented tasks of the dissertation work is presented in the next 9 chapters .

3. Correspondence of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work

In chapter 1 of the dissertation, the main tasks are defined, which are investigated and solved in the following chapters. Developed and presented in the dissertation are:

- A QoE prediction model for wireless VR applications in Open RAN .
- A QoE prediction model for video game streaming in Open RAN .
- Prediction model of mobile network traffic using TFT architecture.
- A DRL - based resource allocation model to improve the QoE of wireless VR communications .
- Mesh slicing model designed to improve QoE of multimedia communications in Open RAN.

From the presented results and scientific publications it follows that the developed research models based on the most current methods such as LSTM, CNN , TFT , DRL and Open RAN , correspond to the set tasks of the dissertation work.

4. Brief analytical description of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are based

The dissertation is written in English language and is in a volume of 258 pages and contains an introduction, ten heads like to each are exposed main contributions, conclusion, list of figures, list of tables, list of references abbreviations, list of dissertation publications, list of used literature. The exposition of the dissertation contains 45 figures, 32 tables and 110 mathematical expressions. Used are 440 literary sources and internet sites such as all are in Latin.

At the end of Chapter 1, based on the overview, the author sets several goals and tasks for implementation, which are answered in the following chapters.

In Chapter 2 examines QoE management in multimedia communications, exploring the three stages of QoE management: 1) understanding and modeling QoE; 2) monitoring and evaluation of QoE; and 3) adapting and controlling QoE. In this chapter it is done classification and analysis of QoE indicators in terms of subjective and objective QoE assessment, analysis of QoE assessment methodologies the indicators, analysis of the QoS / QoE mapping process and analysis of the specific aspects of QoE evaluation for VR and video game applications and their analysis influencing factors.

In Chapter 3, the Ph.D describes the relevant machine learning approaches in wireless communication networks such as analyze on the principle of work of the most significant algorithms on SL, UL, RL and ANN related to QoE prediction and optimization in multimedia communications. An analysis of the integration of ML algorithms in QoE management is made to increase the accuracy of the modeling process, improve the efficiency of the monitoring process and develop innovative methodologies for optimization and control, as well as an analysis of the integration of ML algorithms in the development process of effective QoE prediction models.

Chapter 4 represents review of state-of-the-art QoE prediction models for multimedia communications. As a result of the study, it is developed classification of video streaming prediction models, extended reality and video game applications. Based on the classification is offered comprehensive benchmarking of prediction models for each application category, analyzing the difference between conventional video streaming services and emerging advanced applications reality and video games. In this voice are examined the variations in the factors which significantly influence on QoE, as well as the evaluation metrics used according to the application type.

In Chapter 5 are elaborated open radio access networks with QoE consideration, based on an in-depth analysis of the O-RAN architecture and its basic constructive elements. QoE-aware are available wireless networks based on O-RAN technology and an analysis of the methodology for embedding AI/ML-based optimization models in the O-RAN architecture. The chapter elaborates practical xApps Deployment Guide.

Chapter 6 treats QoE prediction for virtual applications reality in Open RAN. In this chapter, a new objective is proposed QoE prediction model for VR 360-degree video streaming applications based on encoder-decoder LSTM based on overall study of the influencing factors on Network / Transmission related QoE for wireless VR applications. The model is applied for forecasting on Open RAN testbed and confirmation of its ability to determine quantitatively the effect of wireless network performance on the VR video QoE value. A comparative evaluation of the proposed forecasting model is presented compared to state-of-the-art DNN models belonging to the RNN class, incl SimpleRNN, LSTM, autoencoder LSTM, bidirectional LSTM and GRU, the results are confirmed experimentally through the suitability of the LSTM encoder-decoder for real-time prediction applications time.

Chapter 7 describes the prediction of QoE for video game streaming in Open RAN. In this chapter, the PhD student presents a comprehensive analysis of the influencing factors on

QoE related to the communication channel for game video streaming applications . The prediction model is applied on test platform Open RAN and experimental confirmation of ability him to determine quantitatively impact of wireless network performance on QoE of video games . A comparative evaluation of the proposed model was made against state-of-the-art deep learning models including CNN, multichannel CNN, TCN, LSTM, ResCNN - LSTM, RNN, and GRU. Experimental the suitability of the proposed model for weather forecasting problems is confirmed rows with multiple horizons with multivariate entrance data , too and the performance of the multi-head CNN model for real- time forecasting applications time .

Chapter 8 predicts mobile network traffic as experimentally confirmed the ability of the transformer architecture to effectively address forecasting challenges of mobile network traffic . A comparative evaluation of the effectiveness and accuracy of the proposed forecasting model is made against state- of-the-art benchmarks in the statistical analysis, machine learning and DNN categories .

In Chapter 9 a new resource allocation model is proposed which offers robust solution to the challenges of QoE optimization in wireless networks. The PhD student does comparative evaluation of the proposed resource allocation model relative to established resource planning techniques , incl round robin, BCQI and proportional fair. The chapter presents a novel spectrum sharing optimization strategy to improve the QoE of VR conferencing video streaming applications .

Chapter 10 treats Network slicing to improve QoE being offered virtualized , open and intelligent network architecture based on Open RAN technology for multimedia communication services. It was done experimentally confirmation of the effective network usage resources with the implementation of a network slice. Reviewed are the critical KPIs to achieve high quality multimedia communications and is presented a small testbed based on 4G/5G Open RAN architectures and various splitting options. The chapter proposes a network partitioning model to optimize network performance and improve multimedia QoE communications.

The conclusion summarizes the conclusions drawn and outlines the future ones work guidelines.

5. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation work

The dissertation has a strong scientific applied character and contribution to interdisciplinary QoE metrics research like offers comprehensive methodology oriented to application, to improve QoE, based on the use of ML algorithms and the innovative Open RAN architecture. The main contributions of the dissertation can be summarized as follows:

A) Scientific contributions

- Thorough overview of the QoE evaluation of a multimedia service, with special emphasis on applications for virtual reality and video game streaming. In this context it is defined QoE for multimedia services and the three stages of QoE management are discussed.
- Classification and analysis of the most important quality indicators in terms of subjective and objective assessment of QoE, as well as a study of methodologies for evaluating their work and mathematical models for correlating QoS parameters with the QoE values.
- Classification and analysis of different ML techniques and algorithms related to QoE prediction and optimization in multimedia communications .
- Classification and Analysis of ML- Based QoE Prediction Models for Video Streaming , Extended reality and video game applications .

B) Scientific and applied contributions

- Developed a QoE prediction model for wireless VR applications in Open RAN. A new encoder-decoder LSTM model designed to accurately predict QoE values for VR 360 video streaming is proposed through Open RAN.
- Developed a QoE prediction model for video game streaming in Open RAN. A new multi-head CNN model adapted to predict is proposed QoE values for video game streaming applications through Open RAN.
- Developed prediction model of mobile network traffic using TFT architecture. A new forecasting approach is proposed of mobile network traffic and optimizing resource allocation for improved QoE based on TFT.
- Developed a DRL - based resource allocation model to improve the QoE of wireless VR communications. A new approach is proposed for dynamic network allocation resources based on QoE optimization.
- Developed grid slicing model designed to improve QoE of multimedia communications in Open RAN. A new network slicing approach is proposed to optimize QoE by allocating multimedia resources communications.

C) Applied Contributions:

- The developed models are programmed and tested in an experimental environment and in the individual heads are presented results of the experiments proving their efficiency .

6. Evaluation of the degree of personal participation of the dissertation student in the contributions

The dissertation submitted to me for review undoubtedly contains scientific , scientific-applied and applied contributions, as they are presented to scientific forums and in magazines such as have received the necessary publicity and been reviewed by independent reviewers. A total of 8 co-authored publications were made on the dissertation , as after reference in the public ones bases data , some of them have already generated multiple citations as well, which proves the applicability of the dissertation work and the appreciation of the international scientific community for the contribution of the dissertation work and the doctoral student's work.

7. Evaluation of publications on the dissertation work

No independent publications were made on the dissertation. The 8 dissertation publications made are in the period 2021 - 2024: 5 journal articles with SJR index and/or Impact Factor , such as IEEE Access e with IF 2022 : 3.9, and IEEE Open Journal of the Communications Society e with IF 2023 : 7.9; 3 articles are in collections of reports presented at international scientific conferences. All posts are indexed in the database Scopus and Web of Science . The indicated works by number and place of publication fully cover the requirements for acquiring the Doctorate of National Academy of Sciences.

8. Using the results of the dissertation in scientific and social practice

There is no

9 . Opinions, recommendations and notes

The dissertation student has reached interesting scientific- applied and applied results . Obviously , the large field for their practical application in everyday life. The dissertation of mag. Eng . Georgios Kuyumtzidis lays the basics of interdisciplinary QoE metrics research like offers comprehensive methodology oriented to application , to improve QoE , based on the use of ML algorithms and the innovative Open RAN architecture. By leveraging the capabilities of ML techniques and taking advantage of the flexibility and scalability

provided by Open RAN, a holistic optimization framework that addresses the multifaceted dynamics of QoE management in multimedia communication environments.

I have no significant objections to the dissertation presented in this way. The contributions of the dissertation work are divided and described for each chapter, it would be good to summarize and arrange them in three groups: Scientific, Scientific-applied and applied in the concluding part of the dissertation to facilitate the reader. The recommendation to mag. Eng. Kouyumtzhidis is to continue his work in this interesting and challenging scientific area.

10. Conclusion

The Dissertation of Georgios [redacted] Kouyumtzhidis is distinguished by a number of merits in scientific and applied terms. In general, the dissertation shows a very high level of competence on the set topic and meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff in the Republic of Bulgaria and the Rules of TU-Sofia for its application. Based on the above-mentioned merits and contributions of the dissertation work, I consider that they are sufficient grounds for awarding the degree "Doctor" in specialty "Communication networks and systems" of mag. Eng. Georgios [redacted] Kouyumtzhidis. Therefore, I suggest the esteemed members of the Scientific Jury to join my positive assessment and vote "YES".

23/04/2024

Signature: [redacted]

/ Assoc. Dr. Agata Manolova/