

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
Бр. 24-389/2
5 MAY 2024 год.
ПРИШТИНА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО: 15.05.2024			
ОРГ ЈЕДИН.	БРОЈ	ПРЕДМ.	ВРЕДНОСТ
	488/1		

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Ненада Станојевића.

На основу члана 55 став 1 тачка 16 Статута Факултета Техничких наука у Косовској Митровици, а у складу са одредбама Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Косовској Митровици, на седници одржаној дана 28.02.2024. године, донело је одлуку под бројем 197/3-6 о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом: *„Прилог статистичким моделима за анализу перформанси FSO система: нови Chi-square – инверзна Гамма модел и његова примена на хибридни RF/FSO систем са Nakagami-m RF федингом“*, и подобности кандидата Ненада Станојевића.

Дана 17.04.2024. године председник Комисије, проф. др Петар Спалевић, поднео је захтев заведен под бројем 413/1 за продужење рока за достављање Извештаја за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, са образложењем да из здравствених разлога председника, чланови комисије нису успели на време да доставе извештај. На основу члана 55 став 1 тачка 38 Статута Факултета Техничких наука у Косовској Митровици, а у складу са чланом 43 став 7 Правилника о докторским студијама Факултета, Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Косовској Митровици, на седници одржаној дана 25.04.2024. године, донело је одлуку под бројем 435/3-7 да продужи рок за подношење извештаја на 30 дана од дана достављања одлуке.

Комисија у саставу:

1. проф. др Петар Спалевић, редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици – председник комисије,

2. проф. др Дејан Милић, редовни професор Електронског факултета – Универзитет у Нишу – члан,
3. проф. др Ђоко Банђур, редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици – члан ментор.

Предложена тема спада у научно поље техничко-технолошких наука и припада научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство, за коју је Факултет техничких наука у Косовској Митровици акредитован.

На основу приложене документације уз пријаву теме докторске дисертације, образложење теме, научних и стручних радова и увидом у целокупну документацију и делатност кандидата, Комисија подноси Наставном научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Ненад (Томислав) Станојевић је рођен у Вучитрну 1982. године. Основну школу је завршио у Вучитрну а гимназију у Лазаревцу. На Факултету техничких наука, Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, дипломирао је 2012. године, на смеру електроника и телекомуникације и стекао звање дипломирани инжењер електротехнике.

Уписао је докторске академске студије школске 2017/2018. године на катедри за електротехничко и рачунарско инжењерство на Факултету Техничких Наука, универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици и до данас је положио све испите.

Као аутор и коаутор има 1 публикован рад у међнародном часопису M23 са импакт фактором, 4 саопштења на међнародним скуповима штампана у целости (M33) и 1 рад у M53.

Област интересовања су му оптичке комуникације у слободном простору (Free Space Optics – FSO), хибридни RF-FSO системи, дигитална обрада фотографије и примена информационих технологија у саобраћају.

Тренутно живи у Београду, а запослен је као наставник вештина на Академији косовско метохијској, одсек Урошевац-Лепосавић.

2. ПОДОБНОСТ КАНДИДАТА

2.1 Списак објављених радова

Међународни часопис са импакт фактором

M23

1. **N. Stanojević**, B. Princevic, I. Milovanovic, M. Stanojevic, S. Panic, (2021), "Performance Analysis of Transmission Visible Watermarked Image over Zero Boresight Double Ricean Turbulence Channel", Journal of Communications Technology and Electronics, Vol.66, No.12. <https://doi.org/10.1134/S1064226922020139>

Саопштења на међународном научном скупу штампана у целости

M33

1. Marković, N., Bjelić, S., **Stanojević, N.**, Jovanović B. (2017). Optimizacija parametara izlaznog pasivnog filtra iz PWM invertora. Telekomunikacioni forum, TELFOR 2017, IEEE, 21. i 22. novembar 2017, Sava Center, Beograd, Srbija – saopštenje sa medunarodnog naučnog skupa štampano u celini.
2. Abdullah, M., Spalević, Ž., Ilić, M., Spalević, P., **Stanojević, N.** (2019). Predlog meteorološke stanice namenjene upotrebi u poljoprivrednog proizvodnji. In Sinteza 2019-International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research (pp. 401-409). Singidunum University.
3. Smilić, M., Milić, D., Nikolić, Z., Spalević, P., & **Stanojević, N.** (2019). Normalized Capacity of Free Space Optical Link in Malaga Channel with Pointing Error using Power and Rate Adaptation Technique. In 2019 14th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS) (pp. 181-184). IEEE.
4. Marković, N., Rajović, J., **Stanojević, N.** (2021). Potential of Use of the Republic of Serbia Renewable Energy Sources. MENOnet JOURNAL:EMBEDDED COMPUTING (WiPiEC), Volume 7, Issue 1, JUNE 2021.

Рад у научном часопису M53

1. Šarčević, Đ., **Stanojević, N.**, Spalević, P. (2023). Calibration of a Piezoresistive Pressure Sensor Using the 2D Progressive Polynomial Method. International Journal of Engineering Inventions, Vol. 12 (11), pp. 47-53. e-ISSN: 2278-7461.

2.2 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је положио све испите предвиђене студијским програмом докторских студија – Електротехничко и рачунарско инжењерство, објавио рад из области предложене теме, чиме је испунио услове и стекао право да пријави тему докторске дисертације.

На основу претходно изложеног, Комисија констатује да кандидат Ненад Станојевић, испуњава све формалне услове и да је **ПОДОБАН** да настави рад на предложеној теми.

3. КРАТКО ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ

3.1 Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације је утицај атмосферских турбуленција на карактеристике FSO система. У ту сврху креиран је нови математички модел за описивање статистичких карактеристика комуникационог канала FSO система. Овај модел ће бити испитан за различите утицаје атмосферских турбуленција и грешке позиционирања. Креирање новог математичког модела биће засновано на теорији сцинтилације. За моделовање вртложних флукуација малих размера (small scale) користиће се Rician (Chi-Square) модел, док ће се за моделовање вртложних флукуација великих размера (large scale) користити модел са инверзном-Gamma расподелом. Као резултат производа ова два независна статистичка модела биће креирана нова функција густине вероватноћа (Probability Density Function – PDF) која ће представљати нови горе поменути турбуленцијски канал. У сврху анализе карактеристика турбуленцијског канала биће извршена анализа средње грешке по биту (Average Bit Error Rate – ABER) као мере квалитета сигнала. Компаративном анализом система који користи интензитетску модулацију са директном детекцијом и OOK шемом (Intensity Modulation/Direct Detection and On-Off Keying – IM/DD – OOK) и интензитетску модулацију подносиоцем (Subcarrier Intensity Modulation – SIM) са диференцијалном фазном шемом (Differential Phase Shift Keying – DPSK), у условима различитих јачина турбуленција и за различите вредности параметара система, биће омогућено извести закључке о стабилности и поузданости ових система.

У сврху валидације ново предложеног модела биће анализиран пренос слике са уграђеним бинарним воденим жигом кроз овај турбуленцијски канал, а добијени резултати биће презентовани путем графика.

Како би се надоместили недостаци FSO система настали под утицајем атмосферских турбуленција и грешке позиционирања, у дисертацији ће такође бити представљен и разматран нови релејни хибридни RF/FSO систем. За моделовање RF фединга користиће се Nakagami-m модел, док ће се за моделовање FSO система користити ново предложени турбуленцијски канал са Chi-square – инверзна Gamma расподелом. Анализираће се два

начина преноса релејног хибридног RF/FSO система, One-Hop и Multi-Hop преносни систем. Компаративном анализом система заснованих на FSO и хибридном RF/FSO преносу биће предочени услови у којим је практичнија примена хибридних RF/FSO преносних система у односу на FSO системе, и биће предложен модел са најбољим карактеристикама.

Циљ истраживања је идентификовање различитих утицаја атмосферских турбуленција на преносне карактеристике, како FSO, тако и хибридних RF/FSO система. Ово истраживање ће омогућити развијање специфичних и прецизних алата за анализу и процену утицаја турбуленција на бежичне преносне системе. Ове процене у значајној мери могу олакшати пројектовања система за пренос информација.

3.2 Хипотезе

Атмосферске турбуленције играју кључну улогу у процесу имплементације FSO система. Када тај утицај значајно утиче на деградацију перформанси FSO система, као алтернатива се користи хибридни RF/FSO систем. Познавањем карактеристика постојећих матемичких расподела коришћених у претходним истраживањима, у значајној мери могу олакшати процес креирања нових модела. Истраживања су показала да се Chi-square моделом на ефикасан начин могу моделовати турбуленције. Модел са инверзном Gamma расподелом омогућава добро уклапање у математичке моделе, а уједно је прилагодљив широком опсегу атмосферских услова. Овај модел није често коришћен у истраживањима, што ће додатно дати на значају овој докторској дисертацији. Додатно, код моделовања хибридног RF/FSO система Nakagami-m се показао као одличан избор за моделовање RF фединга захваљујући (m) параметру расподеле фединга.

У сврху анализе карактеристика FSO система биће предложена нова функција густине вероватноће, односно нови модел турбуленцијског канала. На основу ново предложеног турбуленцијског канала биће одређене основне карактеристике FSO преносног система, а затим ће бити предложен нови хибридни RF/FSO систем комбиновањем ново предложеног турбуленцијског канала и канала са Nakagami-m федингом. Упоредна анализа ових система омогућиће једноставнији приступ у процесу детерминисања одговарајућег система.

3.3 Преглед досадашњих истраживања

Најчешћа реализација FSO система нашла је примену у тзв. "last mile" (последња миља) комуникационим системима [1]-[4]. Код FSO система за пропагацију сигнала неопходно је постојање линије оптичке видљивости између предајника и пријемника. Пренос података високе резолуције путем FSO система нуди велику предност. Неке од предности употребе FSO система су: велика брзина преноса (до 30 Gbps), усмереност зрака, отпорност на електромагнетно зрачење, нелиценцирани фреквенцијски опсег, флексибилност, ниска цена имплементације, безбедност итд.

Међутим, постоје и недостаци који се манифестују у виду сметњи које се могу појавити. Чак и када су временски услови погодни (ведро небо без падавина и магле) постоји могућност појаве атмосферских турбуленција. Приликом простирања усмереног оптичког снопа, светлосни сигнал бива ослабљен због изложености атмосферским турбуленцијама [5]-[8]. Осим атмосферских турбуленција битно је напоменути и атмосферско слабљење, грешке позиционирања и кратак прекид сигнала услед физичких препрека као факторе који могу утицати на квалитет простирања сигнала [9]-[17].

Како би се описала статистика интензитета FSO сигнала користе се математички модели. Због изузетне сложености математичких модела атмосферских турбуленција, не постоји један универзални модел који би важио за све режиме атмосферских утицаја. Најчешће коришћени математички модели који описују флукуације оптичког сигнала у турбулентном каналу су: Log-normal [18]-[20], Gamma-Gamma [6], [21]-[23], модел са негативним експонентом [24], [25], Nakagami [6], [26] и Rician (Chi-Square) модел [7], [8], [27]. Сви ови модели креирају се истовременим утицајем вртложних флукуација малих и великих размера. Математичким моделовањем вртлога великих и малих размера може се креирати турбуленцијски канал као што је то представљено у раду [8]. Овде је предложено нов модел у којем је за моделовање флукуације малих размера коришћена Gamma расподела, док су вртлози великих размера моделовани инверзном-Gamma расподелом. Показало се да новодобијени модел даје једнако добре резултате, како експериментално, тако и у рачунарској симулацији у поређењу са поменутом Gamma-Gamma расподелом. На истоветан начин је креиран Log-normal-Rician турбуленцијски канал представљен у литератури [28].

Аналогно као што је урађено код предходних модела у докторској дисертацији ће на истоветан начин бити креиран нови Chi-Square – инверзна Gamma модел, добијен комбиновањем два независна статистичка модела. У циљу верификације перформанси предложеног модела у дисертацији ће бити анализиран пренос слике са уграђеним воденим жигом кроз турбуленцијски канал представљен новопредложеним моделом. За трансформацију слике користиће се дискретна косинусна трансформација DCT [29]-[32].

Рађена су многа истраживања у којима су испитивани временски услови који највише утичу на FSO системе. У [33]-[35] је показано да магла има највећи утицај на квалитет простирања оптичког сигнала, док киша има незнатан утицај. Како би се решио проблем и ефекти настали услед појаве неповољних временских утицаја, прибегава се преносу података путем хибридног RF/FSO система [36]-[38]. Приликом преноса сигнала коришћењем FSO система у условима густе магле долази до деградације перформанси, па у тим условима пренос сигнала није могућ. Како би се несметано извршио пренос сигнала даљи пренос преузима RF систем који ради у опсегу милиметарских таласа на чији рад магла нема утицаја. Са друге стране, RF систем је изузетно осетљив на кишне услове. У радовима [33], [39] је описан утицај кише на пренос RF сигнала. У таквим условима пренос преузима FSO па је цео систем прилагођен у повременом преузимању, где је RF систем

уведен као алтернатива [40]-[42]. У радовима [43], [44] представљена је шема преузимања преноса информација високог капацитета када је FSO систем у прекиду због лоших временских услова. Преузимање преноса података врши у моменту када се однос сигнал шум (Signal to Noise Ratio – SNR) код FSO система нађе испод предвиђеног нивоа, у том тренутку врши се провера SNR RF преноса, уколико не постоје сметње даље пренос преузима RF. Због сложености и разноликости временских услова није могуће предложити универзални модел хибридног RF/FSO преноса. Сви хибридни модели се заснивају на комбиновању различитих статистичких модела које је могуће користити код RF и FSO система [45]. У раду [46] представљен је хибридни RF/FSO систем који комбинује Gamma-Gamma као турбуленцијски канал FSO система и Nakagami-m модел који служи за моделовање фединга RF система.

3.4 Очекивани резултати

Очекивани допринос докторске дисертације ће укључивати:

- Моделовање PDF и CDF (Cumulative Distribution Function – кумулативна функција расподеле) ново предложеног Chi-square-инверзна Gamma турбуленцијског канала.
- Анализу перформанси ново предложеног Chi-square-инверзна-Gamma FSO турбуленцијског канала у присуству различитих јачина атмосферских турбуленција и за различите вредности параметара система.
- Креирање новог хибридног Nakagami-m/Chi-square-инверзна-Gamma RF/FSO комуникацијског канала.
- Извођење и добијање аналитичких, нумеричких и графичких резултата као и развој одговарајућих модела и симулација за потврђивање тачности резултата.
- Компаративна анализа перформанси ново предложеног FSO и на бази њега одговарајућег хибридног RF/FSO комуникационог система у зависности од јачине атмосферских турбуленција и за различите вредности параметара система.
- Извођење закључака, предлагање најпоузданијих комуникационих система у зависности од услова и окружења у којима се сигнал преноси.

Да би се дошло до ових резултата и доприноса, примењиваће се следећа методологија истраживања:

- Анализа и преглед јавно доступне научне литературе из ове области, нарочито оних извора који имају висок степен цитираности и који су објављени у врхунским научним часописима.
- Примена теоријских и аналитичких метода.
- Развој различитих модела за симулацију проблема помоћу специјализованих програма и програмских језика.
- Верификација резултата.
- Тестирање и верификација примењених метода и приступа.
- Извођење закључака.

3.5 Оквирни садржај

Докторска дисертација почиње апстрактном, кључним речима и садржајем. Поред увода, дисертација ће садржати пет тематских целина, закључак и преглед литературе.

У **Уводу** дисертације биће представљени предмет и циљеви дисертације. Поред тога, биће представљена досадашња истраживања из области теме дисертације, методологија, структура и организација саме дисертације.

У **другом поглављу** дисертације ће бити представљене основне карактеристике дигиталног воденог жига и његова примена. На почетку поглавља ће бити истакнут значај и примена дигиталних водених жигова. Затим ће бити презентован процес уградње дигиталног воденог жига у слику и екстракције воденог жига из слике. Након тога ће бити представљена два домена код уградње дигиталног воденог жига, фреквенцијски и просторни. Биће представљене најзначајније трансформације у фреквенцијском домену као и алгоритми уградње код просторног домена. Након чега ће се извршити њихово поређење и навести предности примене фреквенцијског домена у процесу имплементације.

У **трећем поглављу** дисертације ће бити представљен FSO преносни систем и његова структура. Такође ће у овом поглављу бити презентован процес слања, пропагације и детекције сигнала. У процесу слања биће представљене модулацијске шеме, у процесу детекције технике детекције сигнала, док ће се у процесу пропагације сигнала анализирати узроци слабљења сигнала. Акцент у овом поглављу биће на атмосферским турбуленцијама, као једним од најчешћих узрока слабљења сигнала. За моделовање атмосферских турбуленција најчешће се користе статистички модели, у овом поглављу докторске дисертације биће презентован упоредни преглед најчешће коришћених статистичких модела, њихове карактеристичне компоненте и услови у којим су нашли примену.

У **четвртном поглављу** дисертације биће промовисан нови турбуленцијски канал чије ће моделовање бити засновано на теорији сцинтилације. За моделовање вртложних флукуација малих размера (small scale) користиће се Рајсов (Chi-Square) модел, док ће се за моделовање вртложних флукуација великих размера (large scale) користити инверзна гама. Као резултат производа ова два независна статистичка модела биће креирана PDF која ће уједно представљати нови турбуленцијски канал. У сврху анализе карактеристика турбуленцијског канала биће извршена анализа средње грешке по биту (Average Bit Error Rate – ABER) као мере квалитета сигнала. Компаративном анализом система који користи интезитетску модулацију са директном детекцијом и OOK шемом (Intensity Modulation/Direct Detection and On-Off Keying – IM/DD – OOK) и интезитетску модулацију подносиоцем (Subcarrier Intensity Modulation – SIM) са диференцијалном фазном шемом (Differential Phase Shift Keying - DPSK), у условима различитих јачина турбуленција и за различите вредности параметра система, биће омогућено извести закључке о стабилности и поузданости ових система. Резултати добијени коришћењем новог Chi-Square – инверзна гама модела биће презентовани путем табела и графикана.

У циљу тестирања FSO канала у **петом поглављу** ће бити извршена анализа преноса слике са уграђеним бинарним дигиталним воденим жигом када су узете у обзир различите јачине атмосферских турбуленција и за различите вредности параметара система. За трансформацију слике и имплементацију дигиталног воденог жига користиће се дискретна косинусна трансформација (DCT). За анализу карактеристика слике која се преноси кроз атмосферски турбуленцијски канал биће коришћено визуелно опажање слике, а као мере квалитета користиће се грешка по биту (Bit Error Rate - BER), средња квадратна грешка (Mean Square Error – MSE) и максимални однос сигнал шум (Peak Signal to Noise Ratio – PSNR).

У **шестом поглављу** дисертације биће презентован нови релејни хибридни RF/FSO систем. За моделовање RF фединга користиће се Накагами- m модел док ће за моделовање FSO система користити нови Chi-Square – инверзна гама турбуленцијски канал. Анализираће се два начина преноса релејног хибридног RF/FSO система, One-Hop и Multi-Hop преносни систем. За потребе анализе предложеног хибридног система, коришћењем CBPSK (Coherent Binary Phase Shift Keying – кохерентна бинарна фазна модулација) модулацијске шеме, биће представљен нови образац за израчунавање ABER. Компаративном анализом система заснованих на FSO и хибридном RF/FSO преносу биће предочени услови у којим је практичнија примена хибридних RF/FSO преносних система у односу на FSO системе, и биће предложен модел са најбољим карактеристикама.

Након шестог поглавља биће дат **Закључак** са освртом на резултате који ће бити добијени у претходним поглављима. На основу анализе добиће се информације о стању канала у различитим атмосферским условима као и за различите вредности параметра система, што ће омогућити олакшање у пројектовању система за пренос информација. Затим ће бити представљени услови у којима се остварује најмања вероватноћа грешке по биту. Такође, биће предложене и методе и модели за даље унапређивање комуникационих система.

3.6 Оквирни списак литературе

Литература

- [1] A. K. Majumdar, Advanced free space optics (FSO): a systems approach, Springer, Vol. 186.
- [2] N. Saquib, M. S. R. Sakib, A. Saha, M. Hussain, Free space optical connectivity for last mile solution in Bangladesh, 2nd International Conference on Education Technology and Computer (ICETC'10), Proceedings of papers, Shanghai, China, Vol. 2, pp. 484–487, June 2010.
- [3] A. K. Majumdar, J. C. Ricklin, E. Leitgeb, M. Gebhart, U. Birnbacher, Optical networks, last mile access and applications. Free-Space Laser Communications: Principles and Advances, pp. 273-302, 2008.

- [4] V. Ramasarma, Free space optics: A viable last-mile solution. Bechtel Telecommunications Technical Journal, Vol. 1, No. 1 pp. 22-30, 2002.
- [5] H. G. Sandalidis, T. A. Tsiftsis, G. K. Karagiannidis, M. Uysal, BER Performance of FSO Links over Strong Atmospheric Turbulence Channels with Pointing Errors, IEEE Communications Letters, Vol. 12, No. 1, pp. 44 – 46, 2008.
- [6] A. Belmonte, J. M. Kahn, Performance of synchronous optical receivers using atmospheric compensation techniques, Optics Express Vol. 16, No. 18, pp. 14151 – 14162, 2008.
- [7] D. Vučković, B. Prlinčević, P. Spalević, S. Panić, H. Škrijelj, Performance analysis of FSO transmission of image processing fire detection over Rician fading channels, Twenty-fourth international Electrotechnical and Computer Science Conference ERK, ISSN 1581 – 4572, pp. 81 – 84, 21-23 sept., 2015.
- [8] K. P. Peppas, G. C. Alexandropoulos, E. D. Xenos, A. Maras, The Fischer–Snedecor F -Distribution Model for Turbulence-Induced Fading in Free-Space Optical Systems. *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 38, No. 6, pp. 1286-1295, 2019.
- [9] F. Yang, J. Cheng, T. A. Tsiftsis, Free-space optical communication with nonzero boresight pointing errors, IEEE Transactions on Communications, Vol. 62, No.2, pp. 713-725, 2014.
- [10] I. S. Ansari, Ergodic Capacity Analysis of Free-Space Optical Links with Nonzero Boresight Pointing Errors, IEEE Trans. Wirel. Commun., Vol. 14, No. 8, pp. 4248–4264, 2015.
- [11] I. I. Kim, R. Stieger, J. Koontz, C. Moursund, M. Barclay, P. Andhikari, C. M. DeCusatis, Wireless optical transmission of fast ethernet, FDDI, ATM, and ESCON protocol data using the TerraLink laser communication system, Optical Engineering, Vol. 37, No. 12, pp. 3143-3155, 1998.
- [12] D. K. Borah, D. G. Voelz, Estimation of laser beam pointing parameters in the presence of atmospheric turbulence, Applied Optics, Vol. 46, No. 23, pp. 6010-6018, 2007.
- [13] D. K. Borah, D. G. Voelz, Pointing error effects on free-space optical communication links in the presence of atmospheric turbulence, Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, No. 18, pp. 3965-3973, 2009.
- [14] I. S. Ansari, F. Yilmaz, M. S. Alouini, Performance analysis of free-space optical links over malaga (M) turbulence channels with pointing errors, IEEE Transactions on Wireless Communications, pp. 91-102, 2015.
- [15] A. A. Farid, S. Hranilovic, Outage capacity optimization for free-space optical links with pointing errors, Journal of Lightwave technology, Vol. 25 No. 7, pp. 1702-1710, 2007.
- [16] M. A. Amirabadi, An optimization problem on the performance of FSO communication system”. arxiv preprint arxiv, 1902.10043, 2019.
- [17] M. M. Smilić, D. N. Milić, P. Spalević, Z. Nikolić, Performance of Free Space Optical Communication in Malaga Channel with Zero/Non-Zero Boresight Pointing Error, in 5th International Conference IcETRAN 2018, pp. 1230–1235, 2018.
- [18] J. Li, M. Uysal, Achievable Information Rate for Outdoor Free Space Optical, Global Telecommunications Conference, Vol.5, p.p. 2654-2658, 2003.
- [19] V. Biswas, W. Vilnrotter, D. Farr, D. Fort, E. Sigman, Pulse position modulated ground receiver design for optical communications from deep space, Proc. SPIE, San Jose, CA, Vol. 4635, pp. 224-235, Jan, 2002.

- [20] I. Garrett, Pulse-position modulation for transmission over optical fibres with direct ortheterodyne detection," IEEE Transaction on Communications, Vol. 31, No. 4, pp. 518-527, Apr., 1983.
- [21] W. O. Popoola, Subcarrier intensity modulated free-space optical communication systems, University of Northumbria at Newcastle (United Kingdom), 2009.
- [22] A. Bekkali, C. B. Naila, K. Kazaura, K. Wakamori, M. Matsumoto, Transmission analysis of OFDM-based wireless services over turbulent radio-on-FSO links modeled by gamma-gamma distribution, IEEE photonics journal, Vol. 2, No. 3, pp.510-520, 2010.
- [23] N. Wang, J. Cheng, Moment-based estimation for the shape parameters of the Gamma-Gamma atmospheric turbulence model, Optics express, Vol. 18, No. 12, pp. 12824-12831, 2010.
- [24] W. O. Popoola, Z. Ghassemlooy, V. Ahmadi, Performance of sub-carrier modulated free-space optical communication link in negative exponential atmospheric turbulence environment, International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, Vol. 1 No. 3, pp. 342-355, 2008.
- [25] H. E. Nistazakis, V. D. Assimakopoulos, and G. S. Tombras, Performance estimation of free space optical links over negative exponential atmospheric turbulence channels, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 122, No. 24, pp. 2191–2194, December 2011.
- [26] N. Youssef, T. Munakata, M. Takeda, Fade Statistics in Nakagami Fading Environments, IEEE In Proceedings of ISSSTA'95 International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Vol. 3, pp. 1244-1247, 1996.
- [27] A. Mitić, D. Milović, A. Panajotović, Statistički parametri drugog reda za kanal sa rajsovim fedingom u Prisustvu kanalne interferencije, ETRAN Conference, Budva, pp.113-116, June 5-10, 2005.
- [28] F. Yang, J. Cheng, Coherent free-space optical communications in lognormal-Rician turbulence, IEEE Communications Letters Vol. 16, No. 11, pp. 1872–1875, 2012.
- [29] Dr. Vipula Singh, Digital Watermarking: A Tutorial, (JSAT), January Edition, 2011.
- [30] A. B. Watson, NASA Ames Research Center, Image compression using discrete cosine transform, Mathematica journal, Vol. 4, No. 1, pp. 81-88, 1994.
- [31] S. Roy, A. K. Pal, A blind DCT based color watermarking algorithm for embedding multiple watermarks, AEU-International Journal of Electronics and Communications, Vol. 72, pp. 149-161, 2017.
- [32] N. F. Johnson, S. Katzenbeisser, A survey of steganographic techniques, In Information hiding, pp. 43-78, May, 2000.
- [33] F. Nadeem, V. Kvicera, M. Awan, E. Leitgeb, S. Muhammad, G. Kandus, Weather effects on hybrid FSO/RF communication link, IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol. 27, No. 9, pp. 1687–1697, Dec., 2009.
- [34] H. Wu, M. Kavehrad, Availability evaluation of ground-to-air hybrid FSO/RF links, Int. J. of Wir. Inf. Networks, Vol. 14, No. 1, pp. 33–45, Mar., 2007.
- [35] F. Nadeem, E. Leitgeb, M. Awan, M. Kandus, FSO/RF hybrid network availability analysis under different weather condition, Proc. 3rd Int. Conf. on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, Wales, UK , pp. 239–244, September, 2009.

- [36] L. Kong, W. Xu, L. Hanzo, H. Zhang, C. Zhao, Performance of a free-space-optical relay-assisted hybrid RF/FSO system in generalized M-distributed channels, *IEEE Photonics Journal*, Vol. 7, No. 5, pp.1-19, 2015.
- [37] M. Najafi, V. Jamali, R. Schober, Optimal relay selection for the parallel hybrid RF/FSO relay channel: Non-buffer-aided and buffer-aided designs, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 65, No. 7, pp.2794-2810, 2017.
- [38] A. Upadhyaya, M. Meenalakshmi, S. Chaturvedi, V. K. Dwivedi, Full duplex mixed FSO/RF relaying systems with self-interference and outdated CSI, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 55, No. 3, 2023.
- [39] T. Mouldsley, E. Vilar, Experimental and theoretical statistics of microwave amplitude scintillations on satellite down-links, *IEEE Trans. Anten. Propag.*, Vol. 30, No. 6, pp. 1099–1106, Jan., 1982.
- [40] B. He, R. Schober, Bit-interleaved coded modulation for hybrid RF/FSO systems, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 57, pp. 3753-3763, 2009.
- [41] H. Wu, B. Hamzeh, M. Kavehrad, Achieving carrier class availability of FSO link via complementary RF link, in *Proc. 38th Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers*, Oct., 2004.
- [42] Z. Jia, F. Ao, and Q. Zhu, BER performance of the hybrid FSO/RF attenuation system, in *Int. Symp. Anten., Prop. & EM Theory*, Sep., 2006.
- [43] U. Muneer, H. Yang, M. Alouini, Performance analysis of switching based hybrid FSO/RF transmission, *Proc. IEEE VTC2014 80th Vehicular Technology Conf.*, Vancouver, BC, Canada, pp. 1–5, 2014.
- [44] U. Muneer, H. Yang, M. Alouini, Practical switching-based hybrid FSO/RF transmission and its performance analysis, *IEEE Photon. J.*, Vol. 6, No. 5, pp. 7746–7759, 2014.
- [45] A. Upadhyaya, M. Meenalakshmi, S. Chaturvedi, V. K. Dwivedi, Full duplex mixed FSO/RF relaying systems with self-interference and outdated CSI, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 55, No. 3, 2023.
- [46] W. M. R. Shakir, On performance analysis of hybrid FSO/RF systems, *IET Communications*, Vol. 13, No. 11, pp. 1677-1684, jun 2019.

4. ПРЕДЛОГ ЗА ИМЕНОВАЊЕ МЕНТОРА

На основу детаљне анализе приложене документације комисија предлаже да се менторство израде докторске дисертације повери проф. др Ђоки Банђуру, редовном професору Факултета техничких наука у Косовској Митровици.

Компетентност проф. др Ђоке Банђура одређује његова ужа научна област која се поклапа са предложеним истраживањем и значајне референце из области која је тема докторске дисертације:

1. **Ѓ. Bandur**, B. Jakšić, M. Bandur, S. Jović, “An analysis of energy efficiency in Wireless Sensor Networks (WSNs) applied in smart agriculture”, *Computers and Electronics in*

- Agriculture, Vol. 156, January 2019, pp. 500-507, ISSN: 0168-1699.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.016> (M21)
2. **Đ.V. Bandur**, M. Stefanović, M.V. Bandur, “Performance analysis of SSC diversity receiver over correlated Ricean fading channels in the presence of co-channel interference”, Electronics Letters, ISSN 0013-5194; 4/24/2008, Vol. 44, Issue 9, pp. 587-588; DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/el:20080270> (M23) <https://ieeexplore.ieee.org/document/4497343>
 3. M. Bandur, **Đ. Bandur**, B. Jaksic, A. Micić, J. Todorović, “Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Networks in the Presence of a-h- μ Fading, Interference and Noise”, Revue roumaine des sciences techniques, Série Électrotechnique et Énergétique, 2021, Vol. 66 Issue 3, pp. 191- 194; <http://revue.elth.pub.ro/viewpdf.php?id=973>
 4. Branimir Jakšić, Jelena Todorović, **Đoko Bandur**, Branko Gvozdic, Miloš Bandur, Outage Performance of Macrodiversity Reception in the Presence Rayleigh Short-Term Fading and Co-channel Interference, Acta Polytechnica Hungarica, (2021), Vol. 18, No. 7, pp. 171-186; DOI:10.12700/APH.18.7.2021.7.9
http://acta.uniobuda.hu/Jaksic_Todorovic_Bandur_Gvozdic_Bandur_114.pdf (M23)
 5. J. Todorović, B. Jakšić, P. Spalević, **Đ. Bandur**, S. Panić, “Average Bit Error Rate at Signal Transmission with OOK Modulation Scheme in Different FSO Channels”, Technical Gazette, Article ID TV-20190819113450, Vol. 28, No. 3, 2021, pp. 725-732, <https://doi.org/10.17559/TV-20190819113450> (M23)
 6. **Đ. Bandur**, B. Jakšić, A. Raičević, B. Popović, M. Bandur, „Performance Analysis of an IEEE 802.15.4 Network Operating Under κ - μ Fading, Interference and AWGN“ Article, March 2020, Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering; <https://doi.org/10.1007/s40998-020-00329-1> (M23)
 7. S. Suljovic, D. S. Krstic, **Đ. V. Bandjur**, S. Veljkovic, M. C. Stefanovic, “Level Crossing Rate of Macro-Diversity System in the Presence of Fading and Co-Channel Interference”, Revue roumaine des sciences techniques, Série Électrotechnique et Énergétique, 2019, Vol. 64 Issue 1, pp. 63-68; <http://revue.elth.pub.ro/viewpdf.php?id=818> (M23)
 8. **Đ. V. Bandjur**, B. S. Jaksic, S. R. Panic, M. V. Bandur, A. Matovic, E. S. Mekic, “Transmission Over Kappa-Mu Fading Channels with Gamma Distributed Random Line-Of-Sight Components”, Revue roumaine des sciences techniques, Série Électrotechnique et Énergétique, 2017, Vol. 62 Issue 2, pp. 179-184; <http://revue.elth.pub.ro/viewpdf.php?id=670> (M23)
 9. **Đ.V. Bandur**, M.V. Bandur, M. Stefanović, “A new approach to bivariate Hoyt distribution and its application in performance analysis of dual-diversity receivers”, Wireless Personal Communications, Online published: 09. Oct. 2010, pp.1-12, ISSN: 1572-834X (electronic version), 01. April 2012, Vol. 63, Issue 3, pp. 601-612, ISSN: 0929-6212 (print version); <https://doi.org/10.1007/s11277-010-0153-y> (M23)
 10. M. V. Bandjur, **Đ. V. Bandur**, “Performance Analysis of SSC Diversity Receiver over Correlated Hoyt Fading Channels”, Radioengineering, Vol. 21, Issue 1, pp. 110-114, 2012; <http://hdl.handle.net/11012/37020> 12. (M23)
 11. I. Petrovic, Z. Nikolic, M. Stefanovic, S. Panic, P. Spalevic, **Đ. Bandur**, “Multiple Co-Channel Interferers Influence on Selection Combining over Correlated Weibull Fading Channels”, Frequenz, Mar. 2012, Vol. 66, Issue 3-4, pp. 109-113; <https://doi.org/10.1515/freq-2012-0025> (M23)
 12. J. Todorović, B. Jakšić, P. Spalević, **Đ. Bandur**, M. Bandur, “Analysis of Signal Quality in FSO Systems with PolSK Modulation“, Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol.17,

- No.2, June 2020, pp. 171-186; http://www.journal.ftn.kg.ac.rs/Vol_17-2/03-Todorovic-Jaksic-Spalevic-Bandjur-Bandjur.pdf
13. S. Suljović, D. Milić, Z. Nikolić, S. Panić, M. Stefanović, Đ. **Bandur**, "Performance of macro diversity wireless communication system operating in Weibull multipath fading environment", *Facta universitatis - series: Electronics and Energetics*, 2017, Vol.30, Issue4, pp.599-609; <http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUElectEnerg/article/view/2367>
 14. Đ. **Bandur**, B. Jaksic, S. Panic, G. Petkovic, "Moments of Macrodiversity System with Three Microdiversity EGC Receivers in the Presence Gamma Shadowing and $k-\mu$ Multipath Fading", *International Scientific Conference, UNITECH 2015, Gabrovo, Bulgaria, 20-21, November 2015, Proceedings Vol. 2*, pp. 136-141, ISSN 1313-230X.
 15. S. Panic, Đ. **Bandur**, B. Jaksic, I. Dinic, S. Zdravkovic, D. Jaksic, "Level Crossing Rate of Macrodiversity System Operating over Gamma Shadowed Rician Fading Channel", *X-International Symposium Industrial Electronics - INDEL 2014, Banja Luka, 6-8 November 2014*.
 16. M. V. Bandur, Đ. V. **Bandur**, Brankica M. Popović, "Outage probability analysis in shadowed fading channel with multiple cochannel interferences", In *Proceedings of Paper from 21st Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, Nov. 26-28, 2013*, pp. 299-302. ISBN: 978-1-4799-1419-7 DOI: 10.1109/TELFOR.2013.6716230.
 17. S. Minić, D. Krstić, Đ. **Bandur**, V. Milenković, S. Suljović, M. Stefanovic, „Level Crossing Rate of Macrodiversity in the Presence of Gamma Long Term Fading, $k-\mu$ Short Term Fading and Rayleigh Short Term Fading”, *14th International Conference on Data Networks, Communications, Computers (DNCOCO '16), Bern, Switzerland, December 17-19, 2016*;
 18. D. Aleksić, D. Krstić, S. Minić, M. Stefanović, V. Milenković, Đ. **Bandur**, „Outage Probability of Two Relay Systems with Two Sections on Selection Combining in the Presence of $k-\mu$ Short Term Fading”, *14th International Conference on Data Networks, Communications, Computers (DNCOCO '16), Bern, Switzerland, December 17-19, 2016*;
 19. D. Krstić, R. Gerov, V. Milenković, Đ. **Bandur**, Z. Popović, M. Stefanović, "Level Crossing Rate of Macrodiversity with Three Microdiversities in the Presence of Long Term Fading and Mixed Short Term Fading", *14th International Conference on Data Networks, Communications, Computers (DNCOCO '16), Bern, Switzerland, December 17-19, 2016*;
 20. P. Spalević, B. Jakšić, Đ. **Bandur**, A. Marković, V. Simić, "Modelovanje i simulacija prenosa signala kroz optičko vlakno G.652 u okviru DWDM mreže", *XII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH 2013, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 20-22 mart 2013, Vol. 12*, pp. 328-331. ISBN: 978-99955-763-1-8;
 21. M.V. Bandur, Đ.V. **Bandur**, A. Raičević, "Statističke karakteristike izlaznog signala ASK sistema u prisustvu Gausovog šuma, interferencije i Nakagami-m fedinga", *TELFOR '08*, 25-27. Novembar, Beograd, Srbija, str. 344-346 (M63)
 22. **Ђоко Банђур**, Милош Банђур, Принципи модерних телекомуникација, година 2020, ISBN 978-86-81656-06-8; СІР 621.396:004(075.8); COBISS.SR-ID 15662601. Издавач: Факултет техничких наука Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, одлуком бр. 288/3-2 од 08.06.2020. године;
 23. Милош Банђур, **Ђоко Банђур**, Фединг у бежичним телекомуникација, година 2014, ISBN 978-86-80893-54-9, СІР 621.396:004(075.8)(076), COBISS.SR-ID 209102092. Издавач: Факултет техничких наука Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, одлуком бр. 727/3-1 од 25.06.2014. године;

ЗАКЉУЧАК

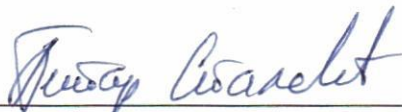
На основу увида у приложену документацију, биографију кандидата и списка објављених радова, комисија закључује да кандидат Ненад Станојевић, дипломирани инжењер електротехнике, формално и суштински испуњава све услове за одобрење теме за израду докторске дисертације у складу са Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици и Статутом Факултета техничких наука у Косовској Митровици.

Предложена тема је актуелна са научног становишта, о чему светоче публиковани резултати из области теме, а добијени резултати имају широку практичну примењивост.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације научно заснована и предлаже да се за ментора одреди проф. др Ђоко Банђур, редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици, а кандидату Ненаду Станојевићу одобри израда докторске дисертације под насловом: *„Прилог статистичким моделима за анализу перформанси FSO система: нови Chi-square – инверзна Gamma модел и његова примена на хибридни RF/FSO систем са Nakagami-m RF федингом“*

У Косовској Митровици и Нишу
_____ године

КОМИСИЈА:



проф. др Петар Спалевић, редовни професор - председник комисије
Факултет техничких наука у Косовској Митровици



проф. др Дејан Милић, редовни професор - члан
Електронски факултет у Нишу



проф. др Ђоко Банђур, редовни професор - ментор
Факултет техничких наука у Косовској Митровици