

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
Бр. 21-991
28 DEC 2021
ПРИШТИНА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО: 28. 12. 2021			
ОРГ ЈЕДИН	БРОЈ	ПРИНОГ	ВРЕДНОСТ
	1603/1		

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и подобности кандидата Јелене Тодоровић.

На основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици, број 1508/3-2 од 06.12.2021. године, именована је Комисија за писање Извештаја о оцени научне заснованости предложене теме докторске дисертације под радним насловом „Нови *Gamma - Chi-square* модел функције расподеле за бежични оптички комуникациони канал“, као и подобности кандидата Јелене Тодоровић.

Комисија у саставу:

1. др Стефан Панић, ред. проф. ПМФ-а у К. Митровици – председник Комисије,
2. др Петар Спалевић, ред. проф. ФТН-а у К. Митровици – члан (ментор),
3. др Дејан Милић, ред. проф. Електронског факултета у Нишу – члан.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Јелена Тодоровић рођена је 1992. године у Приштини, основну школу је завршила у Грачаници, а средњу Електротехничку школу у Сушици (образовни профил – електротехничар рачунара). Основне академске студије је уписала 2011. године на Факултету техничких наука, Универзитет у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, на студијском програму Електротехничко и рачунарско инжењерство, модул Електроника и телекомуникације. Исте је завршила 2015. године са укупном просечном оценом у току студија 9,23 и оценом 10 на завршном раду чиме је стекла стручни назив инжењер електротехнике и рачунарства. Дипломске академске студије на студијском програму Електротехничко и рачунарско инжењерство, модул Електроника и телекомуникације при истом факултету завршила је 2017. године са укупном просечном оценом у току студија 9,60 и оценом 10 на завршном раду чиме је стекла академски назив мастер инжењер електротехнике и рачунарства. Докторске

студије уписала је школске 2017/2018. године на Факултету техничких наука, Универзитет у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, студијски програм Електротехничко и рачунарско инжењерство. Положила је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10,00.

Од 01.03.2018. године радила је као сарадник у настави на Факултету техничких наука, Универзитет у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, а од 01.04.2019. године ангажована је као асистент за ужу научну област Телекомуникације и информациони системи на следећим предметима: Телекомуникације у електроенергетици, Телекомуникационе мреже, Регулатива у телекомуникацијама, Видео системи, Аудио и видео продукција, Компресија података, Оптичке телекомуникације, Принципи модерних телекомуникација, Телевизија, Мултимедијални системи, Пројектовање телекомуникационих мрежа, Практикум из моделовања и симулације у телекомуникационим системима.

Аутор и коаутор је 13 научних радова објављених у следећим категоријама часописа и зборницима научних конференција: три рада у М23, један рад у М24, два рада у М52, шест радова у М33 и један рад у М63. Такође, коаутор је три помоћна уџбеника: „Практикум лабораторијских вежби из моделовања рачунарско - комуникационих система“, „Рачунарске основе интернета: лабораторијске вежбе“ и „Практикум из Телевизије“. Учествовала је на два пројекта из програма Развоја високог образовања, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, као и на пројекту из програма за промоцију и популаризацију науке који финансира Центар за промоцију науке Републике Србије.

2. ПОДОБНОСТ КАНДИДАТА

2.1 Списак објављених радова

Радови објављени у међународним часописима са SCI листе:

1. **Jelena Todorović**, Braminir Jakšić, Petar Spalević, Đoko Bandur, Stefan Panić, *Average Bit Error Rate at Signal Transmission with OOK Modulation Scheme in Different FSO Channels*, Technical gazette, Vol. 28, No. 3, pp. 725-732, June 2021, ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online), DOI: 10.17559/TV-20190819113450 [M23]
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=375245
2. **Jelena Todorović**, Petar Spalević, Stefan Panić, Bojana Milosavljević, Milan Gligorijević, *FSO system performance analysis based on novel Gamma – Chi-square irradiance PDF model*, Optica Applicata, Vol. 51, No. 3, pp. 335-348, 2021, DOI: 10.37190/oa210303 [M23]
<https://opticaapplicata.pwr.edu.pl/article.php?id=2021300335>
3. Branimir Jakšić, **Jelena Todorović**, Đoko Bandur, Branko Gvozdić, Miloš Bandur, *Outage Performance of Macrodiversity Reception in the Presence Rayleigh Short-Term*

Fading and Co-channel Interference, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 18, No. 7, pp. 171-186, 2021, DOI: 10.12700/APH.18.7.2021.7.9 [M23]
http://acta.uni-obuda.hu/Jaksic_Todorovic_Bandur_Gvozdic_Bandur_114.pdf

Радови објављени у међународним и домаћим научним часописима:

1. **Jelena Todorović**, Branimir Jakšić, Petar Spalević, Đoko Bandur, Miloš Bandur, *Analysis of Signal Quality in FSO Systems with PolSK Modulation*, Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 171-186, June 2020, UDC: 621.396.21:621.391.812, ISSN 1451-4869, DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE2002171T> [M24]
http://www.journal.ftn.kg.ac.rs/Vol_17-2/03-Todorovic-Jaksic-Spalevic-Bandjur-Bandjur.pdf
2. Vladimir D. Maksimović, **Jelena M. Todorović**, Branimir S. Jakšić, Mile B. Petrović, Petar Lj. Spalević, *The Impact of Successive B Frames on TV Signal using Different Compression Techniques and Video Resolution*, Telfor Journal, Vol. 11, No. 1, pp. 25-29, 2019. DOI: 10.5937/telfor1901025M [M52]
http://journal.telfor.rs/Published/Vol11No1/Vol11No1_A5.pdf
3. Branimir Jakšić, Vladimir Maksimović, **Jelena Todorović**, Mile Petrović, Petar Spalević, *Sistemi emitovanja i standardi satelitske televizijske transmisije u Evropi*, Tehnika, Vol. 67, No. 6, pp. 827-835, Decembar 2018. ISSN 0040-2176. UDC: 621.391.812. DOI: 10.5937/tehnika1806827J [M52]
<http://www.sits.org.rs/include/data/docs2414.pdf>

Радови објављени у зборницима научно-стручних конференција:

1. **Jelena Todorović**, Branimir Jakšić, Petar Spalević, Majid Alsadi, Ahmad Mohammed Salih, *Simulation of Fso System Operation in Different Atmospheric Conditions*, Proceedings of Sinteza 2020 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, Belgrade, Singidunum University, Serbia, 2020, pp. 193-198. DOI:10.15308/Sinteza-2020-193-198 [M33]
<http://portal.sinteza.singidunum.ac.rs/paper/779>
2. **Jelena Todorović**, Branimir Jakšić, Petar Spalević, Majid Alsadi, Ahmad Mohammed Salih, *Simulation of the 32-channel WDM-FSO system in different atmospheric phenomena*, International Scientific Conference "UNITECH 2020" – Gabrovo, 20-21 November 2020, Gabrovo [M33]
3. **Jelena Todorović**, Branimir Jakšić, Petar Spalević, Mile Petrović, Ana Tošković, *Srednja verovatnoća greške po bitu pri prenosu modulisanog signala u FSO sistemu*, Zbornik radova 63. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN, Srebrno jezero, Srbija, 3-6 jun 2019, pp. 1036-1040. ISBN: 978-86-80509-67-9. [M63]
https://etran.rs/2019/Proceedings_IcETran_ETran_2019.pdf

4. Branimir Jakšić, Đoko Bandur, Vladimir Maksimović, **Jelena Todorović**, Branko Gvozdić, *Struktura TV kanala satelitskih operatera i DTH platformi u Evropi*, Zbornik radova XIX međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma INFOTEH 2020, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 18-20 mart 2020, Vol. 19, pp. 98-103. ISBN: 978-99976-710-6-6. UDC: 007:004(082)(0.034.4) [M33]
<https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2020/radovi/P-1/P-1-3.pdf>
5. Branimir Jakšić, **Jelena Todorović**, Vladimir Maksimović, Petar Spalević, Ratko Ivković, *Terrestrial Digital Radio Services in Europe*, Book of Proceedings - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research - Synthesis 2019, Singidunum University, Novi Sad, Serbia, April 20, 2019, pp. 498-504. ISBN: 978-86-7912-703-7. DOI: 10.15308/Sinteza-2019-498-504 [M33]
<http://portal.sinteza.singidunum.ac.rs/paper/708>
6. Vladimir D. Maksimović, **Jelena M. Todorović**, Petar Lj. Spalević, Mile B. Petrović, Branimir S. Jakšić, *The impact of successive B frames on video using H.264 and H.265 compression techniques*, Proceedings of 26th International Scientifics Conference Telecommunications Forum TELFOR 2018, Belgrade, Serbia, 20-21 November 2018, DOI: 10.1109/TELFOR.2018.8611854 [M33]
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8611854>
7. Dragana Radosavljević, Siniša Ilić, Petar Spalević, Nadica Milenković, **Jelena Todorović**, *Application of non-linear regression for modeling the kinetics of essential oils extraction*, Proceedings of the 27th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2018, Portorož, Slovenia, 17-18 September 2018, pp. 352-355. ISSN: 2591-0442 [M33]
<https://erk.fe.uni-lj.si/2018/program.php>

Помоћни уџбеници:

1. Бранимир Јакшић, Петар Спалевић, **Јелена Тодоровић**, *Практикум лабораторијских вежби из моделовања рачунарско- комуникационих система*, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, 2019. ISBN 978-86-80893-93-8. COBISS.SR-ID 276454412 2
<https://plus.sr.cobiss.net/opac7/bib/276454412>
2. Бранимир Јакшић, **Јелена Тодоровић**, Драгиша Миљковић, *Рачунарске основе интернета: лабораторијске вежбе*, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, 2019. ISBN 978-86-80893-94-5. COBISS.SR-ID 276448780 3
<https://plus.sr.cobiss.net/opac7/bib/276448780>
3. Миле Петровић, **Јелена Тодоровић**, Владимир Максимовић, *Практикум из Телевизије*, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, 2019. ISBN 978-86-80893-92-1. COBISS.SR-ID 276462092
<https://plus.sr.cobiss.net/opac7/bib/276462092>

2.2 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је положила све испите предвиђене студијским програмом докторских студија – Електротехничко и рачунарско инжењерство, објавила више научних радова из области предложене теме, чиме је испунила услове и стекла право да пријави тему докторске дисертације.

На основу претходно изложеног, Комисија констатује да кандидат Јелена Тодоровић, испуњава све формалне услове и да је **ПОДОБНА** да настави рад на предложеној теми.

3. КРАТКО ОБРАЗЛОЖЕЊЕ ТЕМЕ

3.1 Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације је фокусирано на развој новог математичког модела за опис бежичног оптичког комуникационог канала - *FSO* (од енг. *Free Space Optics*) и његову примену у различитим пропагационим окружењима, а све у циљу повећања перформанси бежичних комуникационих система. Једно од главних питања у процесу анализе рада *FSO* система је избор одговарајућег математичког модела за функцију густине вероватноће - *PDF* (од енг. *Probability Density Function*) случајног променљивог сигнала који се простире у различитим условима атмосферске турбуленције. До сада је предложен велики број различитих модела расподеле канала за моделовање различитих нивоа утицаја атмосферске турбуленције. Досадашња истраживања су показала да *Gamma-Gamma* модел и *Rician (Chi-square)* модел могу ефикасно моделовати ефекте вртложних турбуленција у различитим условима. Користећи се *Gamma-Gamma* моделом и *Chi-square* моделом биће предложен нови *Gamma - Chi-square* модел. Предложени модел биће испитан у два случаја који изазивају погоршање перформанси *FSO* система: атмосферске турбуленције и грешка позиционирања. Такође, предложени модел биће испитан и за различите модулационе формате који се примењују у *FSO* системима. У истраживање биће укључена и различита пропагациона окружења као што су хибридни радио-фреквентни и бежични оптички системи, бежичне сензорске мреже, комуникације са беспилотним летелицама и др. Биће израчунато више мера које се користе за описивање перформанси система као што су: вероватноћа отказа, средња вероватноћа грешке по биту, моменти и др. Користећи софтверске пакете *Wolfram Mathematica*, *Matlab* и *Origin* нумерички и симулациони резултати биће представљени табеларно и графички у функцији параметара преносног система и биће извршено поређење резултата са одговарајућим мерама перформанси за стандардне моделе *FSO* канала.

Циљ истраживања је да се новоформиран модел *FSO* канала искористи за моделовање *FSO* система у циљу повећања перформанси бежичних комуникационих система. На основу добијених резултата моћи ће да се утврди које параметре *Gamma - Chi-square* модела и параметре система треба користити на одређеним дужинама *FSO* линка, за које степене атмосферске турбуленције и за које модулационе формате да би

се добио најпоузданији пренос сигнала у *FSO* систему. Користећи представљене резултате може се предвидети понашање *FSO* система за различите моделе модулационих формата и у различитим пропагационим окружењима, што омогућава пројектантима бежичних комуникационих система да за жељене перформансе система направе рационална систематска решења.

3.2 Хипотезе

Полазна хипотеза дисертације је да се искористи понашање постојећих модела за описивање *FSO* канала у развоју новог модела који би пружио боље перформансе система. Наиме, досадашња истраживања су показала да *Gamma-Gamma* модел и *Rician (Chi-square)* модел могу ефикасно моделовати ефекте вртложних турбуленција у различитим условима. Користећи се *Gamma-Gamma* моделом и *Chi-square* моделом биће предложен нови *Gamma - Chi-square* модел.

За одређивање мера перформанси *FSO* система у којима је канал моделован *Gamma - Chi-square* расподелом користиће се стандардизовани математички изрази. Како *Gamma-Gamma* модел и *Chi-square* модел применом одговарајућих математичких апарата омогућавају добијање аналитичких израза у затвореном облику, исто се очекује и применом *Gamma - Chi-square* модела.

Досадашња истраживања су показала да се применом *Monte Carlo* симулације могу успешно симулирати различити математички модели којима се описују *FSO* канали. Како ће се развијен *Gamma - Chi-square* модел састојати од функцијских параметара који су се користили у досадашњим истраживањима очекује се успешна примена *Monte Carlo* симулације у њеном моделовању.

3.3 Преглед досадашњих истраживања

Један од тренутних изазова у бежичним комуникацијама је могућност пружања економичне везе преноса података великим брзинама у апликацијама, где се технологија заснована на радио фреквенцијама - *RF* (од енг. *Radio Frequency*) не може користити или није погодна [1, 2]. На пример, у затвореним окружењима са великом популацијом људи (железничка станица, аеродроми, итд.) и мрежи „последње миље“, где се крајњи корисници, користећи *RF* бежичне технологије, сусрећу са мањим брзинама преноса података и услугама лошијег квалитета. Због ограничене ширине пропусног опсега и високе цене *RF* технологије постоји потреба за разматрањем алтернативних технологија [2, 3]. Трошкови и изазови повезани са инсталацијом оптичких влакана, посебно у руралним подручјима, као и одржавање такве мреже су прилично високи, стога се не узимају у обзир за приступну мрежу последњег километра (мрежа „последње миље“) [4].

Оптичке бежичне комуникације у слободном простору - *FSO* (од енг. *Free Space Optics*) су комуникациона технологија која омогућује бежични гигабитни пренос података у оба смера (*Full Duplex*) [5, 6]. *FSO* комуникација односи се на технологију директне видљивости (*Line of Sight*) која преноси модулисане видљиве или

инфрацрвене зраке кроз атмосферу ради успостављања оптичких комуникација. У неким случајевима *FSO* такође може да користи технологију где нема директне видљивости (*Nonline of Sight*) која користи расејавање или рефлексију [3, 7-9].

Упркос главним предностима *FSO* технологије и разноврсности подручја њене примене, широко распрострањену употребу омела је поузданост везе, посебно на великим дometима, услед фединга изазваних атмосферским турбуленцијама и осетљивости на временске услове [10-13]. Атмосферски *FSO* канал је природни медијум за оптичку бежичну комуникацију на отвореном. Када су услови атмосферског канала лоши, тада на пропуштени светлосни сигнал утичу расејање, апсорпција и турбуленција. Атмосферску турбуленцију углавном карактеришу три параметра: мали (*inner - scale*) и велики (*large - scale*) вртлози турбуленције и индекс рефракције који се понекад назива и јачина турбуленције [14-19]. Нехомогеност температуре, притиска и брзине ветра над каналом мења индекс рефракције атмосфере и ствара флукуацију оптичког интензитета сигнала. Негативни утицаји турбуленције укључују сцинтилације, изобличења, промену фазе, ширење снопа и померање снопа у вертикалном и хоризонталном правцу [15, 20-22]. Још један значајан проблем са *FSO* везама је што се ослањају на перформансе позиционирања. Грешке у системима за праћење, механичко одступање, прецизност ласера и вибрације снопа предајника услед појаве њихања зграда доводе до даљег погоршања перформанси као резултат грешака позиционирања [23-27].

До сада је предложено више различитих модела расподеле канала за моделирање различитих нивоа утицаја атмосферске турбуленције: *Gamma-Gamma* [24, 28], *Log-Normal* [29, 30], Негативна експоненцијална [30, 31], *K* – расподела [30], *I-K* расподела [32, 33], *Rician* [34, 35], *Weibull*-ова расподела [30], Експоненцијална *Weibull*-ова расподела [30, 36], Двострука генерализована *Gamma* расподела [30], *Málaga* расподела [12] и друге које се моделују у функцији од интензитета сигнала или односа сигнал – шум - *SNR* (од енг. *Signal to Noise Ratio*). За све ове моделе се показало да одговарају добијеним резултатима мерења у широком спектру услова турбуленције, будући да су сви формирану узимајући у обзир истовремени утицај како независних великих, тако и малих вртлога турбуленције. У [37, 38] је објашњено како *Log-Normal - Rician* расподела одлично одговара симулираним и експериментално добијеним подацима. Међутим, у [38] извршена је апроксимација *PDF*-а и кумулативне функције расподеле - *CDF* (од енг. *Cumulative Density Function*) *Log-Normal – Rician*-овог модела, пошто се њихови облици не могу аналитички пратити у затвореним облицима. У [34, 39-42] је показано како *Rician (Chi-square)* модел може ефикасно моделирати ефекте вртлога турбуленције у широком спектру услова.

Мотивисани горе наведеним, предложен је нови, аналитички следљиви *Gamma - Chi-square (Gamma - Rician) PDF* модел, добијен као производ *Gamma* и *Chi-square (Rician)* модела, односно модела који одлично представљају вртлоге турбуленције великих и малих размера [43]. *PDF* модел је генерализован, узимајући у обзир ефекте погоршања перформанси услед фединга изазваног грешкама позиционирања у

новодобијену *Gamma - Chi-square* расподелу, слично као што су ови ефекти узети у обзир у [24, 44, 45].

За описивање квалитета преноса сигнала у *FSO* системима користе се многе мере перформанси међу којима се издвајају однос сигнал - шум - *SNR*, вероватноћа отказа - *OP* (од енг. *Outage Probability*), средња вероватноћа грешке по биту - *ABER* (од енг. *Average Bit Error Rate*) и капацитет канала - *CC* (од енг. *Channel Capacity*) [46-49]. За одређивање перформанси система потребно је познавати статистику *FSO* канала.

Бројне модулативне технике могу бити примењене код бежичних оптичких система, стога одређени фактори имају важну улогу приликом одабира модулације. Оптичка снага на предаји је ограничена, па је најбитније да примењена модулативна техника обезбеди енергетску ефикасност. За пренос сигнала у *FSO* системима се користи више модулативних формата, међу којима су најпопуларнији *OOK* (*On-Off Keying*), бинарна фазна модулација - *BPSK* (од енг. *Binary Phase Shift Keying*), диференцијална фазна модулација - *DPSK* (од енг. *Differential Phase Shift Keying*), *FSK* (од енг. *Frequency Shift Keying*), *PolSK* (од енг. *Polarization Shift Keying*) модулација, *MPPM* (од енг. *Multi-Pulse Pulse-Position*) модулација [50-59]. *OOK* формат је релативно једноставан, али не даје супериорне перформансе. *BPSK* формат захтева сложену имплементацију у демодулатору, али даје веома добре перформансе. *DPSK* формат захтева мање сложенију имплементацију од *BPSK*, перформансе су лошије од *BPSK*, али знатно боље од *OOK* [60, 61].

Због свих претходно наведених предности, *FSO* системи су нашли примену у многим комуникационим системима међу којима се издвајају и бежичне сензорске мреже - *WSN* (од енг. *Wireless Sensor Networks*). Широка распрострањеност апликација за мерење и праћење, посебно у руралним подручјима и неприступачним регионима повећала је истраживања усмерена на развој *WSN*-а. *WSN* се састоји од великог броја сензорских чворова који су мултифункционални и имају ограничен извор енергије, па се енергија мора ефикасно користити. Један од главних изазова у *WSN*-у су ограничени енергетски ресурси на дистрибуираним чворовима мале величине. Конкретно, животни век мреже се контролише животним веком батерије, која се не може заменити нити напунити у неадекватним окружењима [62-65].

Примена *FSO* комуникација за *WSN* пренос ће донети значајне предности, као што су већи пропусни опсег, већа безбедност, мања величина предајних и пријемних антена и већа ефикасност преноса [62, 66]. Међутим, када се *WSN* примени у стварним сценаријима, *FSO* линк као његов преносни медијум ће бити под утицајем атмосферских турбуленција, што узрокује проблеме као што су флукуације у интензитету сигнала пријемног информационог центра, као и сметње које ствара грешка позиционирања између пријемне антене и центра снопа сигнала узрокована некомплетном подударношћу [63, 67]. *BER* и други проблеми узроковани због поменутог два феномена погоршавају ефикасност преноса *WSN*-а, а ограничени век трајања батерије је озбиљно погођен. Због тога је неопходно проучити индикаторе учинка као што је просечан *BER FSO* комуникационих линкова под сметњама у *WSN* како би се побољшала оперативна ефикасност читавих мрежа [68, 69]. Пребацивање

начина преноса *WSN*-а са *RF* на *FSO* је превазишло многе недостатке. Иако *WSN* базиран на *RF*-у може да покрије велико подручје, перформансе јој нарушавају индукване сметње, осетљива је на нападе, ограниченог је пропусног опсега и релативно велике потрошње енергије. Као такви, *WSN* базирани на *FSO* са својим бројним добрим предностима предложени су као одрживо решење које може заобићи све горе поменуте недостатке *WSN*-а заснованих на *RF* [68-74].

3.4 Очекивани резултати

Развојем новог *Gamma - Chi-square* модела за описивање *FSO* и његовом применом у различитим пропагационим окружењима очекују се следећи резултати:

- Аналитички изрази за *PDF Gamma - Chi-square* модел и за мере перформанси *FSO* система у којима је примењен наведени новодобијени модел.
- Нумерички и симулациони резултати за мере перформанси *FSO* система у којима је примењен *PDF Gamma - Chi-square* модел.
- Графички приказ понашања перформанси система у функцији параметара преносног система.
- Поређење резултата мера перформанси *FSO* система моделованог *Gamma - Chi-square* расподелом са стандардним расподелама *FSO* канала.
- Поређење резултата мера перформанси *FSO* система за различите дужине *FSO* линка, различите степене атмосферске турбуленције и модулационе формате.
- Проналажење комбинације вредности параметара *FSO* система који дају најбоље перформансе *FSO* система.
- Примена *Gamma - Chi-square* модела за описивање *FSO* канала који се користе за комуникацију у *WSN*, комуникацију са беспилотним летелицама и хибридно *RF/FSO* комуникацију.

Да би се дошло до ових резултата користиће се следеће методологије истраживања:

- Анализа и преглед научне литературе из области *FSO* система, нарочито оних који имају висок степен цитираности и који су објављени у врхунским научним часописима.
- Примена теоријских, аналитичких и нумеричких метода.
- Примена многобројних математичких апарата у циљу добијања аналитичких резултата.
- Примена софтверских пакета у циљу добијања нумеричких резултата.
- Примена различитих метода симулације.
- Верификација аналитичких и нумеричких резултата симулацијама.

3.5 Оквирни садржај

Докторска дисертација ће садржати осам поглавља, увод, шест тематских целина и закључак. На почетку ће бити дат апстракт, кључне речи, садржај и преглед слика, табела и скраћеница.

У **Уводу** дисертације биће ближе појашњена сврха, циљ и намена истраживања са аспекта проучавање области, као и преглед досадашњих истраживања. Такође, биће представљена методологија и алати истраживања као и структура и организација дисертације.

У **другом поглављу** биће дат преглед постојећих статистичких модела за опис простирања сигнала у *FSO* системима, као и њихова анализа. Анализа укључује понашање мера перформанси система са датим расподелама у различитим условима канала (слабљење, атмосферска турбуленција, грешка позиционирања) и за различите модуларне формате сигнала. Биће обухваћени аналитички и нумерички резултати који ће бити графички представљени у зависности од различитих вредности параметара система.

Треће поглавље обухватиће развој новог модела *FSO* канала (*Gamma - Chi-square*) који ће пружити боље перформансе *FSO* система. Биће детаљно приказан поступак добијања новог модела расподеле који ће бити представљен у форми *PDF*-а за два модела слабљења: у присуству искључиво атмосферске турбуленције и у присуству и атмосферске турбуленције и грешке позиционирања. За оба модела слабљења биће представљене две форме *PDF*-а: први је *PDF* у зависности од интензитета сигнала, а други *PDF* у зависности од *SNR*-а. Како би се извео израз за *PDF* у зависности од *SNR*-а примењен је апарат математичког очекивања у циљу добијања тренутног и електричног *SNR*-а. Биће добијен и индекс сцинтилације за разматрани модел. Добијени *PDF* модели биће представљени у форми графика за различите параметре функције. Поред *PDF*-а, биће дата и *CDF*, такође за оба модела слабљења.

У **четвртном поглављу**, добијени *PDF* модели биће употребљени за рачунање аналитичких израза за различите мере перформанси *FSO* система. Аналитички прорачуни обухватаће сложене математичке апарате, решавање комплексних интеграла чија се решења свде на функције као што су *Bessel*-ова функција друге врсте, *Meijer-G* функција, *Fox* функција. Сви аналитички резултати биће представљени у форми графика за различите вредности параметара система. На основу добијених резултата у другом и четвртном поглављу биће дата компаративна анализа за различите моделе *FSO* канала.

У **петом поглављу** посматра се *FSO* систем који се примењује за пренос у *WSN*, а који се заснива на *CCR*-у (од енг. *Corner Cube Retroreflector*). Како би се извршила анализа перформанси *FSO* преноса са *OOK* за *Gamma - Chi-square* модел канала, посматраће се стандардни критеријум перформанси *ABER* и анализирати у функцији параметара система преноса. Изрази затвореног облика за *ABER* сводиће се на тзв. *Fox*-

ову функцију која се јавља као резултат комплексности решавања троструких интеграла услед примене производа два независна канала турбуленције. Како софтверски пакети *Wolfram Mathematica* и *Matlab* не садрже могућност директног прорачуна *Fox*-ових функција биће примењена надоградња постојећих програмских кодова у програмском језику *C* за њихово нумеричко решавање. Поред тога, анализираће се *FSO-WSN* систем који се заснива на хибридној *PPM-BPSK-SIM* (од енг. *Pulse Position Modulation - Binary Phase Shift Keying - Subcarrier Intensity Modulation*) модулационом формату за *Gamma - Chi-square* модел канала, у чијим ће условима бити изведени и графички представљени *ABER*, вероватноћа отказа и капацитет канала.

Шесто поглавље обухватиће анализу примене новоразвијеног модела у хибридном *RF/FSO* системима у *WSN* у циљу добијања бољих перформанси система. Најпре ће бити израчунате статистичке карактеристике *RF* дела линка који је описан неком од расподела за моделовање *RF* канала (*Rayleigh*, *Nakagami-m*, *Rician*). Биће одређен *ABER*, *CEP* (од енг. *Chip Error Probability*), *SEP* (од енг. *Symbol Error Probability*), *PEP* (од енг. *Packet Error Probability*) у присуству фединга и међуканалне интерференције. Затим ће бити израчуната вероватноћа отказа, односно укупног *SNR*-а *RF/FSO* система и то за два случаја: када је *FSO* деоница под утицајем само атмосферске турбуленције и када је под утицајем атмосферске турбуленције и грешке позиционирања. Прорачуни ће бити урађени за присуство *Nakagami-m* фединга за *RF* канал и *Gamma - Chi-square* за *FSO* канал. Изведени изрази су основа за добијање других перформанси система. Такође, разматраће се рад *WSN*-а базираних само на *RF* комуникацијама, на основу чега ће бити дата компарација са хибридном *RF/FSO* моделом.

У **седмом поглављу** биће одређене мере перформансе комуникационог система који укључује беспилотне летелице - *UAV* (од енг. *Unmanned Aerial Vehicles*), односно пренос података између беспилотних летелица и пренос података између беспилотне летелице и фиксне земаљске станице када се *FSO* канали моделују новоразвијеном *Gamma - Chi-square* расподелом. На основу понашања *ABER*-а биће утврђено која комбинација вредности системских параметара даје најбоље перформансе анализираног система. Добијени резултати биће поређени са резултатима доступним у литератури, а који се односе на примену стандардних модела за описивање *FSO* канала у *UAV* комуникацијама.

Након седмог поглавља биће дат **Закључак** са освртом на карактеристике новоразвијеног модела, као и на целокупно спроведено истраживање. Биће представљене предности предложеног модела у односу на постојеће моделе *FSO* канала, као и правци будућих истраживања.

Након закључка биће дата листа референци коришћених у истраживању.

3.6 Література

- [1] K. Prabu, S. Thakkar, *Analysis of FSO Link with Time Diversity over M-Distribution Channel Model with Pointing Errors and GVD Effects*, Optics Communications, Vol. 421, pp. 115-124, 2018.
- [2] I. K. Son, S. Mao, *A Survey of Free Space Optical Networks*, Digital Communications and Networks, Vol. 3, No. 2, pp. 67-77, 2016.
- [3] M. A. Khalighi, M. Uysal, *Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspectiv*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 16, No. 4, pp. 2231–2258, 2014.
- [4] M. A. Al-Habash, L. C. Andrews, R. L. Phillips, *Mathematical model for the irradiance probability density function of a laser beam propagating through turbulent media*, Optical Engineering, Vol. 40, No. 8, pp. 1554-1562, 2001.
- [5] I. I. Kim, B. McArthur, E. Korevaar, *Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications*, Proc. SPIE Opt. Wireless Communications, Vol. 4214, pp. 26-37, 2001.
- [6] V. Stamatios, *Next Generation Intelligent Optical Networks - From Access to Backbone*, New York, USA: Springer, 2008.
- [7] A. K. Majumdar, *Advanced Free Space Optics (FSO)*, New York: Springer-Verlag
- [8] L. C. Andrews, R. L. Phillips, *Laser beam propagation through random media*, 2nd ed. Bellingham, USA: SPIE Press, 2005
- [9] S. Arnon, J. Barry, G. K. Karagiannidis, R. Schober, M. Uysal, *Advanced Optical Wireless Communication Systems*, Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [10] H. Henniger, O. Wilfert, *An Introduction to Free-Space Optical Communications*, Radioengineering, Vol. 19, No. 2, pp. 203-212, 2010.
- [11] O. Hasan, M. Taha, *Optimized FSO System Performance over Atmospheric Turbulence Channels with Pointing Error and Weather Conditions*, Radioengineering, Vol. 25, No. 4, pp. 658-665, 2016.
- [12] K. A. Balaji, K. Prabu, *BER analysis of relay assisted PSK with OFDM ROFSO system over Malaga distribution including pointing errors under various weather conditions*, Optics Communications, Vol. 426, pp. 187–193, 2018.
- [13] H. A. Fadhil, A. Amphawan, H. A. B. Shamsuddin, T. H. Abd, H. M. R. Al-Khafaji, S.A. Aljunid, N. Ahmeda, *Optimization of free space optics parameters: An optimum solution for bad weather conditions*, Optik, Vol. 124, No. 19, pp. 3969–3973, 2013.
- [14] M. B. El Mashade, A. H. Toeima, *Performance Characterization of Spatial Diversity Based Optical Wireless Communication over Atmospheric Turbulence Channels*, Radioelectronics and Communications Systems, Vol. 61, No. 4, pp. 135–152, 2018.
- [15] H. E. Nistazakis, T. A. Tsiftsis, G. S. Tombras, *Performance Analysis of Free-Space Optical Communication Systems over Atmospheric Turbulence Channels*, IET Communications, Vol. 3, No. 8, pp. 1402-1409, 2009.
- [16] M. A. Kashani, M. Uysal, M. Kavehrad, *A novel statistical channel model for turbulence-induced fading in free-space optical systems*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 33, No. 11, pp. 2303-2312, 2015.
- [17] A. Jurado-Navas, J. M. Garrido-Balsells, J. F. Paris, A. Puerta-Notario, *A unifying statistical model for atmospheric optical scintillation*, arXiv preprint arXiv:1102.1915, 10.5772/1828(Chapter 8), 2011.
- [18] S. M. Aghajanzadeh, M. Uysal, *Diversity-multiplexing trade-off in coherent free-space optical systems with multiple receivers*, Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 2, No. 12, pp. 1087– 1094, 2010

- [19] G. K. Varotsos, H.E. Nistazakis, Ch.K. Volos, G.S. Tombras, *FSO Links with Diversity Pointing Errors and Temporal Broadening of the Pulses over Weak to Strong Atmospheric Turbulence Channels*, *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 127, No. 6, pp. 3402-3409, 2016.
- [20] N. D. Chatzidiamantis, H. G. Sandalidis, G. K. Karagiannidis, S. A. Kotsopoulos, M. Matthaiou, *New results on turbulence modeling for free-space optical systems*, *Proceedings of 2010 17th IEEE International Conference on Telecommunications (ICT)*, Doha, Qatar, pp. 487-492, April 4-7, 2010.
- [21] S. Malik, P. K. Sahu, *Performance Analysis of Free Space Optical Communication System Using Different Modulation Schemes over Weak to Strong Atmospheric Turbulence Channels*, *Optical and Wireless Technologies*, pp. 387-399, 2019.
- [22] K. P. Peppas, P. T. Mathiopoulos, *Free Space Optical Communication with Spatial Modulation and Coherent Detection over H-K Atmospheric Turbulence Channels*, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 33, No. 20, pp. 4221-4232, 2015.
- [23] R. de S. C. Bessoni, L. F. S. e Silva, V. G. A. Carneiro, M. T. M. R. Giraldo, *A Comparison of Different Modeling Approximations for a FSO Channel with Radial Displacement*, *Proceeding of 2015 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Brazil, November 03 - 06, 2015.
- [24] H. G. Sandalidis, T. A. Tsiftsis, G. K. Karagiannidis, *Optical wireless communications with heterodyne detection over turbulence channels with pointing errors*, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 27, No. 20, pp. 4440-4445, 2009.
- [25] N. Milošević, M. Petković, G. Djordjević, *Average BER of SIM-DPSK FSO system with multiple receivers over M-distributed atmospheric channel with pointing errors*, *IEEE Photonics Journal*, Vol. 9, No. 4, pp. 1-10, 2017.
- [26] G. T. Djordjević, M. I. Petković, M. Spasić, D. S. Antić, *Outage capacity of FSO link with pointing errors and link blockage*, *Optics Express*, Vol. 24, No. 1, pp. 219-230, 2016.
- [27] A. A. Farid, S. Hranilović, *Outage capacity optimization for free-space optical links with pointing errors*, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 25, No. 7, pp. 1702-1710, 2007.
- [28] N. Badar, R. K. Jha, *Performance comparison of various modulation schemes over free space optical (FSO) link employing Gamma-Gamma fading model*, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 49, No. 5, p. 192, 2017.
- [29] L. Yang, X. Song, J. Cheng, J. F. Holzman, *Free-Space Optical Communications Over Lognormal Fading Channels Using OOK With Finite Extinction Ratios*, *IEEE Access*, Vol. 4, pp. 574-584, 2016.
- [30] K. Anbarasi, C. Hemanth, R. G. Sangeetha, *A review on channel models in free space optical communication systems*, *Optics & Laser Technology*, Vol. 97, pp. 161-171, 2017.
- [31] H. E. Nistazakis, V. D. Assimakopoulos, G. S. Tombras, *Performance estimation of free space optical links over negative exponential atmospheric turbulence channels*, *Optik*, Vol. 122, No. 24, pp. 2191-2194, 2011.
- [32] L. Andrews, R. Phillips, *Mathematical genesis of the I-K distribution for random optical fields*, *Journal of Optical Society of America A*, Vol. 3, No. 11, pp. 1912-1919, 1986.
- [33] E. Jarangal, D. Dhawan, *Comparison of channel models based on Atmospheric turbulences of FSO system- A Review*, *International Journal of Research in Electronics and Computer Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 282-286, 2018.
- [34] H. Zhou, W. Xie, L. Zhang, Y. Bai, W. Wei, Y. Dong, *Performance analysis of FSO coherent BPSK systems over Rician turbulence channel with pointing errors*, *Optics Express*, Vol. 27, No. 19, pp. 27062-27075, 2019.
- [35] J. H. Churnside, S. F. Clifford, *Log-normal Rician probability-density function of optical scintillations in the turbulent atmosphere*, *Journal of Optical Society of America A*, Vol. 4, No. 10, pp. 1923-1930, 1987.

- [36] A. Md. Mobasher, A. Kazi Tanvir, H. Alamgir, H. Md. Rabiul, *Performance of Free Space Optical Communication Systems Over Exponentiated Weibull Atmospheric Turbulence Channel for PPM and its Derivatives*, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 127, No. 20, pp. 9647-9657, 2016.
- [37] J. H. Churnside, R. G. Frehlich, *Experimental evaluation of log-normally modulated Rician and IK models of optical scintillation in the atmosphere*, Journal of the Optical Society of America A, Vol. 6, No. 11, pp. 1760–1766, 1989.
- [38] F. Yang, J. Cheng, *Coherent free-space optical communications in Lognormal-Rician Turbulence*, IEEE Communications Letters, Vol. 16, No. 11, pp. 1872–1875, 2012.
- [39] A. Belmonte, J. M. Kahn, *Performance of synchronous optical receivers using atmospheric compensation techniques*, Optics Express, Vol. 16, No. 18, pp. 14151–14162, 2008.
- [40] S. Panić, H. Milošević, B. Prlinčević, *Performance analysis of FSO transmission of double watermarked image over the Double Rician turbulence channel*, Proceedings of First West Asian Colloquium on Optical Wireless Communications (WACOWC), Isfahan, Iran, April 25, 2018.
- [41] S. Panić, H. Milošević, S. Vasić, V. Milenković, *Dynamical characteristics of the FSO transmission capacity in the presence of Rician turbulence*, Proceedings of 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Jogjakarta, Indonesia, March 6-7, 2018.
- [42] B. P. Prlinčević, S. R. Panić, P. C. Spalević, M. A. Mišić, A. Amnesi, V. Stanojević, *On the transmission of double watermarked image over Rician FSO channel*, Elektronika ir Elektrotehnika, Vol. 22, No. 3, pp. 83–88, 2016.
- [43] J. Todorović, P. Spalević, S. Panić, B. Milosavljević, M. Gligorijević, *FSO system performance analysis based on novel Gamma – Chi-square irradiance PDF model*, Optica Applicata, Vol. 51, No. 3, pp. 335-348, 2021.
- [44] I. S. Ansari, M. S. Alouini, J. Cheng, *Ergodic capacity analysis of free-space optical links with nonzero boresight pointing errors*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 14, No. 8, pp. 4248–4264, 2015.
- [45] 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.
- [46] K. Prabu, D. S. Kumar, T. Srinivas, *Performance analysis of FSO links under strong atmospheric turbulence conditions using various modulation schemes*, Optik, Vol. 125, No. 19, pp. 5573-5581, 2014.
- [47] M. Perić, B. Jakšić, D. Aleksić, D. Randjelović, M. Stefanović, *Outage Probability of Macrodiversity Reception in the Presence Fading and Weibull Co-Channel Interference*, Technical Gazette, Vol. 25, No. 2, pp. 376-381, 2018.
- [48] P. Saxena, A. Mathur, M. R. Bhatnagar, *BER performance of an optically pre-amplified FSO system under turbulence and pointing errors with ASE noise*, Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 9, No. 6, pp. 498-510, 2017.
- [49] J. Park, E. Lee, C.-B. Chae, G. Yoon, *Outage Probability Analysis of a Coherent FSO Amplify-and-Forward Relaying System*, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 27, No. 11, pp. 1204-1207, 2015.
- [50] Z. Wang, W-D. Zhong, S. Fu, C. Lin, *Performance comparison of different modulation formats over free-space optical (FSO) turbulence links with space diversity reception technique*, IEEE Photonics Journal, Vol. 1, No. 6, pp. 277–285, 2010.
- [51] H. Singh, A. S. Sappal, *Analytic and simulative comparison of turbulent FSO system with different modulation techniques*, Optics & Laser Technology, Vol. 114, pp. 49–59, 2019.
- [52] Sawhil, P. Bhardwaj, *Effect of atmospheric turbulence and pointing error on OOK in free space optics*, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 59, No. 3, pp. 122-126, 2018.

- [53] P. Wang, B. Yang, L. Guo, T. Shang, *SER performance analysis of MPPM FSO system with three decision thresholds over exponentiated Weibull fading channels*, Optics Communications, Vol. 354, pp. 1–8, 2015.
- [54] H. S. Khallaf, J. M. Garrido-Balsells, H. M. H. Shalaby, S. Sampei, *SER Analysis of MPPM-Coded MIMO-FSO System over Uncorrelated and Correlated Gamma-Gamma Atmospheric Turbulence Channels*, Optics Communications, Vol. 356, pp. 530–535, 2015.
- [55] E. E. Elsayed, B. B. Yousif, *Performance enhancement of the average spectral efficiency using an aperture averaging and spatial-coherence diversity based on the modified-PPM modulation for MISO FSO links*, Optics Communications, Vol. 463, 2020.
- [56] J. Zhang, Z. Li, A. Dang, *Performance of Wireless Optical Communication Systems under Polarization Effects over Atmospheric Turbulence*, Optics Communications, Vol. 416, pp. 207–213, 2018.
- [57] J. Jeyaseelan, D. S. Kumar, B. E. Caroline, *PolSK and ASK Modulation Techniques Based BER Analysis of WDM-FSO System for Under Turbulence Conditions*, Wireless Personal Communications, Vol. 103, No. 4, pp. 3221–3237, 2018.
- [58] 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, Vol. 28, No. 3, pp. 725–732, 2021.
- [59] 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, pp. 171–186, 2020.
- [60] H. Zhang, C. Li, C. Hao, *Performance analysis for BPSK, DPSK and OOK-based FSO system in atmospheric turbulence conditions*, International Journal of Simulation - Systems, Science & Technology, Vol. 17, No. 36, pp. 371–376, 2016.
- [61] J. Todorović, B. Jakšić, P. Spalević, M. Petrović, A. Tošković, *Srednja verovatnoća greške po bitu pri prenosu modulisanog signala u FSO sistemu*, Zbornik radova 63. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN, Srebrno jezero, Srbija, pp. 1036–1040, 3–6 jun 2019.
- [62] S. Althunibat, Z. Altarawneh, R. Mesleh, *Performance analysis of free space optical-based wireless sensor networks using corner cube retroreflectors*, Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, Vol. 30, No. 12, pp. 1–17, 2019.
- [63] Y. Wu, Y. Hao, H. Liu, L. Zhao, T. Jiang, D. Deng, Z. Wei, *Performance Improvement for Wireless Sensors Networks by Adopting Hybrid Subcarrier Intensity Modulation over Exponentiated Weibull Turbulence Channels*, IEEE Access, Vol 8, pp. 118612–118622, 2020.
- [64] D.-K. Jeong, C.-S. Park, D. Kim, *Statistical Analysis of Noise Propagation Effect for Mixed RF/FSO AF Relaying Application in Wireless Sensor Networks*, Sensors, Vol. 20, No. 4, pp. 1–10, 2020.
- [65] T. Rault, A. Bouabdallah, Y. Challal, *Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks: a top-down survey*, Computer Networks, Elsevier, Vol. 67, No. 4, pp. 104–122, 2014.
- [66] S. Shammaa, P. Verma, *Interconnection of IEEE 802.15.4 islands through free space optical communication links*, 2011 5th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), Honolulu, HI, USA, December 12–14, 2011.
- [67] F. Nadeem, S. Chessa, E. Leitgeb, S. Zaman, *The Effects of Weather on the Life Time of Wireless Sensor Networks Using FSO/RF Communication*, Radioengineering, Vol. 19, No. 2, pp. 262–270, 2010.
- [68] A. Nayak, *Performance analysis of LT codes and BCH codes in RF and FSO Wireless Sensor Networks*, 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Delhi, India, pp. 87–92, September 24–27, 2014.
- [69] A. Goswami, A. Kumar, *Performance Analysis of Wireless Sensor Networks over $\alpha - \mu$ /Gamma, $\eta - \mu$ /Gamma and $k - \mu$ /Gamma Composite Channels*, 2019 10th International Conference on

- Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Kanpur, India, July 6-8, 2019.
- [70] A. Sevincer, A. Bhattarai, M. Bilgi, M. Yuksel, N. Pala, *LIGHTNETs: Smart LIGHTing and Mobile Optical Wireless NETWORKs — A Survey*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 4, pp. 1620–1641, 2013.
- [71] S. Deng, J. Liao, Z. R. Huang, M. Hella, K. Connor, *Wireless connections of sensor network using RF and free space optical links*, Next-Generation Communication and Sensor Networks 2007, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 6773, 2007.
- [72] B. Makki, T. Svensson, K. Buisman, J. Perez, M.-S. Alouini, *Wireless Energy and Information Transmission in FSO and RF-FSO Links*, IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 7, No. 1, pp. 90-93, 2018.
- [73] S. A. Khan, S. A. Arshad, *QoS Provisioning Using Hybrid FSO RF Based Hierarchical Model for Wireless Multimedia Sensor Networks*, (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 4, No. 1 & 2, 2009.
- [74] F. Nadeem, E. Leitgeb, M. S. Awan, S. Chessa, *Comparing the Life Time of Terrestrial Wireless Sensor Networks by Employing Hybrid FSO/RF and Only RF Access Networks*, IEEE 2009 Fifth International Conference on Wireless and Mobile Communications, Cannes/La Bocca, France, pp. 134–139, August 23-29, 2009.

5. ПРЕДЛОГ ЗА ИМЕНОВАЊЕ МЕНТОРА

На основу детаљне анализе приложене документације Комисија предлаже да се менторство израде докторске дисертације повери **проф. др Петру Спалевићу**, редовном професору Факултета техничких наука у Косовској Митровици.

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

1. Jelena Todorović, Braminir Jakšić, **Petar Spalević**, Đoko Bandur, Stefan Panić, *Average Bit Error Rate at Signal Transmission with OOK Modulation Scheme in Different FSO Channels*, Technical gazette, Vol. 28, No. 3, pp. 725-732, June 2021, ISSN 1330-3651 (Print), ISSN 1848-6339 (Online), DOI: 10.17559/TV-20190819113450
https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=375245
2. Jelena Todorović, **Petar Spalević**, Stefan Panić, Bojana Milosavljević, Milan Gligorijević, *FSO system performance analysis based on novel Gamma – Chi-square irradiance PDF model*, Optica Applicata, Vol. 51, No. 3, pp. 335-348, 2021, DOI: 10.37190/oa210303
<https://opticaapplicata.pwr.edu.pl/article.php?id=2021300335>
3. Zoran H. Peric, Aleksandar V. Markovic, Natasa Z. Kontrec, Stefan R. Panic, **Petar Spalevic**, *Novel Composite Approximation for the Gaussian Q-Function*, Elektronika Ir Elektrotehnika, Vol. 26, No. 5, pp. 33-38, 2020, ISSN 1392-1215, DOI: 10.5755/j01.eie.26.5.26012
<https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/26012>

4. Marko Smilić, Zorica Nikolić, Dejan Milić, **Petar Spalević**, Stefan Panic, *Comparison of adaptive algorithms for free space optical transmission in Malaga atmospheric turbulence channel with pointing errors*, IET Communications, Vol. 13, No. 11, pp. 1578-1585, 2019, DOI: 10.1049/iet-com.2018.5666
<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-com.2018.5666>
5. Aleksandar V. Marković, Zoran H. Perić, Stefan R. Panić, **Petar C. Spalević**, Bojan P. Princević, *An Improved Method for ASEP Evaluation over Fading Channels Based on Q-Function Approximation*, IETE Journal of Research, Vol. 64, No. 6, pp. 777-784, 2018, DOI: 10.1080/03772063.2017.1369910
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03772063.2017.1369910>
6. Nenad Milosevic, Mihajlo Stefanovic, Zorica Nikolic, **Petar Spalevic**, Caslav Stefanovic, *Performance Analysis of Interference-Limited Mobile-to-Mobile kappa-mu Fading Channel*, Wireless Personal Communications, Vol. 101, No. 3, pp. 1685-1701, 2018, DOI: 10.1007/s11277-018-5784-4
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11277-018-5784-4>
7. Milos N. Ilic, Bojan P. Princevic, **Petar C. Spalevic**, Stefan R. Panic, Dejan D. Drajić, *On the Transmission of Colour Image Over Double Generalized Gamma FSO Channel*, Elektronika Ir Elektrotehnika, Vol. 23, No. 2, pp. 79-83, 2017, DOI: 10.5755/j01.eie.23.2.18004
<https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/18004>
8. Branimir Jaksic, Dusan Stefanovic, Mihajlo Stefanovic, **Petar Spalevic**, Vladeta Milenkovic, *Level Crossing Rate of Macrodiversity System in the Presence of Multipath Fading and Shadowing*, Radioengineering, Vol. 24, No. 1, pp. 185-191, 2015, DOI: 10.13164/re.2015.0185
https://www.radioeng.cz/fulltexts/2015/15_01_0185_0191.pdf
9. **Petar C. Spalevic**, Mihajlo C. Stefanovic, Stefan R. Panic, Branimir S. Jaksic, Mile B. Petrovic, *Performance Analysis of Selecting Maximal Ratio Combining Hybrid Diversity System over Ricean Fading Channels*, Automatika, Vol. 55, No. 3, pp. 299-305, DOI: 10.7305/automatika.2014.12.421
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.7305/automatika.2014.12.421>
10. Dejan Jaksic, Risto Bojovic, **Petar C Spalevic**, Dusan M. Stefanovic, Slavisa Trajkovic, *Performance Analysis of 5G Transmission over Fading Channels with Random IG Distributed LOS Components*, International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2017, Article ID 4287586, pp.1-5, 2017, ISSN: 1687-5869 (Print), ISSN: 1687-5877 (Online), DOI: 10.1155/2017/4287586
<https://www.hindawi.com/journals/ijap/2017/4287586/>
11. Veljko Stankovic, **Petar C Spalevic**, *Cooperative relaying with block DFT processing and full-duplex relays*, Electronics Letters, Vol. 49, No. 4, pp. 300-302, 2013, Print ISSN 0013-5194, Online ISSN 1350-911X, DOI: 10.1049/el.2012.4042
<https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el.2012.4042>

ЗАКЉУЧАК

На основу увида у приложену документацију, биографију кандидата и списка објављених радова, Комисија закључује да кандидат Јелена Тодоровић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, 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 сведоче већ публиковани резултати из области теме, а добијени резултати имају широку практичну применљивост.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације научно заснована и предлаже да се за ментора одреди проф. др Петар Спалевић, редовни професор Факултета техничких наука, а кандидату Јелени Тодоровић одобри израда докторске дисертације под насловом „**Нови Γ - χ^2 модел функције расподеле за бежични оптички комуникациони канал**“.

У Косовској Митровици и Нишу,

_____ године



КОМИСИЈА:

_____ проф. др Стефан Панић, редовни професор – председник комисије
Природно-математички факултет у Косовској Митровици



_____ проф. др Петар Спалевић, редовни професор – ментор
Факултет техничких наука у Косовској Митровици



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