

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовео комисију: Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука; Решење број 012-199/22-2023 од дана 28.03.2024.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Славиша Томић	ванредни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 01.02.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Универзитет Лузофона, Лисабон, Португал		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Чедомир Стефановић	редовни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 01.01.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Технички Факултет за ИТ и Дизајн, Алборг Универзитет, Копенхаген, Данска		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Каролина Касаш-Лажетић	ванредни професор	Теоријска електротехника, 13.06.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Милица Петковић	доцент	Телекомуникације и обрада сигнала, 15.07.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. др Дејан Вукобратовић	редовни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 01.04.2019.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. др Марко Беко	Редовни професор	Телекомуникације и обрада сигнала, 01.07.2018.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Универзитет Лузофона, Лисабон, Португал		ментор

установа у којој је запослен-а	функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Тијана, Дубравка, Деваја 2. Датум рођења, општина, држава: 09.08.1993, Нови Сад, Србија 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Мастер академске студије, Мастер електротехнике и рачунарства 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2017, Енергетика, електроника и телекомуникације 	
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:	
Дизајн и анализа масивне мреже интернета ствари у режиму преноса кратких порука (Design and analysis of massive IoT networks in finite block-length regime)	
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:	
<p>Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл. Дисертација садржи 140 нумерисаних страница, 1 табела, 26 слике, 5 прилога и 93 референце.</p> <p>Садржај дисертације по поглављима је следећи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Introduction</i> (Увод) 2. <i>Error Probability Analysis of LP WAN Networks in Nearest Base Station Regime</i> (Анализа вероватноће грешке у режиму најближе базне станице) 3. <i>Error Probability Analysis of LP WAN Networks in Macro diversity reception Regime</i> (Анализа вероватноће грешке у режиму макро диверзитетија) 4. <i>Slotted Aloha with Capture for OWC-based IoT: Finite Block-Length Performance Analysis</i> (Анализа перформанси у режиму коначне дужине блокова за интернет ствари у оптичким бежичним комуникацијама) 5. <i>Massive Machine-Type Communications via Hybrid OWC/RF Networks in Finite Block-Length Regime</i> (Масивне комуникације машинског типа преко хибридних ОВЦ/РФ мрежа у режиму коначне дужине блока) 8. <i>Conclusions</i> (Закључци) 	

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. *Introduction* (Увод)

Прво поглавље дисертације пружа широки преглед тренутног стања у области примене стохастичке геометрије, тачкастих процеса, интерференције у Поасоновим мрежама и теорије информација које чине основу за анализу вероватноће грешке у бежичним комуникацијама. Описује се релевантна литература и истраживања која су до сада спроведена у овој области. Поглавље такође уводи предмет истраживања дисертације, а то је израчунавање вероватноће грешке у бежичним мрежама у различитим режимима рада. Описане су методе и примене које ће бити разрађене – режими најближе базне станице и макроскопског диверзитија, као и примена изведених математичких формула у оптичким бежичним комуникацијама. На крају, даје се преглед доприноса дисертације.

2. *Error Probability Analysis of LP WAN Networks in Nearest Base Station Regime* (Анализа вероватноће грешке и режиму најближе базне станице)

У овом поглављу анализира се вероватноћа грешке комуникације кратких пакета у масивним мрежама интернета ствари ИоТ (ИоТ - *Internet of Things*) и побољшавају се претходна истраживања на неколико начина. Прво, прецизира се постојећа грешка заснована на прагу у режиму кратких порука (ФБЛ). Користећи резултате ФБЛ теорије информација, изводе се нови приближни изрази за вероватноћу грешке у ФБЛ режиму и упоређују се са класичним резултатима заснованим на прагу. Друго, за резултате засноване на асимптотичком прагу, представља се нови израз за вероватноћу грешке затвореног облика под Накагами-м федингом, чиме се побољшавају постојећи резултати у литератури.

3. *Error Probability Analysis of LP WAN Networks in Macro diversity reception Regime* (Анализа вероватноће грешке у режиму макро диверзитија)

У овом поглављу анализира се вероватноће грешке комуникација са кратким пакетима у масивним ИоТ мрежама у макро диверзити случају и упоређују се перформансе са режимом описаним у другом поглављу за случај најближе базне станице.

4. *Slotted Aloha with Capture for OWC-based IoT: Finite Block-Length Performance Analysis* (Анализа перформанси у режиму коначне дужине блокова за интернет ствари у оптичким бежичним комуникацијама)

Главна новина у овом поглављу је анализа вероватноће грешке заснована на ФБЛ теорији, као и анализа укупне пропусности система и поузданости у погледу вероватноће отказа у оптичким бежичним системима (ОВЦ). ФБЛ анализа перформанси за ову врсту ИоТ система заснованог на оптичким бежичним комуникацијама представља одговарајућу метод за одређивање параметара система током пројектовања, са циљем постизања оптималних перформанси протокола који се баве расподелом ресурса.

5. *Massive Machine-Type Communications via Hybrid OWC/RF Networks in Finite Block-Length Regime* (Масивне комуникације машинског типа преко хибридних ОВЦ/РФ мрежа у режиму коначне дужине блока)

У овом поглављу анализира се двослојни хибридни ОВЦ/РФ (RF – Radio Frequency) систем који комбинује велики број унутрашњих ИоТ уређаја заснованих на оптичким бежичним комуникацијама са РФ мрежом. Унутрашњи оптички бежични пријемник делује као ОВЦ/РФ релеј који прослеђују декодовани пакет ка суседним базним станицама које су део широкопојасних мрежа са малом потрошњом снаге ЛП ВАН (LP WAN – Low Power Wide Area Networks) преко спољашњег РФ - базираног ЛП ВАН-а.

8. *Conclusions* (Закључци)

У завршном поглављу, износе се закључци добијени из истраживања и анализе презентованих резултата. Истичу се главни доприноси дисертације у вези са применом изведених математичких израза за вероватноћу грешке у различитим режимима рада. Такође се дискутује о потенцијалним унапређењима и даљим истраживањима која могу произаћи из овог рада. У целини, резултати указују на велики потенцијал примене затворених израза којима је олакшано израчунавање вероватноће грешке у бежичним комуникацијама. Ова теза доприноси разумевању и примени ових

метода, пружајући основу за даље истраживање.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Списак резултата M22 - Рад у врхунском међународном часопису

1. T. Devaja, M. Petković, F. J. Escribano, Č. Stefanović and D. Vukobratović, "Slotted Aloha With Capture for OWC-Based IoT: Finite Block-Length Performance Analysis," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 76804-76815, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3287931.
2. Devaja, M. Petkovic, C. Wang, M.Beko and D. Vukobratovic, "On Error Probability Analysis of Short-Packet Communications in Massive Internet of Things," *IEEE Access*, (accepted).

Списак резултата M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. T. Devaja, Đ. Novakovic and Ž. Bojovic "Monitoring of HRV parametar in order to detect physical stress", *Telfor Journal, Telecommunications, Society and Academic Mind*, Belgrade, 2017, DOI: 10.1109/TELFOR.2017.8249294.
2. T. Devaja, Ž. Bojović, A. Žunić, "SDN Cloud Platform for Smart Vehicles", *10th international conference on Internet of Things*, Venice, Italy, 2018.
3. T. Devaja, D. Vukobratovic, D. Bajovic, G. Gardasevic: "Scheduling in 6TiSCH Networks via Max-Product Message Passing," *IEEE EUROCON 2019*, Novi Sad, Serbia, July 2019, doi: 10.1109/EUROCON.2019.8861979.
4. M. Cosovic, T. Devaja, D. Bajovic, J. Machaj, G. McCutcheon, L. Stankovic, V. Stankovic, D. Vukobratovic: "Distributed Intelligent Illumination Control in the Context of Probabilistic Graphical Models," *4th Conference on Smart and Sustainable Technologies SpliTech 2019*, Bol (Brac), Croatia, June 2019, doi: 10.23919/SpliTech.2019.8783018.
5. T. Devaja, M. Petkovic, A. Munari, F. Clazzer, M. Beko and D. Vukobratovic, "Massive Machine-Type Communications via Hybrid OWC/RF Networks," *13th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*, 2022, doi: 10.1109/CSNDSP54353.2022.9907922.
6. M. Petkovic, T. Devaja, D. Vukobratovic, F. J. Escribano, and C. Stefanovic, "Reliability Analysis of Slotted Aloha with Capture for an OWC-based IoT system", in *Proc. 2021 17th International Symposium On Wireless Communication Systems (ISWCS)*, pp. 1-6, 2021, doi: 10.1109/ISWCS49558.2021.9562172.
7. T. Devaja, M. Petkovic, A. Munari, F. Clazzer, M. Beko and D. Vukobratovic, "Massive Machine-Type Communications via Hybrid OWC/RF Networks in Finite Block-Length Regime", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2023, doi: 10.1109/WCNC55385.2023.10118842.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Истраживање је засновано на проблему који се јавља у комуникационим мрежама, због тога што је пренос између уређаја и базе станице ограничен различитим врстама сметњи као што је интерференција од стране других корисника. Проширено је досадашње истраживање у погледу вероватноће грешке да ће насумично одабрани активни уређај бити декодован од стране најближе базе станице у сценарију где имамо широкопојасну мрежу са ниском снагом. Надограђују се скорашњи радови на тај начин што се изводи коначни израз за вероватноћу грешке у асимптотском режиму и проширује се на режим у којем се користе коначне дужине пакета (ФБЛ). Систем модел који се посматра се базира на СА (SA-Slotted Aloha) протоколу где је у сваком слоту активан сет насумично одабраних уређаја по Поасоновом тачкастом процесу (PPP- Poisson Point Process). Предлаже се начин на који се може израчунати вероватноћа да се активан уређај декодује на најближој базној станици. Фокус истраживања је сценарио где функција густине вероватноће ПДФ (PDF-Probability Density Function) снаге интерференције може бити изведена у затвореном облику.

Први део ове дисертације истражује ЛП ВАН која претпоставља балансирање и компромисе између: 1) интерференције, моделоване коришћењем стохастичке геометрије, 2) кратког пакета произданог преноса, квантификована теоријом информација коначне дужине блока, и 3) механизми случајног приступа. У овој тези изводи се тачан израз затвореног облика за вероватноћу да пакет података уређаја није декодован на најближој или макро станици, у случају канала под утицајем Накагами-м Проширује се анализа да би се обезбедила апроксимација вероватноће грешке у режиму коначних блокова. Помоћу нумеричких резултата врши се процена тачности добијених израза и њихова применљивост на пројектовање система и испитују се перформансе у оквиру низа релевантних параметара система.

Други део тезе обухвата први хибридни ОВЦ/РФ систем који се састоји од унутрашњег оптичког бежичног система ОВЦ и ИоТ система широкопојасног подручја мале снаге. Прецизније, анализира се двослојни систем заснован на ОВЦ/РФ СА фокусирајући се на један велики унутрашњи ОВЦ-базирани ИоТ систем са одређеним бројем унутрашњих ОВЦ приступних тачака АП (АП – *Access Point*) које делују као релеји за обављање РФ преноса до спољашње ЛП ВАН базне станице. Систем је касније проширен на случај решења инспирисаног СА АЛОХА протоколом за унутрашње оптичке системе интернета ствари заснован на оптичкој бежичној комуникацији који садржи ИоТ уређаје који размењују податке са приступном тачком. Овде се изводи вероватноћа грешке декодовања пакета коначне дужине података који потичу од насумично изабраног ОВЦ ИоТ уређаја у присуству корисника који праве интерференцију.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања у овој дисертацији су добро описани и приказани. Дизајн и анализа масивне мреже интернета ствари у режиму преноса кратких порука је јасно објашњена, а резултати су презентовани кроз слике, табеле и дијаграме који су лако разумљиви и помажу у њиховом тумачењу. Анализа резултата је концизна, логична и добро усмерена на извођење закључака. Такође, резултати су упоређени са ранијим истраживањима, а дати су и предлози за будућа истраживања и практичну примену. Укратко, начин приказа и тумачења резултата истраживања у овој дисертацији је добро структуриран, јасан и подржан одговарајућим визуелним средствима. Рад је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци ФТН-а, о чему је комисија извештена путем електронске поште. Подударање је 52% из разлога што је теза сачињена од три рада чији је кандидат аутор.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе, укључујући наслов, садржину, резултате и тумачење истих, што се захтева од овакве врсте рада.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални научни доприноси дела докторске дисертације који се бави дизајном и анализом масивне мреже интернета ствари у режиму преноса кратких порука су следећи:

- 1) Пружа се нова тачна вероватноћа грешке за масивне IoT мреже у ФБЛ режиму.
- 2) Изводи се серијска апроксимација израза вероватноће грешке у ФБЛ режиму која побољшава резултате из постојеће литературе која се често стриктно базира на анализи у којој се користи Рејлијев фединг.
- 3) Асимптотска вероватноћа грешке заснована на детекцији прага побољшава тачност и олакшава коришћење сложених математичких формула које су коришћене код претходних истраживања.
- 4) Предложена је шема и анализа архитектуре за будуће IoT системе засноване на ОВЦ технологији кратког домета и дат је предлог дизајна шеме приступа за ОВЦ-базирану IoT унутрашњу мрежу.
- 5) Објашњена је карактеризације грешке и брзине кодовања које су засноване на анализи перформанси ФБЛ за IoT системе који користе комуникације у видљивом инфрацрвеном делу спектра.
- 6) Даје се анализа целокупног система, пропусни опсег и поузданост у погледу вероватноће отказа у оптичким бежичним комуникацијама.
- 7) Користе се нумерички резултати ради давања смерница за оптимално пројектовање система, истражујући ефекте главних ОВЦ параметара на перформансе система. Ови доприноси су

<p>посебно важни, јер имплементација ИоТ мреже у стварном свету захтева не само да су његови физички параметри на одговарајући начин постављени, већ и да је приступни протокол правилно конфигурисан за постизање оптималних перформанси.</p> <p>8) Обављена је анализа перформанси хибридних ОВЦ/РФ система и израчунавање вероватноће грешке у ФБЛ режиму. Тачније, на основу резултата предложене теорије информација ФБЛ и статистике односа сигнал – шум СИНР (SINR – <i>Signal to Interference and Noise Ratio</i>) израчунава се укупна вероватноћа грешке хибридног ИоТ система заснованог на оптичким бежичним комуникацијама на првом нивоу и радио фреквенцијским комуникацијама на другом нивоу.</p>
<p>4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?</p> <p>У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултате истраживања.</p>
<p>X ПРЕДЛОГ:</p> <p>На основу наведеног, комисија предлаже:</p> <p>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.</p>

Место и датум: Нови Сад, 24.4.2024.

1. др Славиша Томић, ванредни професор

_____,
председник

2. др Чедомир Стефановић, редовни професор

_____, члан

3. др Каролина Касаш-Лажетић, ванредни професор

_____, члан

4. др Милица Петковић, доцент

_____, члан

5. др Дејан Вукобратовић, редовни професор

_____, ментор

6. др Марко Беко, редовни професор

_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.