

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет
23. април 2024. године

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Надице Козић

Одлуком бр. 490/8 од 12.3.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Надице Козић под насловом

Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

10.11.2015. Надица Козић уписала је докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Телекомуникације, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. На докторским студијама положила је све испите са просечном оценом 10,00. На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

22.6.2023. године Надица Козић пријавила је тему за израду докторске дисертације под радним називом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge).

27.06.2023. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације упутила је Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

4.7.2023. године на 888. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 997/22 од 4.7.2023. године) у саставу:

- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
- др Горан Т. Ђорђевић, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет, и
- др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

За ментора је предложена

- др Весна Благојевић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

10.7.2023. године обављена је јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, пред Комисијом у саставу:

- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
- др Горан Т. Ђорђевић, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет, и
- др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

На одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Комисија је закључила да је кандидаткиња добила оцену „задовољила“.

12.9.2023. године на 889. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

16.10.2023. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Надице Козић под насловом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge) (Решење број 61206-3708/2-23 од 16.10.2023. год.).

29.2.2024. године Надица Козић је предала на преглед и оцену докторску дисертацију под насловом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge).

05.03.2024. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

12.3.2024. године на 895. седници, Наставно-научно веће Електротехничког факултета је именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (Одлука бр. 490/8 од 12.3.2024. године) у саставу:

- др Предраг Иваниш, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
- др Горан Т. Ђорђевић, редовни професор, Универзитет у Нишу – Електронски факултет, и
- др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација насловом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge) кандидаткиње Надице Козић припада научној области Електротехника и рачунарство, ужа научна област Телекомуникације, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Весна Благојевић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која има релевантне референце из области теме докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Надица Козић је рођена 24.11.1987. године у Крушевцу. Основну школу је завршила у Почковини са одличним успехом, као носилац Вукове дипломе и ђак генерације. Математичку гимназију у Крушевцу завршила је са одличним успехом, као носилац Вукове дипломе. Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписала је 2006. године и завршила са оствареном просечном оценом у току студија 9,09. Мастер академске дипломске студије на Електротехничком факултету у Београду, на смеру Телекомуникације и информационе технологије, уписала је 2010. године и завршила са просечном оценом 9,67. Мастер рад „Анализа перформанси заштитних кодова примењених у кооперативним релејним системима“ одбранила је 29.3.2012. године. Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду на смеру Телекомуникације уписала је 2015. године. Положила је све испите са просечном оценом 10,00.

Одмах по дипломирању запослила се на Војнотехничком институту као истраживач у Сектору за електронске системе. Начелник одсека система за електронско ратовање у Сектору за електронске системе постала је 2017. године. Министарство одбране Републике Србије је 2019. године Надици Козић доделило награду за учињено дело и постигнуте резултате од посебног значаја, за постигнуте резултате у области науке и развоја наоружања и војне опреме као најбољем истраживачу.

Надица Козић је радила у компанији *Ibis Instruments* на позицији руководиоца одељења за развој софтвера од јануара 2020. године до маја 2021. године. Од маја 2021. године Надица Козић је запослена у Банци Поштанска штедионица на позицији водећег инжењера ИТ инфраструктуре у сектору за информационе технологије.

Аутор је два рада публикована у часописима са међународним значајем (два рада категорије M21) и коаутор више радова који су саопштени и публиковани на научним скуповима из области телекомуникација.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge) написана је на српском језику на 154 стране. Сардџи 6 поглавља, 91 слику, 8 табела и листу од 135 референци.

Наслови појединачних поглавља дисертације су:

1. Увод,
2. Кооперативни и когнитивни системи,
3. Перформансе кооперативно когнитивног система са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу са фиксним положајем пријемника,
4. Перформансе кооперативно когнитивног система са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу са мобилним пријемником,
5. Утицај мобилности секундарног пријемника и прислушкивача у когнитивном кооперативном систему на вероватноћу отказа поверљивости,
6. Закључак и
7. Списак литературе.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** дисертације дате су уводне информације о области теме докторске дисертације. Детаљно је изложена мотивација за истраживање и дат преглед најзначајнијих претходно публикованих резултата у овој области. У оквиру посебног одељка образложен је научни допринос истраживања изложеног у оквиру докторске дисертације и описана структура дисертације.

У **другом поглављу** описани су концепти преноса у кооперативним и когнитивним телекомуникационим системима са бежичним преносом енергије. Посебна пажња посвећена је когнитивним кооперативним радио-системима са контролисаним нивоом интерференције и прилагођењу предајне снаге секундарних корисника условима у каналу (CSI, *Channel State Information*) ка примарном пријемнику. Изложени су протоколи преноса у релејном систему са истовременим преносом информација и енергије. Описан је модел телекомуникационог канала који се користи у дисертацији за случајеве када се пријемник налази на фиксној позицији, као и за случајеве када је пријемник мобилан. Мобилност корисника описана је RWP (*random waypoint*) моделом, који је широко заступљен у научној литератури.

У **трећем поглављу** дисертације изложена је детаљна анализа перформанси кооперативног когнитивног система са контролисаним нивоом интерференције и бежичним преносом енергије. У првом делу поглавља разматран је систем у којем се секундарна мрежа напаја из посебно намењеног извора, док је други део посвећен сценарију када се комуникација предајника и пријемника одвија путем енергетски ограниченог релејног чвора. Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику за вероватноћу отказа система када се за напајање релеја осим енергије послате са стране предајника секундарне мреже користи и интерференција са стране примарних предајника, у случају када је утицај интерференције доминантан. Изведени аналитички резултати потврђени су применом независног Монте-Карло симулационог модела.

У **четвртном поглављу** дисертације изложена је детаљна анализа перформанси кооперативног когнитивног система са контролисаним нивоом интерференције и статистичком информацијом о стању у каналу, за случај када је секундарни пријемник мобилан, при чему је мобилност корисника описана RWP моделом. Изведени су оригинални изрази у затвореном облику за вероватноћу отказа система и проток заснован на ергодичном капацитету, када се фединг у каналу може описати Накагамијевом расподелом. Извршена је и анализа перформанси система када се пренос информација од секундарног предајника до пријемника врши уз помоћ енергетски ограниченог релеја. Изложена је детаљна анализа нумеричких резултата добијених путем изведених аналитичких изрази и развијеног Монте-Карло симулационог модела система.

У петом поглављу дисертације анализирана је заштита преноса података на физичком слоју. Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику за вероватноћу отказа поверљивости кооперативног система са наменским извором енергије, за различите сценарије мобилности секундарног корисника и прислушљивача. Разматран је случај када се фединг у пропагационом окружењу може моделовати Накагамијевом расподелом. Анализа вероватноће отказа поверљивости извршена је и за случај кооперативног когнитивног релејног система са контролисаним нивоом интерференције и бежичним преносом енергије.

У шестом поглављу изложена су закључна разматрања и истакнути доприноси докторске дисертације. На крају дисертације дат је списак коришћене литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ представља оригиналан научни-истраживачки рад у области кооперативних когнитивних телекомуникационих система са бежичним преносом енергије. Тема дисертације је веома актуелна, на шта указује и велики број публикованих резултата из ове области у доступној научној литератури. Анализа кооперативних когнитивних система је од великог значаја за примену у новим генерацијама телекомуникационих система и IoT (*Internet of Things*) апликацијама у којима је потребно обезбедити поуздану мрежу са великим бројем чворова мале снаге. У мрежама овакве врсте није погодно применити конвенционално напајање, па је примена техника за бежични пренос енергије представља иновативно и адекватно решење. Извршена анализа показује утицај параметара система и пропагационог окружења на перформансе, а од посебног значаја је анализа утицаја мобилности секундарног корисника. Добијени резултати могу имати значајну примену при дизајну савремених бежичних телекомуникационих система са великим бројем чворова мале снаге и скромним могућности процесирања, код којих је потребно обезбедити решење мање комплексности израчунавања. Добијени резултати представљају основу и за анализу примене нових кооперативних техника за бежични пренос информација и енергије.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради докторске дисертације кандидаткиња је користила савремену научну литературу. У оквиру докторске дисертације наведено је 135 референци из области теорије телекомуникација, бежичних телекомуникационих система нових генерација, кооперативних телекомуникационих система, когнитивног радија и бежичног преноса енергије. Списак литературе доминантно обухвата савремене научне радове из реномираних часописа, радове из зборника међународних конференција, као и референтне уџбенике из области којим се бави дисертација и интернет странице. Велики број научних радова наведених у литератури је новијег датума, што указује на значај и актуелност теме докторске дисертације. У оквиру литературе садржани су и радови кандидаткиње који су настали као резултат истраживачког рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У току истраживања које је резултовало докторском дисертацијом кандидаткиња је користила следеће научне методе:

- Анализа научно-стручне литературе која припада области истовременог бежичног преноса информација и енергије, као и бежичног преноса енергије из наменских извора.
- Анализа научно-стручне литературе која припада области когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције и несавршеном проценом стања у каналу.
- Развој аналитичког модела којим се описује систем са бежичним преносом енергије.
- Анализа перформанси система применом статистичких метода, на основу развијеног аналитичког модела, за познате функције густине вероватноће анvelopа фединга у каналу и функције густине вероватноће којима се описује мобилност пријемника.
- Извођење аналитичких израза за перформансе система који директно показују зависност перформанси од параметара система и параметара канала.
- Развој независног Монте-Карло симулационог модела којим се процењују перформансе когнитивног система са бежичним преносом енергије и мобилним когнитивним пријемником.
- Верификација тачности изведених аналитичких израза применом развијеног независног симулационог модела.
- Нумеричка анализа утицаја параметара система и канала на перформансе система.
- Свеобухватна анализа резултата и сагледавање смерница за максимизирање перформанси анализираних система.

Набројане методе се уобичајено користе за наведену област истраживања којој припада тема докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Област истраживања којој припада тема докторске дисертације је веома актуелна и у интензивном развоју. Услед повећања броја бежичних корисника и понуђених сервиса у новим генерацијама телекомуникационих система, постоји потреба за увођењем нових концепата са задовољавајућом спектралном и енергетском ефикасношћу и стварања адекватног окружења за даљи развој IoT система. Концепт когнитивног радија омогућава повећање спектралне ефикасности и његов значај је препознат за примену у 5G и IoT системима. Када су у питању мреже са веома великим бројем просторно распоређених повезаних уређаја и сензора малих димензија и мале снаге, са скромним рачунским капацитетима, од суштинског значаја је поједностављење комплексних израчунавања потребних за адаптацију снаге секундарних предајника, па когнитивни приступ спектру са контролисаним нивоом генерисане интерференције на месту лиценцираног корисника спектра на основу статистичке информације о стању у каналу представља погодно решење. У мрежама ове врсте постоји потреба за ефикасним приступом у напајању уређаја, услед великог броја уређаја или његове потенцијално неприступачне локације. Примена концепта ефикасног прикупљања и коришћења енергије из окружења, као и бежичног преноса енергије представља иновативно и погодно решење које задовољава основне постављене захтеве.

Како у савременим телекомуникационим системима крајњи корисници најчешће нису статични, посебно је значајна анализа утицаја мобилности на перформансе система, при чему је коришћен RWP (*random waypoint*) модел кретања који је широко распрострањен у литератури и чијом применом се може описати образац кретања корисника у једној, две, као и три димензије.

Резултати остварени у оквиру спроведених истраживања показују теоријске границе предложених система који задовољавају тражене захтеве и указују на смернице при њиховом дизајну у циљу остваривања максималних перформанси.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току докторских студија на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, кандидаткиња Надица Козић је показала све особине неопходне за успешан научно-истраживачки рад. Кандидаткиња је показала познавање релевантне литературе, способност да препозна и јасно дефинише проблеме, познавање математичких алата потребних за анализу проблема и систематичност при њиховом решавању. Писањем научних радова и саме докторске дисертације кандидаткиња је показала способност да резултате истраживања прикаже на систематичан и адекватан начин. У току својих докторских студија кандидаткиња је показала самосталност у раду и спремност за сарадњу при писању научних радова. Стручни и научно-истраживачки рад кандидаткиње у току докторских студија резултовао је низом публикација у часописима и у зборницима конференција међународног и националног значаја.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси у оквиру дисертације су следећи:

- Извршена је анализа телекомуникационог система са наменским извором напајања и система са истовременим преносом информација и енергије, са примењеном концептом когнитивног приступа спектру са контролисаним нивоом интерференције и примењеном адаптацијом снаге на основу статистичке информације о стању у каналу.
- Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику (*closed-form*) који показују перформансе когнитивног система са наменским извором напајања и контролисаним нивоом интерференције на основу познавања статистичке информације о стању у каналу, у случају када је секундарни пријемник мобилан у складу са RWM моделом кретања.
- Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику (*closed-form*) који показују перформансе когнитивног кооперативног релејног система са истовременим преносом информација и енергије и познавањем статистичке информације о стању у каналу, у случају када је доминантна интерференција од стране примарних корисника.
- Извршена је анализа утицаја ограничења које дефинише примарни корисник спектра на вероватноћу отказа и капацитет секундарног система. Извршено је испитивање утицаја примене бежичног преноса енергије и могућих ограничења на перформансе система.
- Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику (*closed-form*) за вероватноћу отказа поверљивости кооперативног система са наменским извором енергије и различитим обрасцима кретања пријемника и прискушкивача.
- Извршена је анализа утицаја параметара система и канала на безбедност система на физичком слоју.
- Развијен је независни Монте Карло симулациони модел система у програмском пакету *Matlab*. Валидност аналитичких израза је потврђена применом развијеног независног симулационог модела.
- Извршен је детаљан и систематичан преглед литературе из области истовременог бежичног преноса информација и енергије, кооперативних и когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева истраживања и постигнутих резултата Комисија са задовољством констатује да је кандидаткиња Надица Козић успешно извршила истраживање у области теме докторске дисертације и дала оригиналне научне доприносе у овој области. Набројани научни доприноси су од великог значаја за област кооперативних когнитивних система са бежичним преносом енергије. Анализирани системи су значајни за специфичне примене у мрежама са великим бројем чворова мале снаге и малих могућности процесирања, код којих је потребно остварити задовољавајућу спектралну ефикасност применом решења релативно мале комплексности. Применом техника за бежични пренос енергије омогућава се енергетски ефикасно решење, које пружа дужи интервал самоодрживости мреже у односу на конвенционалне технике напајања. Кандидаткиња је извршила детаљну анализу перформанси система, при чему је одређивањем аналитичких израза у затвореном облику омогућила директан увид у утицај појединих параметара система и пропагационог окружења. Имајући у виду да кориснике савремених телекомуникационих мрежа карактерише висок ниво мобилности, посебан значај има анализа утицаја мобилности на перформансе система. Обзиром на то да су у системима са чворовима скромних рачунских капацитета ограничене могућности за примену конвенционалних криптографских техника, од великог значаја је и спроведена анализа заштите података на физичком слоју, за разне моделе мобилности корисника и прислушкивача.

Научни допринос дисертације потврђен је публикавањем остварених резултата у два рада објављена у међународном часопису, што указује на то да се научним истраживањем у оквиру докторске дисертације дошло до нових резултата од међународног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру истраживачког рада у области теме докторске дисертације Надица Козић је објавила као аутор или коаутор три рада која се непосредно односе на тему дисертације, и то два рада у међународном часопису категорије M21 и један рад на међународној конференцији.

Категорија M21:

1. **N. Kozić**, V. Blagojević, A. Cvetković, and P. Ivaniš, "Performance Analysis of Wirelessly Powered Cognitive Radio Network with Statistical CSI and Random Mobility," *Sensors*, vol. 23, no. 9, pp. 4518, May 2023, doi: 10.3390/s23094518., (IF=3.847) (ISSN: 1424-8220)
2. **N. Kozić**, V. Blagojević, and P. Ivaniš, "Performance Analysis of Underlay Cognitive Radio System with Self-Sustainable Relay and Statistical CSI," *Sensors*, vol. 21, no. 11, pp. 3727, May 2021, doi: 10.3390/s21113727., (IF=3.847) (ISSN: 1424-8220).

Категорија M33:

1. **N. Kozić**, V. Blagojević, and P. Ivaniš, "Ergodic Capacity Analysis of Cognitive System with Self-Sustainable Relay and Statistical CSI," *2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1-4, Belgrade, Serbia, 2021, doi: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653387.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge) кандидаткиње Надице Козић представља оригиналан научни допринос научној области Електротехника и рачунарство (ужа научна област Телекомуникације). Дисертација садржи све елементе наведене у образложењу приликом пријаве теме и испуњава све формалне и суштинске захтеве предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

Докторска дисертација је написана на српском језику. У оквиру дисертације изложена је анализа кооперативних когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције и применом техника бежичног преноса енергије, који су од високог значаја за нове класе система у којима је потребно обезбедити везу чворова мале снаге и скромних рачунских могућности. Истраживање је обухватило извођење оригиналних аналитичких израза који описују значајне перформансе система и развој симулационог модела којима се потврђује њихова валидност. Резултати изложени у оквиру докторске дисертације имају теоријски и практични значај. Кандидаткиња је истраживањима у оквиру дисертације показала научну зрелост и креативност, који потврђују спремност за самостални научно-истраживачки рад.

На основу свега наведеног Комисија констатује да су испуњени сви формални и суштински услови предвиђени Законом о високом образовању, Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија има задовољство да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Кооперативни когнитивни телекомуникациони системи са бежичним преносом енергије и статистичком информацијом о стању у каналу“ (Cooperative cognitive telecommunication systems with wireless energy transfer and statistical channel state information knowledge) кандидаткиње Надице Козић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

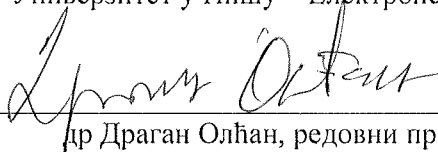
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Предраг Иваниш, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Горан Т. Борђевић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Драган Олђан, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет