

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Радета Божовића**, дипломираног инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5021/3 од 19.10.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Радета Божовића под насловом

„Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“

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

Кандидат Раде Божовић је 21. децембра 2010. године уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Телекомуникације, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија положио је са просечном оценом 9.90 и испунио је све обавезе.

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке 24-06/09-2010/5021 од 06.02.2018. године.

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.

Кандидат је 23.11.2017. године пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“. За ментора предложена је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду.

Комисија за студије трећег степена разматрала је 28.11.2017. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата на усвајање Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

На 821. седници одржаној 05.12.2017. године, Наставно-научно веће је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5021/10-1 од 13.12.2017. године) у саставу:

1. др Наташа Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
2. др Гордана Гардашевић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Бањој Луци,
3. др Јелена Поповић Божовић, доцент, Електротехнички факултет у Београду,
4. др Предраг Иваниш, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду.

Кандидат је на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације, одржаној 25.12.2017. године, успешно положио докторски испит са оценом „задовољно“.

На 822. седници одржаној 16.01.2018. године, Наставно-научно веће усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5021/11-2 од 16.01.2018. године). За ментора дисертације именована је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-278/2 од 29.01.2018. године).

Кандидат је 27.09.2018. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је 02.10.2018. испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета.

На 832. седници одржаној 09.10.2018. године, Наставно-научно веће именovalo је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“ (Одлука бр. 5021/10-3 од 19.10.2018. године) у саставу:

1. др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду,
2. др Наташа Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
3. др Гордана Гардашевић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Бањој Луци,
4. др Јелена Поповић Божовић, доцент, Електротехнички факултет у Београду,
5. др Предраг Иваниш, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Радета Божовића под насловом „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“ припада научној области Техничке науке – Електротехника, ужој научној области Телекомуникације, за коју је матични факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду. За ментора докторске дисертације одређена је др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која се дужи период бави истраживањима у ужој научној области Телекомуникације, а посебно у области когнитивног радија, којом се бави предметна дисертација.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Раде Р. Божовић рођен је 08.09.1983. године у Беранама, Република Црна Гора. Основну школу и гимназију (природно-математички смер) завршио је у родном граду са одличним успехом (5.00).

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 2001. године. Дипломирао је на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику, смер за телекомуникације, 2007. године, одбраном дипломског рада „Пренос говора преко WLAN мрежа - VoWLAN“ са оценом 10 (ментор др Александар Нешковић, доцент). У току студија остварио је просечну оцену 8.79.

Докторске студије уписао је 2010. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Телекомуникације. У периоду од уписа до 2013. године положио је све испите предвиђене студијским програмом са општим успехом 9.90 и испунио све обавезе у вези са студијским истраживачким и научно стручним радовима. Област истраживања током студија обухватала је бежичне комуникационе системе, дигиталну обраду сигнала, са посебним фокусом на когнитивни радио.

Аутор је радова у међународним часописима, излагач на међународним и националним конференцијама. Ангажован је као рецензент у реномираним стручним интернационалним часописима и члан је организација под окриљем IEEE.

Од 2007. године стално је запослен у домаћој телекомуникационој компанији „CRONY DOO Beograd“, тренутно на позицији техничког менаџера. У фирми је ангажован на пројектима у вези са бежичним комуникационим системима. Током свог досадашњег радног ангажмана похађао је бројне стручне обуке код најреномиранијих произвођача телекомуникационе опреме и стекао је више сертификата из области радио-планирања и покривања унутрашњости објеката радио сигналом, мерења параметара квалитета мобилних мрежа, преноса радио сигнала путем дистрибуираних антенских система, пројектовања оптичких мрежа и сл. Од 2010. године члан је инжењерске коморе Србије, поседује лиценце одговорног пројектанта телекомуникационих мрежа и система (353) и одговорног извођача радова телекомуникационих мрежа и система (453).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на српском језику ћириличним писмом и има 134 стране. Садржи 37 слика, 4 табеле, 91 једначину и 168 библиографских референци. Такође, докторска дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, посвету, кратак резиме докторске дисертације на српском и енглеском језику, списак слика, списак табела, списак скраћеница, садржај, осам тематских поглавља, преглед коришћене литературе, биографију аутора и прилоге. Поглавља докторске дисертације су насловљена на следећи начин: 1. Увод, 2. Радио спектар као ограничени природни ресурс и технологије за унапређење спектралне ефикасности, 3. Технике анализе спектра, 4. Модел система за анализу спектра на бази детектора енергије у когнитивном радију, 5. Одређивање оптималног прага пријема и динамичко подешавање у затвореној форми у когнитивном радију на бази детектора енергије, 6. Алгоритми за анализу спектра у когнитивном радију на бази примене статистике вишег реда, 7. Интегрални алгоритам за анализу спектра у два корака, 8. Закључак. Докторска дисертација садржи следеће прилоге: Прилог 1 – Изјава о ауторству, Прилог 2 – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације, и Прилог 3 – Изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дат је опис проблематике статичке фреквенцијске расподеле ограничених радио ресурса и њен утицај на корисничке захтеве за примену постојећих сервиса и апликација. Указано је на потребу за новом технологијом динамичке расподеле спектра, и когнитивни радио је промовисан као технологија за динамичко управљање спектром, односно за опортунистички приступ спектру од стране нелиценцираних корисника. Назначено је да је за коегзистенцију лиценцираних и нелиценцираних корисника анализа спектра функционалност од фундаменталне важности за когнитивни радио. Стога се велика пажња поклања унапређењу перформанси анализе спектра у когнитивном радију. Дефинисани су основни циљеви истраживања у вези са унапређењем перформанси анализе спектра, као и полазне хипотезе. Укратко су описани развијени алгоритми за анализу спектра у когнитивном радију у реалним условима. Такође, дат је кратак опис структуре докторске дисертације.

У Поглављу 2 детаљније је описан проблем ограниченог радио спектра и политике статичке расподеле истог. Описан је концепт когнитивног радија и могућности унапређења искоришћености радио спектра, по природи ограниченог ресурса, применом те технологије.

У Поглављу 3, акценат је стављен на део когнитивног радија који се бави анализом спектра, односно детекцијом слободног дела спектра који се може искористити за опортунистички приступ од стране нелиценцираних корисника. Ово поглавље обухвата и преглед различитих техника анализе спектра у когнитивном радију, са посебним освртом на детектор енергије.

У Поглављу 4 дат је опис система за анализу спектра у когнитивном радију на бази примене детектора енергије. Поред тога, детаљно је описан алгоритам за естимацију нивоа шума, као важан сегмент процеса анализе спектра који се реализује "на слепо", јер когитивни радио не поседује никакве информације о свом радио окружењу.

У Поглављу 5 презентован је развијени алгоритам за одређивање и динамичко подешавање оптималног прага пријема у затвореној форми у когнитивном радију применом детектора енергије. Анализирани су услови за примену тог решења у процесу анализе спектра. Развијени алгоритам представља оригиналан допринос аутора проблематици анализе спектра у когнитивном радију. Такође су приказани резултати испитивања перформанси алгоритма путем рачунарских Монте-Карло експеримената у програмском окружењу MATLAB.

У Поглављу 6 дат је опис предложених алгоритама за анализу спектра на бази примене статистике вишег реда (прецизније, кумуланата вишег реда и куртозиса) у когнитивном радију. Испитивање перформанси развијених оригиналних алгоритама обављено је путем рачунарских Монте-Карло симулација у програмском окружењу MATLAB. Сем тога, предложен је и алгоритам на бази примене комбинаторне логике којом се поменути алгоритми интегришу у јединствени алгоритам, чиме се додатно унапређују перформансе анализе спектра когнитивног радија, што је такође верификовано кроз рачунарске симулације.

Поглавље 7 садржи опис и анализу предложеног интегралног алгоритма, реализованог обједињавањем алгоритма са одређивањем оптималног прага пријема детектора енергије решавањем у затвореној форми и алгоритама на бази примене статистике вишег реда. На основу извршене рачунарске симулације у програмском окружењу MATLAB потврђено је да се применом предложеног интегралног алгоритма перформансе анализе спектра додатно

унапређују у односу на независну примену тих алгоритама описаних у поглављима 5 и 6, односно да се постиже већа поузданост детекције лиценцираних корисника, чак и у отежаним радио условима.

Закључак и анализа доприноса истраживања спроведених у оквиру докторске дисертације изведени су у Поглављу 8.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Радета Божовића припада области развоја нових алгоритама за унапређење перформанси анализе спектра у когнитивном радију на бази примене детектора енергије. Због једноставности имплементације, мале нумеричке комплексности и универзалног карактера, детектор енергије представља најпроучаванију технику анализе спектра и истраживачку тему која не губи на актуелности. У стручној литератури може се пронаћи велики број различитих решења за унапређење перформанси детектора енергије.

Оригиналност рада презентованог у оквиру докторске дисертације огледа се у развијеним новим алгоритмима за анализу спектра у когнитивном радију у реалним условима. Временска ефикасност анализе спектра је параметар од изузетног значаја у процесу анализе спектра и са директним утицајем на спектралну ефикасност, али и на поузданост детекције сигнала. У првом делу докторске дисертације предложено је решење за унапређење временске ефикасности процеса анализе спектра, уз висок ниво поузданости детекције сигнала лиценцираних корисника. Наиме, предложен је оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију на бази примене детектора енергије. Оптимални праг детекције се одређује и динамички подешава решавањем у затвореној форми. При томе се не захтевају априори информације о сопственом радио окружењу, већ се до свих релевантних параметера за анализу спектра долази естимацијом на основу примљеног сигнала. Као алтернатива оптимизованом поступку (за случај када нису испуњени јасно наведени услови за валидност таквог решења), развијени су алгоритми на бази статистичке обраде сигнала путем естимације вредности кумуланата вишег реда и куртозиса, као и на бази примене комбинације поменутих статистика у јединствену тест статистику за анализу спектра. Један од главних недостатака детектора енергије је немогућност диференцијације сигнала и шума и сигнала међусобно. Додатним статистичким процесирањем омогућава се детаљнија процена радио окружења, што се може искористити и за евентуалну класификацију сигнала (нпр. аутоматска класификација модулација). Такође, у циљу унапређења перформанси анализе спектра развијен је интегрални алгоритам којим се анализа спектра у когнитивном радију спроводи у два корака. Наиме, комбиновањем алгоритма на бази детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага пријема у затвореној форми (тзв. груба анализа) и алгоритама на бази статистичке обраде сигнала (тзв. фина анализа), омогућава се додатно побољшање поузданости анализе спектра, чак и у лошем радио окружењу.

Савременост предложених алгоритама се огледа у њиховој потенцијалној примени. Све предложене алгоритме карактерише једноставност имплементације, математички апарат који стоји иза њих није сложен, нумеричка комплексност и ред алгоритама су прихватљиви, број аритметичких операција је сведен, па су самим тим редуковани и трошкови реализације. Све то их чини атрактивним за практичну реализацију. Имајући у виду да је технологија когнитивног радија у фази развоја и нестандардизована, очекује се да резултати добијени у

оквиру израде ове докторске дисертације могу наћи примену у пројектовању оваквих система, чија се експанзија тек очекује.

С обзиром на значај истраживања који проистиче из савремености и актуелности описане проблематике, Комисија сматра да дисертација кандидата задовољава све прописане стандарде.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је пажљиво истражио постојећу релевантну стручну литературу. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Коректно је наведено 168 референци које на адекватан начин покривају тему којом се бави докторска дисертација. Коришћена литература обухвата широк спектар доступних публикација, од старијих до савремених. Коришћена литература укључује и радове из часописа међународног значаја, радове на међународним и националним конференцијама, на којима је кандидат први аутор, а који су директно проистекли из рада на докторској дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се од следећих активности:

- Преглед научне литературе и анализа постојећих техника за анализу спектра у когнитивном радију у циљу њиховог међусобног поређења.
- Анализа алгоритма за естимацију нивоа шума.
- Развој алгоритма за одређивање и динамичко подешавање оптималног прага пријема детектора енергије генерисањем решења у затвореној форми.
- Развој алгоритама за анализу спектра применом статистике вишег реда путем естимације вредности кумуланата вишег реда и куртозиса, као и комбиновање тих алгоритама у јединствени алгоритам за анализу спектра.
- Развој интегралног алгоритма за спровођење анализе спектра у два корака обједињавањем алгоритма на бази одређивања и динамичког подешавања оптималног прага пријема детектора енергије и алгоритама на бази примене статистике вишег реда.
- Имплементација предложених алгоритама у програмском окружењу MATLAB.
- Спровођење рачунарских симулација и испитивање перформанси развијених алгоритама анализе спектра (изражених преко вероватноће успешне детекције и вероватноће лажног аларма) у зависности од различитих фактора (тип сигнала лиценцираног корисника и услови пропагације).
- Анализа резултата симулација у различитим окружењима од интереса у циљу дефинисања могућности за потенцијалну практичну примену.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и довела је до остваривања циљева докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација се доминантно бави унапређењем перформанси анализе спектра у когнитивном радију на бази примене детектора енергије. С обзиром на идеју когнитивног радија да се омогући динамички приступ спектру, динамичко подешавање прага детекције детектора енергије у реалном времену води побољшању перформанси анализе спектра. Стога је параметар временске ефикасности од изузетног значаја у процесу анализе спектра и са директним утицајем на спектралну ефикасност, као и на поузданост тог процеса. Зато је оптимизовани поступак за анализу спектра у когнитивном радију на бази примене детектора енергије, где се оптимални праг детекције одређује и динамички подешава решавањем у затвореној форми, јасан допринос временској ефикасности поступка анализе спектра. Наиме, у односу на итеративне поступке за одређивање прага детекције, који се могу наћи у стручној литератури, предложени оптимизовани поступак ће до оптималног прага детекције доћи у коначном броју корака, са прихватљивом нумеричком комплексношћу алгоритма. Све то имплицира једноставност имплементације, што уз чињеницу да предложени алгоритам функционише "на слепо", јасно указује на експлоатационе могућности примене у пракси.

Предложено оптимизовано решење у затвореној форми омогућава оптималне перформансе анализе спектра у смислу минималне вредности укупне грешке анализе спектра. Дефинисани су услови за валидност предложеног решења. За случај када ти услови нису испуњени, као алтернатива предложена је употреба статистичке обраде примљеног сигнала путем естимације вредности кумуланата вишег реда и куртозиса. На тај начин се поспешује временска ефикасност, јер се користе исти одбирци примљеног сигнала за естимацију свих релевантних статистичких параметара за спровођење анализе спектра. Захваљујући статистичком процесирању, омогућава се детаљнија процена сопственог радио окружења, као нпр. додатна класификација примљеног сигнала (аутоматска класификација модулација), што ово решење чини атрактивним за практичну примену.

Применом развијеног интегралног алгоритма (обједињавањем детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага пријема у затвореној форми и алгоритма на бази примене статистичке обраде примљеног сигнала) којим се анализа спектра спроводи у два корака, додатно се унапређује поузданост детекције лиценцираних корисника, чак и у лошем радио окружењу. Како је свођење генерисане интерференције ка лиценцираним корисницима на најмању меру један од фундаменталних захтева за когнитивни радио (нелиценциран корисник), тако је свако унапређење поузданости детекције лиценцираних корисника јасан допринос повећању атрактивности за примену у пракси.

Све развијене алгоритме за анализу спектра карактерише једноставност имплементације, математички апарат који стоји иза њих није сложен, нумеричка сложеност и ред алгоритама су прихватљиви, број аритметичких операција је сведен, редуковани су трошкови реализације и сл. Сви развијени алгоритми имају и универзални карактер, функционишу "на слепо", не захтевају се априори информације о радио окружењу, већ се сви релевантни параметри за спровођење анализе спектра естимирају на основу примљеног сигнала. Све ово наведено их чини подесним за евентуалну практичну реализацију. С обзиром да је технологија когнитивног радија у фази развоја и нестандардизована, очекује се да резултати добијени у оквиру израде докторске дисертације могу наћи примену у пројектовању оваквих система, чија се експанзија тек очекује.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане докторске дисертације Комисија процењује да је кандидат Раде Божовић показао способност за самосталан научно-истраживачки рад, почевши од систематичног прегледа доступне научне литературе, преко уочавања практичних проблема и потребе за унапређењем постојећих техника анализе спектра у когнитивном радију, дефинисања проблема, развоја оригиналних метода за решавање постављених проблема, имплементације метода у рачунарском окружењу и спровођења поступка симулација, као и анализе добијених резултата. Начин на који је написана дисертација и доприноси који су у њој представљени указују на зрелост кандидата за самосталан научно-истраживачки рад. Резултате истраживања у оквиру израде докторске дисертације кандидат је публикувао, као први аутор, у часописима од међународног значаја и на међународним и националним конференцијама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Дат је преглед и упоредна анализа постојећих техника анализе спектра у когнитивном радију.
- Развијен је нови метод за анализу спектра на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага детекције у затвореној форми. Тиме се омогућава већа временска ефикасност анализе спектра. Дефинисани су услови за валидност овог решења.
- Предложени алгоритам на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага детекције у затвореној форми је прихватљивог реда комплексности израчунавања, што представља допринос једноставности евентуалне имплементације и практичне реализације.
- За случај када нису испуњени услови за коришћење предложеног алгоритма на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага детекције у затвореној форми, као алтернатива предложени су алгоритми на бази примене статистике вишег реда. То је реализовано путем естимације вредности кумуланата вишег реда и куртозиса. Тиме се поспешује временска ефикасност процеса анализе спектра јер се користе исти одбирци примљеног сигнала за реализацију анализе спектра. Такође, омогућава се детаљнија процена радио окружења (нпр. аутоматска класификација модулација).
- Додатно унапређење перформанси анализе спектра на бази примене статистике вишег реда у смислу повећања поузданости детекције лиценцираних корисника постигнуто је комбиновањем алгорита на бази различитих тест статистика у алгоритам са јединственом тест статистиком.
- Развијен је интегрални алгоритам за анализу спектра у два корака, обједињавањем алгоритма на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем оптималног прага детекције у затвореној форми и алгорита на бази примене статистичке обраде примљеног сигнала. Тиме се омогућава унапређење поузданости детекције лиценцираних сигнала у односу на независну примену сваког од алгорита.
- Предложени алгоритми су имплементирани у програмском окружењу MATLAB.

- Предложена решења анализирана су у реалним условима пропагације и без предзнања о карактеристикама лиценцираних система. Анализе су обављене за различите модулационе технике које користе лиценцирани системи.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата Комисија констатује да је кандидат Раде Божовић успешно одговорио на сва релевантна питања из проблематике којом се бави докторска дисертација.

Систематичан преглед доступне научне литературе, уочавање практичних проблема и потребе за унапређењем постојећих техника анализе спектра у когнитивном радију, дефинисање проблема, развој оригиналних метода за решавање постављених проблема, имплементација метода у рачунарском окружењу и спровођење поступка симулација, верификација перформанси у реалним условима и за различите типове лиценцираних сигнала и анализа добијених резултата, представљају значајан научни допринос у области телекомуникација и информационих технологија.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у научном часопису категорије M23, као и зборницима међународног и националног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио више радова у вези са темом докторске дисертације, чији су резултати директно проистекли из докторске дисертације или су тесно повезани са вишегодишњим истраживањем кандидата у оквиру докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Списак публикованих радова у којима су презентовани научни доприноси кандидата Радета Божовића, у складу са нормативима Министарства просвете и науке Србије, наведен је у даљем тексту:

Категорија M23:

M23.1 **Božović, R.**, Simić, M., Pejović, P., Dukić, M. L.: The analysis of Closed-Form Solution for Energy Detector Dynamic Threshold Adaptation in Cognitive Radio, - *Radioengineering*, vol. 26, no. 4, pp. 1104-1109, 2017 (**IF=1.048**) (DOI: 10.1316/re.2017.1104, ISSN 1210-2512, 1805-9600).

Категорија M33:

M33.1 **Božović, R.**, Simić, M.: "Spectrum sensing in cognitive radio based on sixth order cumulants of various structures," – *Proceedings of the 5th IcETRAN 2018*, Palic, Serbia, 2018., pp. TEL2.3-1-5.

M33.2 **Božović, R.**: "PAPR reduction in 16-QAM OFDM signals by using dynamic constellation shaping algorithm," – *Proceedings of the 22nd TELFOR 2014*, Belgrade, Serbia, 2014., pp. 312-315.

M33.3 **Božović, R.**, Smiljanić, A., Čiča, Z.: "Implementation of the IPv6 datagram processing on the FPGA chips," – *Proceedings of the 21st TELFOR 2013*, Belgrade, Serbia, 2013., pp. 50-53.

Категорија M63:

- M63.1 **Božović, R.:** "Analiza BER performansi u OFDM sistemima u zavisnosti od tipa modulacije, dužine i tipa zaštitnih intervala i u različitim uslovima propagacije," – *Zbornik radova sa konferencije TELFOR 2012*, Beograd, Srbija, 2012., pp. 354-357.
- M63.2 **Božović, R. R., Orlić, V. D., Lutovac, M.:** "Integrirano simulaciono okruženje u programskom okruženju MATLAB za numeričku analizu analognih sklopova," – *Zbornik radova sa konferencije ETRAN 2012*, Zlatibor, Srbija, 2012., pp. EK3.4-1-4.
- M63.3 **Božović, R. R., Orlić, V. D., Dukić, M. L.:** "Metode za unapređenje rezultata klasifikacija modulacija algoritmom kumulanata šestog reda" – *Zbornik radova sa konferencije TELFOR 2011*, Beograd, Srbija, 2011., pp. 477-480.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Радета Божовића под насловом „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији су предложене нове технике за анализу спектра у когнитивном радију, које поспешују временску ефикасност процеса анализе спектра, омогућавају детаљнију процену сопственог радио окружења и унапређују поузданост детекције лиценцираних корисника. Развијени су алгоритми на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем прага детекције у затвореној форми, на бази примене статистичке обраде примљеног сигнала путем естимације вредности кумуланата вишег реда и куртозиса, као и на бази комбинације поменутих тест статистика у јединствену тест статистику. Такође, развијен је и интегрални алгоритам којим се обједињују алгоритми на бази примене детектора енергије са одређивањем и динамичким подешавањем прага детекције у затвореној форми и алгоритми на бази примене статистичке обраде, где се процес анализе спектра обавља у два корака. Развијени алгоритми имплементирани су у програмском окружењу MATLAB и перформансе анализе спектра су верификоване у реалним пропагационим условима и за различите модулационе технике које користе лиценцирани корисници. Све развијене алгоритме карактерише једноставност имплементације, математички апарат који стоји иза њих није сложен, нумеричка сложеност и ред алгоритама су прихватљиви, број аритметичких операција је сведен, редуковани су трошкови реализације и сл. Сви развијени алгоритми функционишу "на слепо", не захтевају се а приори информације о радио окружењу, већ се сви релевантни параметри за спровођење анализе спектра естимирају на основу примљеног сигнала. С обзиром да је технологија когнитивног радија у фази развоја и нестандардизована, очекује се да резултати добијени у оквиру израде докторске дисертације могу наћи примену у пројектовању оваквих система, чија се експанзија тек очекује.

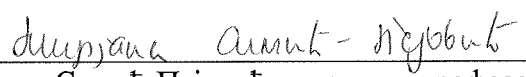
Резултате проистекле из вишегодишњег истраживања спроведеног у оквиру израде докторске дисертације кандидат је публиковао у међународном научном часопису и презентовао на стручним међународним и националним конференцијама. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у области Телекомуникација и информационих технологија.

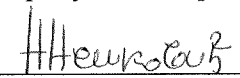
Кандидат Раде Божовић демонстрирао је несумњиву способност за самостални научно-истраживачки рад, што потврђује и чињеница да је објавио неколико научних радова чији су резултати директно проистекли из докторске дисертације, а у којима се појављује као први аутор. Комисија констатује да је кандидат Раде Божовић, дипломирани инжењер електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У складу са напред изнетим, Комисија са задовољством предлаже Наставном-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“ кандидата Радета Божовића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

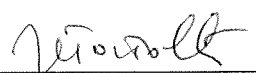
У Београду, 08.01.2019. године

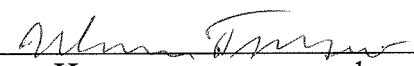
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Мирјана Симић-Пејовић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Наташа Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Гордана Гардашевић, ванредни професор
Универзитет у Бањој Луци – Електротехнички факултет


др Јелена Поповић Божовић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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