

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Радета Божовића, дипломираног инжењера електротехнике, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5021/10-1 од 13.12.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Радета Божовића, дипломираног инжењера електротехнике, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

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 и стекао је више сертификата из области радио-планирања и покривања унутрашњости објекта радио сигналом, мерења 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).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Раде Божовић уписао је докторске студије школске 2010/2011. године на модулу Телекомуникације.

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.

Током докторских студија положио је све наставним планом и програмом предвиђене испите и испунио све обавезе и то:

Р. Бр.	Назив испита	Оцена	ЕСПБ
1	Дигитална обрада сигнала	10	9
2	Принципи модерних телекомуникација	10	9
3	Случајни процеси у телекомуникацијама	10	9
4	Бежични телекомуникациони системи	10	9
5	Просторно-временска обрада сигнала	9	9
6	Системи за надзор и управљање телекомуникационим мрежама	10	9
7	Савремене радио-технологије	10	9
8	Комуникационе и рачунарске мреже	10	9
9	Увод у начни рад	10	6
10	Когнитивне радио мреже	10	9
Назив обавезе			
1	Научно стручни рад		3
2	Студијски истраживачки рад I		15
3	Студијски истраживачки рад II		15

Списак публикација кандидата Радета Божовића, у складу са нормативима Министарства просвете и науке Србије, наведен је у даљем тексту:

Радови у међународним часописима - 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, December 2017, pp. 1104-1109.

(DOI: 10.1316/re.2017.1104, ISSN (print): 1210-2512, ISSN (online): 1805-9600, IF 0.945)

Радови на међународним скуповима – M33

M33.1 Božović R.: *PAPR reduction in 16-QAM OFDM signals by using dynamic constellation shaping algorithm*, – Proceedings of the 22nd TELFOR, Belgrade 2014, pp. 312-315.

M33.2 Božović R., Smiljanić A., Čiča Z.: *Implementation of the IPv6 datagram processing on the FPGA chips*, – Proceedings of the 21st TELFOR, Belgrade 2013, pp. 50-53.

Радови на скуповима националног значаја – 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 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 2012.

M63.3 Božović R. R., Orlić V. D., Dukić M. L.: *Metode za unapređenje rezultata klasifikacija modulacija algoritmom kumulanata šestog reda*, – TELFOR 2011, Beograd 2011, pp. 477-480.

Дана 25.12.2017. године на Електротехничком факултету у Београду кандидат Раде Божовић имао је јавни усмени испит о подобности теме и кандидата пред Комисијом у саставу:

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

Комисија је закључила да кандидат испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом **задовољно**.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидата Радета Божовића и узимајући у обзир све претходно наведене чињенице, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидата те констатује да је исти:

- Положио све испите и извршио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом и тиме остварио 120 ЕСПБ бодова,
- Јавно одбранио тему докторске дисертације 25.12.2017. године пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду,
- Публиковао више радова у научним часописима и научним скуповима из области којој припада предложена тема докторске дисертације чиме је показао квалификације за научни рад и афинитет према теми докторске дисертације.

Стога је став Комисије да кандидат Раде Божовић задовољава све услове за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Са рапидним порастом бежичних апликација и сервиса, проблем фиксне алокације фреквенцијског спектра и ограничених радио ресурса све више долази до изражаја. Стога је неопходно увођење иновативних технологија које би допринеле да се на ефикаснији начин користи расположиви природни ресурс, тј. спектар. Когнитивни радио је једна од технологија за динамичко управљање спектром, односно за опортунистички приступ спектру нелиценцираних корисника. Когнитивни радио представља интелигентни бежични радио систем који је “свестан” свог окружења, учи из њега и подешава интерна стања својих параметара трансмисије (фреквенцијски опсег, тип модулације и предајну снагу) у реалном времену у складу са статистичким варијацијама свог радио окружења [1-3].

Испитивање заузетости спектра од интереса представља најважнији процес когнитивног радија како би се спречила интерференција ка лиценцираним корисницима. У литератури се могу наћи различите технике за анализу спектра, попут детектора енергије, циклостационарних детектора, детектора на бази подешеног филтра,... [4]. Некохерентни детектор енергије се заснива на поређењу енергије детектованог сигнала са дефинисаним прагом детекције. Код оваквих система не захтева се предзнање о карактеристикама лиценцираних корисника у постојећем радио окружењу што, уз мању комплексност имплементације, представља значајну предност у поређењу са кохерентним техникама детекције сигнала. Додатно, овакав систем омогућава бољу временску ефикасност процеса детекције, као и анализу широкопојасних сигнала. Због ових предности, детектор енергије представља најпопуларнију и најпроучаванију технику анализе спектра у литератури [5].

Циљ истраживања у оквиру ове докторске дисертације биће унапређење перформанси анализе спектра у когнитивном радију применом детектора енергије и статистике вишег реда у реалним условима. Наиме, сигнал који се детектује на пријему није верна реплика емитованог сигнала, већ је изобличен услед дејства шума и вишеструке пропагације. Такође, у оквиру истраживања биће претпостављено да когнитивни радио нема никакво предзнање о лиценцираним корисницима, као ни о нивоу шума у опсегу од интереса. Управо због тога, први корак у истраживању биће естимација релевантних улазних параметара за процес испитивања спектра на основу сигнала детектованог на пријему. Претпоставка је да ће детектовани сигнал бити могуће моделовати као ауторегресивни процес, чији параметри ће бити естимирани апроксимацијом релација између статистика другог реда, односно решавајући сет *Yule Walker* једначина [6], [7].

Како би се оствариле боље перформансе анализе спектра применом детектора енергије, когнитивни радио мора динамички да реагује на промене у свом радио окружењу, укључујући и подешавање прага детекције. Итеративна процедура за одређивање оптималног прага детекције предложена је у [8]. Ипак, итеративни приступ је често непрактичан, јер се захтева процена почетног услова у циљу глобалне конвергенције алгорита, а често може бити и рачунарски захтеван. Са друге стране, концепт когнитивног радија подразумева рад у

реалном времену, па се захтева велика временска ефикасност у процесу испитивања спектра. У том циљу, у овом истраживању акценат ће бити стављен на испитивање могућности проналажења решења у затвореној форми (*closed-form*) за одређивања оптималног прага детекције. Овакво решење омогућило би израчунавање оптималног прага детекције у једном кораку, што би последично побољшало временску ефикасност. Такође, овакво решење представљало би допринос и у смислу смањења потребног броја аритметичких операција, што би додатно унапредило перформансе и редуковало трошкове практичне реализације.

Један од главних недостатака детектора енергије је неразликовање сигнала од шума, као и сигнала међусобно. Зато ће један од даљих праваца у истраживању обухватити анализу примене статистике вишег реда у когнитивном радију у циљу добијања више информација о свом радио окружењу. Разматрани алгоритми засниваће се на статистичким методама базираним на тзв. “препознавању образаца” у сигнаlima различитих структура, који се одликују једноставношћу имплементације. У методама препознавања образаца у сигнаlima различитих структура стандардно се формирају два подсистема, од којих један служи за одређивање карактеристике од интереса у самом сигналу, док други служи за евентуалну класификацију сигнала (нпр. препознавање типа модулације). У разматраним алгоритмима користиће се нормализоване вредности здружених кумуланата вишег реда [9], [10], као и куртосиса [11]. Основни допринос ових метода био би унапређење поузданости детекције чак и у отежаним радио условима (мале вредности односа сигнал шум), као и могућност додатног процесирања и класификације детектованог сигнала (нпр. аутоматске класификације модулација).

Перформансе свих алгоритама у овом истраживању биће испитиване у реалним условима, без икаквог предзнања о радио окружењу. Евалуација перформанси биће обављене кроз симулације у програмском окружењу MATLAB [12]. У циљу додатног унапређења, разматраће се могућност комбиновања испитиваних алгоритама на бази статистике вишег реда у јединствени алгоритам.

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. Управо из тог разлога, једноставност имплементације један је од главних критеријума за одабир алгоритама који су предмет истраживања.

Релевантни радови из области истраживања:

- [1] Haykin S.: *Cognitive radio brain-empowered wireless communications*, - IEEE Journals on Selected Areas in Communications, Vol 23, No 2, pp. 201-220, 2005, DOI: 10.1109/JSAC.2004.839380.
- [2] Mitola J., Maquire G. Q. Jr.: *Cognitive Radio: making software radios more personal*, - IEEE Personal Communications, Vol 6, No 4, pp. 13-18, 1999, DOI: 10.1109/98.788210.
- [3] Akyildiz I. F., Lee W. Y., Vuran M., Mohanti S.: *Next generation/ dynamic spectrum access/ cognitive radio wireless networks: A survey*, - Computer Network Journal, Vol 50, No 13, pp. 2127-2159, 2006, DOI: 10.1016/j.comnet.2006.05.001.
- [4] Yucek T., Arslan H.: *A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications*, - IEEE Communications surveys& tutorials, Vol 11, No 1, pp. 116-130, 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090109.
- [5] Cabric D., Tkacenko A., Brodersen R. W.: *Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation*, - Proceedings of the 1st Inter. workshop on TAPAS, Boston, 2006, DOI: 10.1145/1234388.1234400.
- [6] Paliwal K. K.: *Estimation of noise variance from the noisy AR signal and its application in speech enhancement*, - Proceedings of the ICASSP, Dallas, 1987, pp. 297-300. DOI: 10.1109/ICASSP.1987.1169682.

- [7] Cadzow J. A.: *Spectral estimation: An overdetermined rational model equation approach*, - Proceedings of the IEEE, 1982, Vol 70, No 9, pp. 907-939, DOI: 10.1109/PROC.1982.12424.
- [8] Joshi D. R., Popescu D. C., Dobre O.A.: *Gradient-Based Threshold Adaptation for Energy Detector in Cognitive Radio Systems*, - IEEE Communications Letters, Vol 15, No 1, pp. 19-21, 2011, DOI: 10.1109/LCOMM.2010.11.100654.
- [9] Orlic V. D., Dukic M. L.: *Automatic modulation classification algorithm using higher-order cumulants under real-world channel conditions*, - IEEE Communications Letters, Vol 13, No 12, pp. 917-919, 2009, DOI: 10.1109/LCOMM.2009.12.091711.
- [10] Orlic V. D., Dukic M. L.: *Multipath channel estimation algorithm for automatic modulation classification using sixth-order cumulants*, - Electronic Letters, Vol 46, No 19, pp. 1348-1349, 2010, DOI: 10.1049/el.2010.1893.
- [11] Ollila E.: *On the Circularity of a Complex Random*, - IEEE Signal Processing Letters, Vol 15, pp. 841-844, 2008, DOI: 10.1109/LSP.2008.2005050.
- [12] Harada H., Prasad R.: *Simulation and Software radio for Mobile Communications*, Norwood, MA (USA), Artech House, 2002, ISBN: 1580530443.

3. Полазне хипотезе

Истраживачки рад кандидата Радета Божовића се заснива на следећим хипотезама:

- За потребе одређивања оптималног прага пријема детектора енергије и његовог прилагођавања динамичком радио окружењу, важан аспект је временска ефикасност. Полазна хипотеза је да ће временска ефикасност бити побољшана применом решења у затвореној форми за израчунавање оптималног прага пријема детектора енергије у реалном времену.
- Когнитивни радио нема никакво предзнање о лиценцираним корисницима, као ни о нивоу шума у опсегу од интереса, односно сви релевантни параметри се морају естимирати. У том циљу, претпоставиће се да је детектовани сигнал могуће моделовати као ауторегресивни процес, као и да се адекватном обрадом сигнала и решавањем *Yule Walker* једначина може доћи до процене како шума, тако и нивоа сигнала лиценцираних корисника.
- Примена статистике вишег реда, као и комбиновање критеријума више различитих статистика у јединствени алгоритам, допринеће унапређењу перформанси анализе спектра у когнитивном радију.

4. Научне методе истраживања

У оквиру овог истраживања биће коришћене следеће методе:

- Преглед научне литературе и анализа постојећих техника за испитивање заузетости спектра у когнитивном радију у циљу њиховог међусобног поређења.
- Развој алгоритма за одређивање оптималног прага пријема детектора енергије генерисањем решења у затвореној форми.
- Развој алгоритама за анализу спектра применом статистике вишег реда.
- Имплементација предложених алгоритама у програмском окружењу MATLAB.
- Испитивање перформанси предложеног детектора (вероватноћа успешне детекције и вероватноћа лажног аларма) у зависности од различитих фактора (тип лиценцираног сигнала и услови пропагације) вршиће се кроз рачунарске симулације.

5. Очекивани научни допринос

Као резултат овог истраживачког рада очекују се следећи научни доприноси:

- Обавиће се упоредна анализа постојећих метода за анализу спектра у когнитивном радију.
- Предложиће се нове методе које омогућавају већу ефикасност анализе спектра.
- Предложиће се алгоритми прихватљивог реда комплексности израчунавања, што ће допринети једноставности евентуалне имплементације и практичне реализације.
- Имплементираће се и анализирати предложена решења у реалним условима пропагације и без предзнања о карактеристикама лиценцираног система
- Предложиће се алгоритам на бази статистике вишег реда у циљу класификације сигнала на пријему. Додатно унапређење перформанси ће се постићи комбиновањем критеријума више различитих статистика у један критеријум.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање у оквиру израде докторске дисертације биће обављено у више фаза, и то:

- Преглед научне литературе и анализа перформанси постојећих техника за испитивање заузетости спектра у когнитивном радију.
- Развој алгоритма за одређивање оптималног прага пријема генерисањем решења у затвореној форми.
- Преглед научне литературе и анализа спроведених истраживања примене статистика вишег реда у решавању проблема детекције сигнала у когнитивном радију.
- Развој алгоритама за анализу спектра применом статистике вишег реда.
- Имплементација алгоритама у програмском окружењу MATLAB. Симулације у реалним условима пропагације и без а приори информација о радио окружењу. Анализа перформанси (вероватноћа успешне детекције и вероватноћа лажног аларма) у зависности од различитих фактора (тип лиценцираног сигнала и услови пропагације).

Структура докторске тезе ће у великој мери пратити наведене фазе истраживања.

7. Закључак и предлог

Након свих претходно наведених чињеница и стечене слике о теми докторске дисертације и кандидату, Комисија закључује да кандидат Раде Божовић испуњава све услове да спроведе истраживање и да је способан да реализује докторску дисертацију на предложеној тему „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“.

Пошто презентовани садржаји и планирана истраживања припадају областима актуелних научних истраживања, а очекивани научни доприноси су значајни у домену унапређења ефикасности, повећања поузданости као и класификацији сигнала у поступку анализе спектра у когнитивном радију, Комисија је сагласна да је предложена тема пододбна за докторску дисертацију. Комисија констатује да предложена тема припада ужој научној области: Телекомуникације, подобласт Когнитивни радио, и да је Електротехнички факултет матичан за ову научну област, те за ментора за израду докторске дисертације предлаже др Мирјану Симић – Пејовић, ванредног професора Електротехничког факултета у Београду. Уз извештај се прилаже списак радова проф. др Мирјане Симић- Пејовић који је квалификују за ментора.

У закључку овог извештаја, имајући у виду све горе наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Радету Божовићу одобри израду докторске дисертације под насловом: „Оптимизован поступак за анализу спектра у когнитивном радију применом детектора енергије“.

У Београду, 27.12.2017. год.

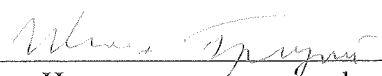
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


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, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет