

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње мр Весне Благојевић.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 891/3 донетој на 770. седници одржаној 21. 01. 2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње мр Весне Благојевић под насловом

### **Оптимизација когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције применом вишеантенских техника са адаптивном контролом снаге**

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

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња је тему под насловом „*Оптимизација когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције применом вишеантенских техника са адаптивном контролом снаге*“ пријавила 31.01.2012. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на 743. седници одржаној 07.02.2012. године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: др Предраг Н. Иваниш, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Мирослав Ј. Дукић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Горан Т. Ђорђевић, ванредни професор (Универзитет у Нишу – Електронски факултет), др Мирјана И. Симић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Миљко М. Ерић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

Извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације је усвојен на 744. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 06.03.2012. године. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације на седници одржаној 26.03.2012. године.

Кандидаткиња је урађену дисертацију поднела на преглед и оцену 09.01.2014. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на 770. седници одржаној 21.01.2014. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Предраг Н. Иваниш, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Мирослав Л. Дукић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Горан Т. Ђорђевић, ванредни професор (Универзитет у Нишу – Електронски факултет), др Мирјана И. Симић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Миљко М. Ерић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

Кандидаткиња је одбранила магистарску тезу 25.04.2007. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

## **1.2. Научна област дисертације**

Дисертација припада научној области Техничких наука - електротехнике, а ужем смислу научној области Телекомуникације. За ове области матичан је Електротехнички факултет. Ментор дисертације је др Предраг Н. Иваниш, ванредни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Београду због значајних научних доприноса у области теме докторске дисертације, посебно у области теорије вишеантенских телекомуникационих система и теорије информација.

## **1.3. Биографски подаци о кандидаткињи**

Весна Благојевић рођена је 03.01.1976. године у Београду, где је завршила Математичку гимназију. Електротехнички факултет уписала је 1994. године. Била је стипендиста Фонда за развој научног подмлатка и добитник стипендије Краљевине Норвешке за 1000 најбољих студената у Србији. Дипломирала је марта 2001. године са просечном оценом током студија 9.0. Уписала је постдипломске студије на Електротехничком факултету 2001. године. Била је стипендиста Министарства за науку и технологију Републике Србије до јануара 2003. године. Магистарски рад „Модели нисконапонских електродистрибутивних водова као канала за пренос телекомуникационих сигнала“ одбранила је априла 2007. године.

У периоду од дипломирања до јануара 2003. године била је ангажована као сарадник при Катедри за телекомуникације, где је примљена у радни однос у звању асистент-приправник јануара 2003. године. У звање асистент на Катедри за телекомуникације изабрана је новембра 2007. године. У току ангажовања на Катедри за телекомуникације учествовала је у извођењу рачунских и лабораторијских вежби из већег броја предмета.

Тренутно је учесник два пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије: „Напредне технике ефикасног коришћења спектра у бежичним системима“ (ТР 32028, пројектом руководи Електротехнички факултет, Београд), „Истраживање и развој робусних система за пренос података и њихова примена у корпоративним мрежама“ (ТР 32037, пројектом руководи Институт Михајло Пупин, Београд). Ангажована је као рецензент за међународне часописе *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, *IEEE Communications Letters*, *IEEE Wireless Communications Letters*. Служи се енглеским, шпанским и руским језиком.

Весна Благојевић је аутор или коаутор 4 рада у међународним часописима са импакт фактором, од чега је један рад у категорији M21, два рада у категорији M22 и један рад у категорији M23. Такође је аутор или коаутор 2 рада у часописима националног значаја, 13 радова на конференцијама међународног значаја и 8 радова на конференцијама националног значаја.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 211 страна куцаног текста и садржи 90 слика, 4 табеле и 133 библиографске референце. Дисертација садржи насловну страну, кратак резиме на српском и енглеском језику, садржај, 7 глава и списак коришћене литературе. Наслови поглавља докторске дисертације су:

1. Увод,
2. Модел канала и система са применом вишеантенских техника,
3. Вишеантенски когнитивни радио-системи са адаптацијом снаге секундарног корисника,
4. Ергодиични капацитет вишеантенског секундарног линка когнитивног радио-система,
5. Вероватноћа грешке на секундарном линку вишеантенског когнитивног радио-система,
6. Адаптација снаге при застарелој информацији о стању у каналу на линку интерференције,
7. Закључак.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводној глави дисертације изложени су основни принципи когнитивног радија и описана мотивација за развој и истраживања у овој области. Приказани су различити концепти когнитивног приступа спектралним ресурсима и дат је преглед најзначајније литературе. Посебно је изложен преглед најзначајнијих истраживања у области когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције, која представља тему истраживања ове дисертације. На крају уводног поглавља дат је преглед структуре и допринос рада.

У другој глави детаљно су описани модели канала и система који су коришћени у истраживању. Описан је модел Накагами- $m$  фединга, при чему је посебна пажња посвећена одређивању статистичких карактеристика канала. Детаљно су описане одабране вишеантенске технике чија је примена на секундарном линку когнитивног радио-система са контролисаним нивоом интерференције предмет анализе дисертације. Разматрана је примена диверзитија заснована на комбиновању са максималним односом (*Maximal Ratio Combining*, MRC), као и примена технике оптималне селекције предајне антене (*Transmit Antenna Selection*, TAS). Описана је и техника добијена комбиновањем два претходно наведена поступка (*Transmit Antenna Selection / Maximal Ratio Combining*, TAS/MRC), као и примена ортогоналних просторно-временских блок-кодова (*Orthogonal Space Time Block Codes*, OSTBC). Описане су статистичке карактеристике односа снаге сигнала и снаге шума (*Signal-to-Noise Ratio*, SNR) на излазу пријемника када је емисиона снага предајника константна, што одговара примени ових техника у конвенционалним системима.

Аналитички модел вишеантенског когнитивног система са контролисаним нивоом интерференције на месту примарног пријемника описан је у трећој глави дисертације. Изложен је поступак адаптације емисионе снаге секундарног предајника, под претпоставком да је рад секундарног корисника ограничен максималном дозвољеном снагом интерференције на месту примарног пријемника и максималном доступном емисионом снагом секундарног предајника. Анализиран је тренутни SNR на излазу секундарног

пријемника, а затим је извршена статистичка анализа за SNR у окружењу са Накагами- $m$  расподелом фединга одређивањем разних статистичких параметара (функција густине вероватноће, функција расподеле, генеришућа функција момената, момент  $n$ -тог реда). За сваку од разматраних техника, као и за систем без примене диверзитија, разматран је утицај параметара канала, димензија система и услова ограничења рада секундарног предајника на посматране статистичке параметре. Резултати добијени у трећем поглављу представљају основ за анализу перформанси секундарног система у наредним поглављима дисертације.

У четвртој глави анализиран је ергодични капацитет секундарног линка когнитивног радио система у окружењу са Накагами- $m$  федингом. Детаљно су испитане могућности повећања капацитета применом одабраних вишеантенских техника. Анализиран је утицај параметара фединга у окружењу, димензија система, као и максималне дозвољене вредности снаге интерференције и емисионе снаге секундарног предајника. Изведени су аналитички изрази који описују зависност ергодичног капацитета вишеантенског секундарног линка од параметара система и фединга, као и асимптотски изрази који важе у случају када је један од услова доминантан. Извршена је и независна Монте-Карло симулација којом је потврђена валидност аналитичких резултата. Уочено је да асимптотски изрази са високом тачношћу представљају апроксимацију тачног израза за широк опсег параметара. Разматран је утицај геометрије мреже на капацитет линка. Извршена је компаративна анализа вредности капацитета у разним случајевима примене одабраних вишеантенских техника.

Пета глава дисертације посвећена је анализи просечне вероватноће грешке при преносу сигнала на секундарном линку когнитивног радио система. Усредњавањем условне вероватноће грешке по свим реализацијама фединга у каналу (ергодичан случајни процес), одређена је тачна вредност вероватноће грешке по биту и симболу за разне типове модулација и разне димензије констелација. За сваку од вишеантенских техника изведени су аналитички изрази, на основу којих се показује зависност вероватноће грешке по биту од параметара фединга на секундарном линку и линку интерференције, димензија система, као и услова ограничења рада секундарног корисника.

У шестој глави анализиран је утицај застареле информације о стању у каналу од секундарног предајника до примарног пријемника. Описан је метод за адаптацију снаге секундарног предајника у циљу адекватне заштите примарног пријемника и модификација услова ограничења рада секундарног корисника у односу на случај када је доступна идеална информација о стању у каналу. Извршена је детаљна анализа утицаја параметара система, параметара фединга у окружењу и дозвољене вероватноће премашења прага интерференције на максималну дозвољену вредност снаге секундарног предајника и ергодични капацитет секундарног линка. Резултати су добијени применом нумеричких прорачуна и потврђени применом независног симулационог поступка, за случајеве када секундарни пријемник има једну антену, као и када је на пријемнику примењен пријемни MRC диверзити. Извршена је и детаљна анализа утицаја застареле информације о стању у каналу на линку интерференције на капацитет секундарног линка са применом вишеантенских техника на секундарном предајнику. Извршена је и компаративна анализа наведених вишеантенских техника и уочено је да је секундарни систем са применом OSTBC отпорнији на застарелост информације о стању канала на секундарном линку у односу на систем са применом TAS/MRC система.

У седмом поглављу дисертације изложени су најзначајнији закључци.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација припада тренутно актуелној области когнитивног радија. У ужем смислу, дисертација се бави применом теорије бежичних телекомуникационих система у анализи и оптимизацији когнитивних радио система. Концепт когнитивног радија представља потенцијално решење за превазилажење проблема све већег недостатка слободних фреквенцијских опсега. Предмет анализе у дисертацији су когнитивни радио-системи са контролисаним нивоом интерференције, код којих секундарни корисник може приступити опсегу учестаности који користи примарни корисник под условом да на улазу примарног пријемника генерише интерференцију која је мања од унапред дефинисаног прага. Адаптацијом снаге секундарног когнитивног предајника на услове пропагације сигнала у линку ка примарном пријемнику може се испунити услов ограничења рада, али се директно утиче и на ограничење капацитета секундарног линка. Ова област истраживања је веома актуелна у садашњој литератури.

Докторска дисертација се бави применом вишеантенских техника у циљу повећања капацитета секундарног линка без значајне деградације перформанси примарног корисника. За системе са применом одабраних вишеантенских техника развијен је аналитички и симулациони модел којим се описују статистичке карактеристике SNR-а на излазу секундарног пријемника, а затим су изведени аналитички изрази којима се описују најзначајније метрике перформанси секундарног система. Конкретни проблеми анализирани у тези су препознати као релевантни у литератури током претходних неколико година. У прилог томе говори и чињеница да неки од аналитичких израза изведених у докторској дисертацији, којима се описују перформансе секундарног линка, представљају нова решења у затвореном облику за проблеме који су били разматрани, али је допринос био ограничен само на симулациону анализу или апроксимативна решења проблема. При томе је значајно нагласити да је до сада разматрани сценарио био једноставнији од оног који је усвојен у дисертацији.

Осим тога, анализа утицаја застареле информације о стању у каналу од секундарног предајника до примарног пријемника је тренутно веома актуелна у литератури, при чему је она у постојећим публикацијама ограничена на окружење са Рејлијевим федингом. У дисертацији је извршена анализа за случај општијег модела фединга којим се узима у обзир присуство директне пропагационе компоненте (Накагами- $m$  модел). Такође, у дисертацији је извршена и оригинална анализа утицаја застареле информације о стању у каналу ка примарном пријемнику у случају када су на предајној страни секундарног корисника примењене одабране вишеантенске технике.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

Током израде дисертације кандидаткиња је детаљно истражила постојећу релевантну литературу и коректно навела радове који су у вези са темом дисертације. Наведено је укупно 133 библиографске референце. Литература садржи најновије радове релевантне за проблематику истражену у дисертацији, при чему је Весна Благојевић аутор или коаутор 9 радова.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Детаљно је анализирана постојећа литература у области когнитивних радио-система са контролисаним нивоом интерференције. Посебна пажња је посвећена анализи когнитивних радио-система са применом вишеантенских техника, које су представљале недовољно истражену област на почетку израде дисертације.
- Извршена је детаљна анализа вишеантенских техника које су од интереса за примену на секундарном линку когнитивног радио-система. Посебна пажња је посвећена статистичкој анализи случајног процеса који одговара SNR на излазу секундарног пријемника у случају када је снага предајника константна, што одговара примени ових техника у конвенционалним системима. Спроведена анализа одговара општем случају када се фединг у пропагационом окружењу повинује Накагами- $m$  расподели, која као посебан случај подразумева и Рејлијеву расподелу фединга.
- За сваку од одабраних вишеантенских техника формиран је модел који адекватно описује статистичке карактеристике SNR на излазу секундарног пријемника и одређени су одговарајући аналитички изрази. Развијеним моделом је описан случај када је рад секундарног корисника ограничен максималном дозвољеном снагом интерференције на месту примарног пријемника и максималном емисионом снагом секундарног предајника.
- На основу постављеног аналитичког модела извршена је анализа перформанси секундарног линка когнитивног радио система. За разне метрике перформанси изведени су аналитички изрази у затвореном облику. За случајеве у којима није било могуће одредити израз у затвореном облику, резултати су одређени нумеричким поступком. Нумеричка анализа извршена је у програмском пакету *Mathematica*.
- Развијен је независни Монте-Карло симулациони модел којим су верификовани нумерички резултати добијени применом аналитичких израза. Симулациона анализа извршена је у програмском пакету *Matlab*.
- Извршена је анализа зависности перформанси секундарног линка од утицаја разних параметара секундарног система, фединга у пропагационом окружењу и ограничења која се постављају при раду секундарног корисника у когнитивном радио-систему са контролисаним нивоом интерференције.
- Извршена је анализа перформанси секундарног линка под реалном претпоставком застареле информације о стању у каналу на линку интерференције. Примењен је мање стриктан услов ограничења интерференције у којем примарни корисник дозвољава да праг интерференције буде премашен у одрађеном проценту времена. За овако дефинисане услове рада извршена је компаративна анализа капацитета вишеантенског секундарног линка за разне вредности корелационог коефицијента, параметара система и канала.

Примењена методологија у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са циљевима дефинисаним на почетку израде дисертације.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Резултати изведени у докторској дисертацији показују границе перформанси које се могу остварити применом когнитивних радио-система са контролисаним нивоом интерференције. Изведени аналитички изрази и добијени нумерички резултата показују на који начин параметри система и фединга у окружењу, као и ограничења рада које поставља примарни корисник, утичу на перформансе секундарног система са применом одабраних вишеантенских техника. Анализа је извршена за случај Накагами- $m$  модела расподеле фединга који има широк опсег примене и карактерише га висок ниво усаглашености са резултатима добијеним емпиријским путем.

Непрецизност информације о стању у каналу од секундарног предајника до примарног пријемника представља веома значајан практичан проблем. Из наведеног разлога спроведена анализа утицаја параметара система и фединга у случају застареле информације о стању у каналу има посебан значај при дизајну вишеантенског секундарног линка когнитивног радио-система. Изведени аналитички модел представља и основ за даље проширење система у правцу кооперативног рада више секундарних корисника, односно примарног и секундарног корисника у циљу повећања капацитета и поузданости система.

### **3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад**

Кандидаткиња је приликом израде дисертације показала систематичност, способност за препознавање отворених питања у научној литератури и зрелост при анализи и решавању проблема. Посебно треба истаћи да је област когнитивних радио-система са контролисаним нивоом интерференције, којом се кандидаткиња бави, веома актуелна. Неки од добијених резултата представљају решења отворених проблема који су постојали у литератури или њихово унапређење, као и анализу проблема на које до сада није постојао осврт у доступној литератури. Доприноси дисертације у овој области су оригинални, савремени и потврђују способност кандидаткиње за самосталан истраживачки рад. У прилог томе иде и чињеница да су радови који су проистекли из дисертације цитирани више пута у литератури од стране других аутора у престижним међународним часописима и на међународним конференцијама, као и у једној докторској дисертацији која се бави сродном проблематиком.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Научни допринос докторске дисертације огледа се у развоју аналитичког и симулационог модела за анализу значајних перформанси вишеантенског когнитивног радио-система са контролисаним нивоом интерференције у каналима са дејством Накагами- $m$  фединга. Конкретно научни доприноси остварени у дисертацији су следећи:

- За секундарни систем са једном предајном и једном пријемном антенном, као и системе са применом одабраних вишеантенских техника изведени су релевантни статистички параметри у затвореном облику. Посебна пажња је посвећена извођењу израза за функцију густине вероватноће, функцију расподеле, генеришућу функцију момената и момент  $n$ -тог реда односа снаге сигнала и шума на излазу секундарног пријемника.

- Извршена је детаљна анализа ергодишног капацитета секундарног линка когнитивног радио система.
- Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику за ергодишни капацитет секундарног линка у случајевима када на секундарном линку није примењен диверзити, када је примењено комбиновање са максималним односом са произвољним бројем антена и у случају примене OSTBC кода произвољних параметара. Изрази су валидни за пропагационо окружење са Накагами-*m* федингом, када је рад секундарног корисника ограничен максималном вршном снагом интерференције и максималном емисионом снагом секундарног предајника. Изведени су и оригинални изрази за капацитет секундарног линка који важе у случајевима када је рад секундарног корисника доминантно ограничен само једним од наведених услова. У случају окружења са Рејлијевим федингом, показано је да се услед ефекта диверзитија на линку ка примарном кориснику, применом MRC може постићи већи капацитет у односу на примену OSTBC за исти број антена на пријемној страни.
- Изведени су оригинални аналитички изрази у затвореном облику за ергодишни капацитет секундарног линка у окружењу са Рејлијевим федингом, у случајевима када је на секундарном линку примењена TAS или TAS/MRC техника. Показано је да капацитет секундарног линка зависи од производа броја предајних и пријемних антена, а не од појединачног броја антена. Анализирани когнитивни системи са адаптацијом снаге постижу исте перформансе за случајеве примене TAS и MRC система са једнаким бројем антена на страни примене диверзитија, што није случај код конвенционалних система са фиксном предајном снагом.
- Извршена је анализа вероватноће грешке по биту при преносу сигнала на вишеантенском секундарном линку когнитивног радио система у окружењу са Накагами-*m* федингом. Оригинални аналитички изрази за вероватноћу грешке по биту изведени су у затвореном облику за случајеве једне предајне и једне пријемне антене на секундарном линку, затим када је примењено комбиновање са максималним односом, као и за случај када је примењен OSTBC код. Изрази су валидни за произвољан број антена и важе за случај када је ограничена вршна снага интерференције на месту примарног пријемника и максимална емисиона снага секундарног предајника, а изведени су и оригинални асимптотски изрази валидни у случају када доминира један од услова рада секундарног корисника.
- Извршена је детаљна анализа утицаја застареле информације о стању у каналу од секундарног предајника ка примарном пријемнику за случај када се статистика фединга у окружењу повинује Накагами-*m* закону расподеле. Изведен је оригиналан израз који повезује вероватноћу премашења прага интерференције и фактор смањења снаге у односу на случај идеалне естимације.
- Извршена је компаративна анализа ергодишног капацитета вишеантенског секундарног линка под претпоставком застареле информације о стању у каналу од секундарног предајника ка примарном пријемнику.
- Закључено је да се за разлику од идеалних услова естимације канала ка примарном пријемнику, где капацитет секундарног система са применом TAS/MRC надмашује капацитет система са OSTBC, применом просторно временских кодова систем постаје мање осетљив на застарелост информације о стању у каналу ка примарном пријемнику. Одабир оптималне технике је комплексан и зависи од параметра фединга, застарелости информације, димензије система, максималне снаге секундарног предајника и дозвољене вероватноће премашења прага интерференције на месту примарног пријемника.



#### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Увидом у циљеве истраживања, полазне претпоставке и остварене резултате констатујемо да је кандидаткиња успешно одговорила на сва значајна питања из проблематике која је анализирана у дисертацији. Развијен аналитички модел вишеантенског когнитивног радио-система са контролисаним нивоом интерференције, аналитички резултати проистекли из тог модела и развијени независни симулациони модел представљају значајан научни допринос у области когнитивних радио-система. Анализом резултата приказаних у дисертацији констатујемо да су приказани оригинални и савремени резултати.

#### **4.3. Верификација научних доприноса**

У току истраживачког рада у области теме докторске дисертације Весна Благојевић је као аутор или коаутор објавила четири рада у међународним часописима са SCI листе и то један рад у врхунском часопису категорије M21, два рада у часописима категорије M22 и један рад у часопису категорије M23. Од укупног броја радова у међународним часописима кандидаткиња је првопотписани аутор на два рада. Поред тога, шест радова је презентовано на конференцијама међународног значаја и један рад на конференцији националног значаја.

##### Категорија M21:

1. Predrag Ivanis, **Vesna Blagojevic**, Dusan Drajić, Branka Vucetic, "Closed-Form Level Crossing Rates Expressions of Orthogonalized Correlated MIMO Channels", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 4, pp. 1910-1916, May 2011. (IF=1.921) (ISSN: 0018-9545).

##### Категорија M22:

1. **Vesna Blagojević**, Predrag Ivanis, "Ergodic Capacity for TAS/MRC Spectrum Sharing Cognitive Radio", *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 3, pp. 321-323, March 2012. (IF=1.059) (ISSN: 1089-7798).
2. **Vesna Blagojević**, Predrag Ivanis, "Ergodic Capacity of Spectrum Sharing Systems with OSTBC in Nakagami Fading", *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 9, pp. 1500-1503, September 2012. (IF=1.059) (ISSN: 1089-7798)

##### Категорија M23:

1. Predrag Ivanis, **Vesna Blagojevic**, Dusan Drajić, Branka Vucetic, "Second Order Statistics of a Maximum Ratio Combiner with Unbalanced and Unequally Distributed Nakagami Branches", *IET Communications*, vol. 5, iss. 13, pp. 1829-1835, September 2011. (IF=0.829) (ISSN: 1751-8628).

##### Категорија M33:

1. Predrag N. Ivaniš, **Vesna M. Blagojević**, Milena M. Stojnić, Srdjan S. Brkić, "User Cooperation Diversity in Cognitive Radio Systems", *Proc. SAUM 2012*, Niš, Serbia, November 14<sup>th</sup>-16<sup>th</sup>, 2012, pp. 72-79. ISBN 978-86-6125-072-9. (invited paper).
2. **Vesna Blagojević**, Predrag Ivanis, "Ergodic Capacity of Spectrum Sharing Cognitive Radio with MRC Diversity and Nakagami Fading", *Proc. IEEE WCNC 2012*, Paris, France, April 1<sup>st</sup>-4<sup>th</sup>, 2012, pp. 2797-2801. ISBN: 978-1-4673-0436-8.

3. Predrag Ivanis, Vesna Blagojevic, Dusan Drajić, Branka Vucetic, "The Second Order Statistics of a Two-Branch MRC with Power Unbalanced Nakagami Distributed Branches", *Proc. IEEE TELSIS 2011*, Nis, Serbia, October 5<sup>th</sup>-8<sup>th</sup>, 2011, pp. 455-458. ISBN: 978-1-4577-2018-5.
4. Vesna Blagojevic, Predrag N. Ivanis, "The Application of OSTBC with Alamouti Scheme in Spectrum-Sharing Cognitive Radio", *Proc. ICEST 2011*, Nis, Serbia, June 29<sup>th</sup>-July 1<sup>st</sup>, 2011. ISBN 978-86-6125-031-6.
5. Vesna Blagojevic, Predrag N. Ivanis, "The Second-order Statistics of One Ring MIMO Model and its Applications", *Proc. IEEE EUROCON 2011*, Lisbon, Portugal, April 27<sup>th</sup>-29<sup>th</sup>, 2011. ISBN: 978-1-4244-7486-8.
6. Vesna Blagojevic, Predrag N. Ivanis, "Level Crossing Rate of MRC with Transmit Antenna Selection in Unequally Distributed Nakagami Fading Channels", *Proc. IEEE ECCSC 2010*, Belgrade, Serbia, November 23<sup>rd</sup>-25<sup>th</sup>, 2010, pp. 260-263. ISBN 978-1-61284-400-8.

#### Категорија M63:

1. Vesna Blagojević, Aleksandra Cvetković, "Ergodični kapacitet kognitivnog radio sistema sa kontrolisanim prosečnim nivoom interferencije i primenom TAS/MRC", Zbornik radova 56. konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu fiziku, ETRAN 2012, Jun 2012, TE1.7, str. 1-4.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација мр Весне Благојевић под насловом „*Оптимизација когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције применом вишеантенских техника са адаптивном контролом снаге*“ 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 је анализиран когнитивни радио-систем са контролисаним нивоом интерференције и размотрено је побољшање перформанси секундарног линка применом одабраних вишеантенских техника. Развијен је аналитички и симулациони модел на основу којег је извршена анализа и изведени су значајни статистички параметри случајног процеса који одговара вредности односа снаге сигнала и шума на излазу секундарног пријемника. Применом развијеног модела извршена је анализа разних метрика перформанси секундарног линка. Посебно је разматран утицај несавршене информације о стању у каналу од секундарног предајника до примарног пријемника, који представља значајан практичан проблем. Уочено је да, под овим условима, примена просторно временских кодова обезбеђује мању осетљивост на грешке естимације у односу на остале разматране технике. Одабир оптималне технике зависи од параметра фединга у пропагационом окружењу, застарелости информације, димензије система, као и дозвољене вероватноће премашења прага интерференције на месту примарног пријемника.

Резултате проистекле из истраживања спроведеном у оквиру докторске дисертације кандидаткиња је објавила у водећим међународним часописима са SCI листе и презентовала стручној јавности на конференцијама од међународног и националног значаја. Значај научног доприноса дисертације додатно је потврђена цитатима у врхунским међународним часописима и на конференцијама међународног значаја.

На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидаткиње, Комисија констатује да дисертација „*Оптимизација когнитивних система са контролисаним нивоом интерференције применом вишеантенских техника са адаптивном контролом снаге*“ мр Весне Благојевић садржи оригиналне научне доприносе.

На основу претходног Комисија констатује да је мр Весна Благојевић, дипломирани инжењер електротехнике, испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се овај реферат прихвати, и у складу са законском процедуром упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидаткињи да приступи усменој одбрани.

У Београду, 24.01.2014. године

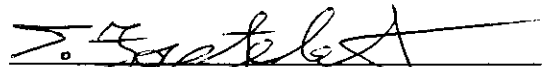
#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



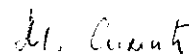
др Предраг Н. Иваниш, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



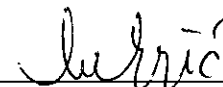
др Мирослав Л. Дукић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Горан И. Ђорђевић, ванредни професор  
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Мирјана И. Симић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Миљко М. Ерић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет