

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **мр Горана Б. Марковића**, дипл. инж. ел., за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду донетој на седници већа бр. 767 од 08.10.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **мр Горана Б. Марковића**, дипл. инж. ел., за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "**Кооперативна аутоматска класификација сигнала по типу модулације коришћењем мреже сензора**".

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Горан Б. Марковић рођен је у Неготину 10.08.1973. године. Основну школу завршио је у Неготину 1988. године, а школовање је наставио у Неготинској гимназији, где је и матурирао 1992. године. Основне студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је у школској 1992/1993 години, и завршио их 1998. године на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику (ЕТА) - смер ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ, са просечном оценом 9.21 током студија. Дипломски рад под називом "Мерење широкопојасних карактеристика радио канала помоћу осцилоскопа HP54600A", а који је оцењен највишом оценом, одбранио је 5. фебруара 1998. године. Током студија је био стипендиста Министарства за науку и образовање Републике Србије. Последипломске студије уписао је школске 1999/2000 године на Електротехничком факултету у Београду, и успешно их завршио 2005. године на смеру ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ, са просечном оценом 10.00 током студија. Магистарски рад "Анализа алгоритама за аутоматску класификацију радио сигнала по типу модулације", који је радио под руководством ментора проф. др Мирослава Л. Дукића, одбранио је 15. децембра 2005. године и стекао звање магистра електротехничких наука за област телекомуникација.

У целокупном периоду након завршетка основних студија запослен је на Електротехничком факултету у Београду. У априлу 1998. године запослен је у звању стручног сарадника при Катедри за телекомуникације на Електротехничком факултету у Београду. За асистента-приправника на Катедри за телекомуникације на Електротехничком факултету у Београду изабран је у новембру 1998. године, а у звање асистента је унапређен у септембру 2006. године. Од септембра 2000. године до јула 2001. године налазио се на одслужењу војног рока. Током свог ангажовања на Електротехничком факултету у Београду, учествовао је у

извођењу наставе из великог броја предмета из области телекомуникација на основним и мастер студијама. Поред наставне активности, учествовао је као пројектант сарадник или одговорни пројектант у реализацији већег броја (више од 50) стручних и научних пројеката, студија, и других послова изведених на Електротехничком факултету у Београду.

У јануару 2008. године положио је стручни испит за дипломиране инжењере електротехнике за стручну област Телекомуникационих система и мрежа, а у септембру 2009. године стекао је Лиценцу одговорног пројектанта за област Телекомуникационих система и мрежа при Инжењерској комори Србије. Члан је Друштва за телекомуникације, као и међународног удружења инжењера IEEE. Говори енглески језик. Ожењен је и има једно дете.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Горан Б. Марковић је свој магистарски рад под називом "Анализа алгоритама за аутоматску класификацију радио сигнала по типу модулације" из области телекомуникација, радио под руководством ментора проф. др Мирослава Л. Дукића и одбранио га 15. децембра 2005. године на Електротехничком факултету у Београду. Ова магистарска теза бавила се проблемом аутоматске класификације радио сигнала по типу модулације, односно истом облашћу као и предложена докторска дисертација. Један од битних доприноса овог рада је био изузетно детаљан преглед постојећих класа алгоритама за класификацију радио сигнала, са описом великог броја тренутно предложених алгоритама, као и свеобухватна упоредна анализа карактеристика најбитнијих алгоритама за класификацију у идеалним и реалним условима рада, укључујући анализу осетљивости алгорита на велики број ефеката који се јављају као последица реалних услова рада, што раније није било дато у литератури. На основу приказаних резултата анализе изведени су закључци о могућности практичне примене анализираних алгоритама за класификацију сигнала уз дефинисање неопходних захтева који морају бити испуњени при њиховој практичној имплементацији. Додатно, за већи број анализираних алгоритама за класификацију сигнала предложене су модификације у циљу побољшања њихових карактеристика. Закључено је да је при класификацији широког скупа аналогно и дигитално модулисаних сигнала погодна примена хијерархијске шеме класификације сигнала, и предложен је нови поступак класификације на бази хијерархијске структуре за класификацију радио сигнала у HF (*High Frequency*) опсегу, уз предлог скупа нових алгоритама за класификацију сигнала на класе аналогно и дигитално модулисаних сигнала, као и за класификацију сигнала унутар ових класа. Кроз детаљну анализу применом самостално развијених симулационих модела потврђено је да предложени хијерархијски поступак класификације поседује изузетно добре карактеристике класификације, боље од оних добијених за раније предложене алгоритме намењених за истовремену класификацију аналогно и дигитално модулисаних сигнала. У поступку нумеричке анализе коришћени су самостално развијени симулациони модели у окружењу програмског пакета МАТЛАБ, при чему су као тест сигнали коришћени генерисани сигнали, али и снимци реалних сигнала.

Током свог досадашњег научно-истраживачког рада кандидат је као аутор или коаутор публикувао 3 рада на конференцијама од међународног значаја, 8 радова у часописима од националног значаја, 10 радова на конференцијама од националног значаја, а коаутор је и 2 призната техничка решења. При томе, из области предложене теме докторске дисертације кандидат је публикувао 3 рада на конференцијама од међународног значаја, 4 рада на домаћим конференцијама, као и 2 рада у часописима од националног значаја (публикације су у списку радова означене са *). Кандидат је први аутор рада под називом "*Cooperative modulation classification with data fusion for multipath fading channels*", који је прихваћен за објављивање у међународном часопису са импакт фактором, а у коме су приказани резултати из области предложене теме докторске дисертације.

Кандидат је као истраживач учествовао у реализацији 5 пројеката технолошког развоја финансираних од стране Министарства Републике Србије надлежног за област науке и технолошког развоја у периоду 2002 - 2013 године, при чему се одређен број фаза истраживања у оквиру ових пројеката односио и на ужу или ширу област предложене теме докторске дисертације. Осим тога, кандидат је учествовао у реализацији већег броја научно-стручних студија и пројеката из шире или уже области тема докторске дисертације.

A. Списак публикованих радова и техничких решења

A.1 Радови у међународним часописима са импакт фактором

1. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Cooperative modulation classification with data fusion for multipath fading channels*, Electronic Letters, ISSN: 0013-5194, IF=1.038, *accepted for publication*. (M23)

A.2 Радови публиковани у целини на конференцијама од међународног значаја (M33)

1. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Cooperative AMC Schemes Using Cumulants with Hard and Soft Decision Fusion*, in Proceedings of XX Telecommunication forum - TELFOR 2012, 20-22 Novembar, Beograd, Srbija, 2012, pp. 400-403, ISSN/ISBN: 978-1-4673-2984-2. (*)
2. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Klasifikacija radio signala po tipu modulacije na bazi kumulanata sa više uzastopnih pokušaja*, in Proceedings of XX Telecommunication forum - TELFOR 2012, 20-22 Novembar, Beograd, Srbija, 2012, pp. 424-427, ISSN/ISBN: 978-1-4673-2984-2, *in Serbian*. (*)
3. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Decision Fusion Methods for Automatic Modulation Classification with Multiple Sensors in Multipath Fading Channels*, in Proceedings of IEEE International Conference on Computer as a Tool – EUROCON 2013, 1-4 July, Faculty of Electrical Engineering and Computing (FER), Zagreb, Croatia, 2013, pp. 105-112, ISSN/ISBN: 978-1-4673-2231-7. (*)

A.3 Радови публиковани у часописима од националног значаја (M52/M53)

1. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Primena tehnologije inteligentnih (SMART) antena u bežičnim telekomunikacionim sistemima*, Naučno-stručni časopis *TELEKOMUNKACIJE*, Vol. 47, No. 4, Oktobar-Decembar 2002, Beograd, 2002, pp. 24-34, ISSN: 0040-2605.
2. **Marković G. B., Čertić J. D.:** *Automatska klasifikacija radio-signala po tipu modulacije*, Naučno-stručni časopis *TELEKOMUNKACIJE*, Vol. 48, No.1, Januar-Jun 2003, Beograd, 2003, pp. 14-23, ISSN: 0040-2605. (*)
3. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Tehnologije naprednih antenskih sistema – prednosti i nedostaci*, Naučno-stručni časopis *TELEKOMUNKACIJE*, Vol. 48, No. 2, Jul-Decembar 2003, Beograd, 2003, pp. 15-23, ISSN: 0040-2605.
4. **Goran B. Marković, Miroslav L. Dukić,** "Primena PLC tehnologije u telekomunikacionim pristupnim mrežama", Naučno-stručni časopis *TELEKOMUNKACIJE*, No.1, Vol. 49, Januar-Jun 2004, Beograd, 2004, pp. 7-16, ISSN: 0040-2605.
5. **Marković G. B., Sarač Đ. M., Dukić M. L.:** *Mogućnost primene hijerhijske šema klasifikacije po tipu modulacije radio signala u HF opsegu učestanosti*, Naučno-stručni časopis *TELEKOMUNKACIJE*, Vol. 50, No. 2, Jul-Decembar 2005, Beograd, 2005, pp.16-28, ISSN: 0040-2605. (*)
6. **Marković G. B., Dukić M. L.:** *Bežične senzorske mreže I deo: Osnovna arhitektura, karakteristike i primene*, Stručno-naučni časopis RATELA-a *TELEKOMUNKACIJE*, Godina II, No. 3, Beograd, jun 2009, pp. 35-48, ISSN: 1820-7782.

7. **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Bežične senzorske mreže II deo: Pregled komunikacione arhitekture*, Stručno-naučni časopis RATELA-a *TELEKOMUNKACIJE*, Godina IV, No. 7, Beograd, jun 2011, pp. 38-52, ISSN: 1820-7782.
8. Sokolović V., Oklobdžija M., **Marković G. B.**: *Izbor metoda sinhronizacije signala u softverskom GPS prijemniku*, VOJNOTEHNIČKI GLASNIK, Vol. 59, No. 2, Beograd, jun 2011, pp. 94-110, ISSN: 0042-8649.

A.4 Радови публиковани у целини на конференцијама од националног значаја (M63)

1. **Marković G. B.**, Vujić D. S., Čertić J. D., Dukić M. L.: *Mogućnosti generisanja signala sa frekvencijskim skakanjem korišćenjem direktne digitalne sinteze*, Zbornik radova IX Telekomunikacionog foruma - TELFOR 2001, 20-22 novembar, Beograd, Srbija, 2001, pp. 176-179.
2. **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Primena tehnologije SMART antena*, Zbornik radova X Telekomunikacionog foruma - TELFOR 2002, 26-28 novembar, Beograd, Srbija, 2002, pp. 193 – 196, ISSN/ISBN: 86-7038-033-1.
3. **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Analiza osetljivosti algoritama za klasifikaciju signala po tipu modulacije u realnim uslovima rada*, Zbornim radova XIII Telekomunikacionog foruma - TELFOR 2005, 21-24 novembar, Beograd, Srbija, 2005, CD ROM, 4 str., ISSN/ISBN: 86-7466-228-5. (*)
4. Sarač Đ. M., **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Prikaz sistema za analizu i klasifikaciju radio signala realizovanog korišćenjem DSP platforme*, Zbornik radova XII Telekomunikacionog foruma - TELFOR 2005, 22-24 novembar, Beograd, Srbija, 2005, CD ROM, 4 str., ISSN/ISBN: 86-7466-228-5. (*)
5. **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Algoritam za klasifikaciju MPSK signala sa korekcijom fazne greške i frekvencijskog offset-a*, Zborik radova 53. konferencije ETRAN 2009, 15-18 jun, Vrnjačka banja, Srbija, 2009, ISSN/ISBN: 978-86-80509-64-8. (*)
6. Oklobdžija M., Nenadić N., Kaljević M., **Marković G.**: *Frequency and Phase Estimation for High Frequency Packet Radio Modem*, Zbornik radova XVII Telekomunikacionog foruma - TELFOR 2009, 24-26 novembar, Beograd, Srbija, 2009, pp. 600-603, ISSN/ISBN: 978-86-7466-375-2.
7. Sarač Đ. M., **Marković G. B.**, Vujić D. S., Dukić M. L.: *CBA – Communication Bit Stream Analyzer software*, in Proceedings of 4th International Scientific Forum on Defense Technologies - OTEH 2011, Vojnotehnički institut, Beograd, 6-7 oktobar, Beograd, 2011, pp. 518-523, ISSN/ISBN: 978-86-81123-50-8.
8. Rajković M. S., **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Hijerarhijski DSCC protokol rutiranja za energetski heterogene WSN*, Zbornik radova XI međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma INFOTEH-JAHORINA 2012, Jahorina, BiH, 21-23 mart, 2012, pp.367-372, ISSN/ISBN: 978-99938-624-8-2.
9. **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Kooperativna automatska klasifikacija signala po tipu modulacije sa fuzijom odluka uz primenu kumulanata višeg reda*, Zbornik radova 56. konferencije ETRAN 2012, CD ROM, TE3.4-1-4, Zlatibor, Srbija, 11-14 jun, 2012, ISSN/ISBN: 978-86-80509-67-9. (*)
10. Rajković M. S., **Marković G. B.**, Dukić M. L.: *Poređenje single-hop i dual-hop klasterizovanih hijerarhijskih protokola rutiranja za energetski heterogene WSN*, Zbornik radova 56. konferencije ETRAN 2012, CD ROM, TE2.4-1-4, Zlatibor, Srbija, 11-14 jun, 2012, ISSN/ISBN: 978-86-80509-67-9.

A.5 Радови за стицање научних звања (Магистарски рад)

1. **Marković G. B.**: *Analiza algoritama za automatsku klasifikaciju radio signala po tipu modulacije*, Magistarska teza, ETF Beograd, 15. decembar 2005.godine, mentor prof. dr Miroslav L. Dukić.

A.6 Призната техничка решења (M81)

1. Goran Dimić, Milan Oklopdžija, Nikola Nenadić, **Goran B. Marković**, PACTOR II demodulator i dekođer, Priznat programski sistem, Institut Mihailo Pupin, Beograd, 2007, <http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/PACTOR2.pdf>
2. Goran Dimić, Milan Oklopdžija, Nikola Nenadić, **Goran B. Marković**, PACTOR III demodulator i dekođer, Priznat programski sistem, Institut Mihailo Pupin, Beograd, 2007, <http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/PACTOR3.pdf>

A.7 Остале публикације

1. Miroslav L. Dukić, Dejan Vujić, **Goran Marković**: *Principi telekomunikacija - Zbornik rešenih problema*, Akademska Misao, 469 strana, maj 2009, Beograd, Pomoćni udžbenik, ISBN: 9789-86-7466-358-5.
2. Jelena Čertić, Nikola Dmitrović, Miroslav Dukić, Aleksandar Janković, **Goran Marković**, Dejan Vujić: *xDSL sistemi – tehnologija, planiranje i projektovanje*, Akademska Misao, 183 strane, Beograd, 2005, *monografija*, ISBN: 86-7466-193-9.
3. Jelena Čertić, Nikola Dmitrović, Miroslav Dukić, Aleksandar Janković, **Goran Marković**, Dejan Vujić: *xDSL sistemi – tehnologija, planiranje i projektovanje – prezentacija*, Akademska Misao, 169 strana, Beograd, 2005, *skripta*, ISBN: 86-7466-192-0.

Б. Пројекти технолошког развоја финансирани од стране надлежног Министарства РС

1. Истраживач у пројекту технолошког развоја Министарства за науку и технологију Републике Србије бр. ТР/ИТ.1.18.0100: *Развој и реализација елемената софтверског радија и специфичне опреме и софтвера за радио-дифузију и мобилне телекомуникације*, период 2002-2004 година.
2. Истраживач у пројекту технолошког развоја Министарства за науку и заштиту животне средине Републике Србије бр. ТР-6149: *Развој и реализација софтвера, хардвера и услуга на бази софтверског радија за безжичне комуникације*, период 2005-2008 година.
3. Истраживач у пројекту технолошког развоја Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије бр. ЕТ-11030: *Развој и реализација нове генерације софтвера, хардвера и услуга на бази софтверског радија за наменске апликације*, у периоду од априла 2008. године до 2011. године.
4. Истраживач у пројекту технолошког развоја Министарства науке и просвете Републике Србије бр. ТР32037: *Напредне технике ефикасног коришћења спектра у безжичним системима*, период 2011 – 2013 година.
5. Истраживач у пројекту технолошког развоја Министарства науке и просвете Републике Србије бр. ТР32037: *Истраживање и развој робусних система за пренос података и њихова примена у корпоративним мрежама*, период 2011-2013 година.

Ц. Избор пројеката и студија из области предложене докторске дисертације

1. Пројектант у оквиру студија: *Електронски рат: Принципи електронског рата и Електронски рат у телекомуникацијама*, у периоду и 02.02.2000.-06.06.2002. године, за потребе Управе за ЕИ и ПЕД, Војска СиЦГ.
2. Пројектант у пројектима: *Симулатор електронског рата у телекомуникацијама – Прва фаза*, и *Симулатор електронског рата у телекомуникацијама – Друга фаза*, у периоду 02.02.2000.-06.06.2002. године, за потребе Управе за ЕИ и ПЕД, Војска СиЦГ.
3. Пројектант у пројектима: *Развој функционалног модела система за класификацију, демодулацију и декодирање телекомуникационих сигнала и реализација софтверског*

симулационог модела, и Реализација и испитивање функционалног модела за класификацију, демодулацију и декодирање телекомуникационих сигнала, у периоду 02.02.2000.-17.10.2003. године, за потребе Управа за ЕИ и ПЕД, Војска СиЦГ.

4. Пројектант у оквиру студија: *Надоградња функционалног модела система за класификацију и демодулацију телекомуникационих сигнала, за анализу вишеканалних сигнала - Фаза Ха, и Надоградња функционалног модела система за класификацију и демодулацију телекомуникационих сигнала за анализу вишеканалних сигнала - Фазе IX и Хб*, у периоду 2006-2007 и 2006-2008 године, респективно, за потребе Војске Србије.
5. Пројектант у оквиру пројекта: *Имплементација софтверског решења за демодулацију и декодовање PACTOR II/III модема*, у периоду 2006-2007 године, за потребе Института Михаило Пупин у Београду.
6. Пројектант у пројекту: *Интеграција класификатора сигнала CSA и широкопојасног гониометра WBDF HERA-1*, у периоду 2008-2009 године, за потребе Војнотехничког института у Београду.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је кандидат остварио у свом досадашњем стручном и научном раду, односно публикованих научних резултата и практичног искуства које је кандидат стекао при реализацији научних и стручних пројеката из уже или шире области предложене теме докторске дисертације, може се закључити да је кандидат Горан Б. Марковић испунио све услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације под предложеним насловом.

2. Предмет и циљ истраживања

Аутоматска класификација сигнала по типу модулације (*Automatic Modulation Classification*, АМС) представља специфичан и актуелан проблем у области бежичних телекомуникација. Осим традиционалних примена у комерцијалним и функционалним телекомуникационим системима, као што су системи електронског рата и системи за надзор радио-фреквенцијског (РФ) спектра, нове значајне примене АМС појавиле су се са развојем когнитивних радио мрежа, бежичних сензорских мрежа и технологије софтверског радија. Основну улогу АМС представља идентификација типа модулације за пресретнути непознати радио сигнал у циљу омогућавања његове даље демодулације и обраде, односно у циљу унапређења поступка динамичке алокације спектра у когнитивним радио мрежама. Когнитивне радио мреже и бежичне сензорске мреже одликује инхерентно постојање већег броја просторно раздвојених и умрежених пријемника/сензора, што ове мреже чини изузетно погодном основом за дистрибуирану детекцију и класификацију радио сигнала. Додатно, основни тренд развоја модерних функционалних система за надзор и контролу РФ спектра усмерен је на примену мрежа са већим бројем сензора у циљу омогућавања детекције, идентификације, надзора и локализације извора електромагнетних емисија мале снаге.

Резултати скорашњих истраживања показали су да се применом мреже коју чини већи број кооперативних пријемника/сензора може остварити значајно побољшање успешности АМС у односу на класичну структуру са применом једног пријемника, поготову у случају окружења са вишеструком (*multipath*) пропагацијом. Предложена су решења за кооперативну АМС која су заснована на концепту комбиновања одлука добијених независно у сваком од пријемника/сензора. Резултати до сада спроведених истраживања указују на потенцијално значајно повећање успешности класификације у односу на класична решења са применом једног пријемника/сензора, укључујући и канал са федингом услед вишеструке пропагације сигнала (*Multipath Fading*, MPF). Ипак, у већини студија анализа је обављана само за иделизоване сценарије уз одређене нереалне препотпоставке, као што су пријем сигнала некооперативног предајника под истим условима за све сензоре у мрежи као и *a priori*

познавање референтних вредности неопходних за оптимално комбиновање одлука. Анализа решења за кооперативну АМС заснованих на комбиновању одлука у реалним сценаријима примене, показала је да ова решења нису практично остварива, тј. да се у овом случају значајно смањују или потпуно нестају добици у смислу повећања успешности класификације у односу на класично решење са једним пријемником.

Предмет ове докторске дисертације представља даљи развој и дефинисање нових решења за кооперативну АМС коришћењем мреже пријемника/сензора кроз предлог нових концепата комбиновања резултата класификације добијених независно у сваком од пријемника/сензора. Основни циљ истраживања је дефинисање предлога решења за кооперативну АМС које поред бољих перформанси у односу на постојећа решења у идеализованим сценаријима примене, омогућава остваривање очекиване (потенцијалне) успешности класификације и у реалним условима примене. Значај оваквог решења огледа се преваходно у томе што би оно омогућило практичну и успешну примену АМС у оквиру свих актуелних комерцијалних и функционалних система, у којима примена АМС омогућава значајно повећавање квалитета и карактеристика самих система, без тренутно постојећих ограничења примене АМС само на специјална радна окружења.

Осврт на релевантне библиографске изворе:

Основни релевантни библиографски извори који треба да буду коришћени као основа при изради предметне докторске дисертације су:

1. MacKenzie A. B., Athanas P., Buehrer R. M., Ellingson S. W., Hsiao M., Patterson C., da Silva R. C. M.: *Cognitive radio and networking research at Virginia Tech*, Proceedings of IEEE, Vol. 97, No. 4, pp. 660-688, April 2009.
2. Dobre O. A., Abdi A., Bar-Ness Y., Su W.: *Survey of automatic modulation classification techniques: Classical approaches and new trends*, IET Communications, Vol. 1, No. 2, pp. 137-156, April 2007.
3. Wei W., Mendel J. M.: *Maximum-Likelihood Classification for Digital Amplitude-Phase Modulations*, IEEE Transactions on Commun., Vol. 48, No.2, pp. 189-192, February 2000.
4. Hameed F., Dobre O. A., Popescu D. C. Popescu: *On the likelihood-Based Approach to Modulation Classification*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 8, No. 12, pp. 5884-5892, December 2009.
5. Chavali V. G., da Silva R. C. M.: *Maximum-Likelihood Classification of Digital Amplitude-Phase Modulated Signals in Flat Fading Non-Gaussian Channels*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 59, No. 8, pp. 2051-2056, August 2011.
6. Swami A, Sadler B.M.: *Hierarchical digital modulation classification using cumulants*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, No. 3, pp. 416-429, March 2000.
7. Xi S., Wu H. C.: *Robust Automatic Modulation Classification Using Cumulant Features in the Presence of Fading Channels*, in Proceedings of IEEE Wireless Communication & Networking Conference - WCNC 2006, Las Vegas, USA, 3-6 April, 2006, pp. 2094-2099.
8. Yang L., Ji Z., Xu X., Dai X., Xu P.: *Modulation Classification in Multipath Fading Environments*, in Proceedings of 4th International Symposium on Wireless Communications Systems - ISWCS 2007, Hefei, China, October 17-19, 2007, pp. 171-174.
9. Wu H. C., Saquib M., Yun Z.: *Novel automatic modulation classification using cumulant features for communications via multipath channel*, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 7, No. 8, pp. 3098-3105, August 2008.
10. 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, December 2009.

11. Orlic V.D., Dukic M.L.: *Multipath channel estimation algorithm for automatic modulation classification using sixth-order cumulants*, IET Electronics Letters, Vol. 46, No. 19, pp. 1348-1349, September 2010.
12. Wang F., Wang, X.: *Fast and Robust Modulation Classification via Kolmogorov-Smirnov Test*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 58, No. 8, pp. 2324-2332, August 2010.
13. Ramkumar B.: *Automatic modulation classification for cognitive radios using cyclic feature detecton*, IEEE Circuits and System Magazine, Vol. 9, Issue 2, pp. 27-45, June 2009.
14. Radenkovic M. S., Bose T., Ramkumar B.: *Robust Multiuser Automatic Modulation Classifier for Multipath Fading Channels*, In Proceedings of IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum – DySPAN2010, Singapore, 6-9 April, 2010, pp. 1-10.
15. da Silva C. R. M. C., Headley W.C., Reed J. D., Zhao Y.: *Distributed Cyclic Spectrum Feature-Based Modulation Classification*, in Proceedings of IEEE Wireless Communication & Networking Conference - WCNC 2008, Blacksburg, USA, April 2008, pp. 1200-1204.
16. Ferero P. A., Cano A., Giannakis G. B.: *Distributed feature-based modulation classification using wireless sensor networks*, in Proceedings of IEEE Military Communications Conference - MILCOM 2008, San Diego, November 2008, pp. 1-7.
17. Su W., Kosinski J.: *Framework of network centric signal sensing for automatic modulation classification*, in Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control - ICNSC 2010, Chicago, USA, April 11-13, 2010, pp. 534-539.
18. Xu J.L., Su W., Zou M.C.: *Distributed automatic modulation classification with multiple sensors*, IEEE Sensors Journal, Vol. 10, No. 11, pp. 1779-1785, Nov. 2010.
19. Zhang Y., Ansari N., Su W.: *Optimal decision fusion based automatic modulation classification by using wireless sensor networks in multipath fading channel*, in Proceedings of IEEE Global Communications Conference - Globecom 2011, Houston, USA, December 2011, pp. 1-5.
20. Zhang Y., Ansari N., Su W.: *Multi-sensor signal fusion based modulation classification by using wireless sensor networks*, in Proceedings of IEEE International Communications Conference - ICC 2011, Kyoto, Japan, June 2011, pp. 1-5.

3. Полазне хипотезе

Примену АМС карактерише некооперативно окружење при обради радио сигнала непознатог предајника у коме је неопходно да се сви потребни параметри сигнала процене искључиво на основу примљеног сигнала, који је најчешће изобличен услед утицаја шума и MPF. До сада је предложен велики број класа АМС алгоритама за различите класе модулисаних сигнала. При томе, класа алгоритама заснованих на поређењу функције веродостојности (*likelihood based*) постиже квази-оптималне перформансе под идеалним условима рада, али уз значајно погоршање перформанси услед грешака при естимацији параметара сигнала које се јављају у реалној примени. Додатно, рад ових алгоритама није могућ у случају MPF за временски дисперзивне канале, док су за случај канала са равним федингом дата парцијална решења за поједине типове канала која одликује значајно већа сложеност обраде сигнала. Насупрот томе, класу АМС алгоритама заснованих на примени вредности кумуланата вишег реда карактерише веома ниска рачунска сложеност, висока отпорност на грешке при естимацији параметара сигнала, као и инхерентна могућност потискивања утицаја MPF за временски дисперзивне канале. Из наведених разлога, као основ за развој решења за кооперативну АМС посматрана је примена АМС алгоритама на основу вредности кумуланата вишег реда.

Резултати досадашњих истраживања указују на то да се при пријему сигнала коришћењем једног пријемника/сензора у случају постојања MPF успешност класификације драстично смањује. Пријемом сигнала коришћењем већег броја умрежених пријемника/сензора кроз међусобно некорелисане канале са MPF, повећава се вероватноћа да неки од сензора приме

сигнал довољног квалитета за потребе АМС. До овог тренутка предложена су решења за кооперативну АМС која се базирају на комбиновању (фузији) одлука донесених независно у сваком од пријемника/сензора мреже. При томе, као основни АМС алгоритми најчешће су разматрани они који се заснивају на вредности кумуланата вишег реда. Разматрани су и АМС алгоритми на бази поређења функције веродостојности (*likelihood based*) као и алгоритми на бази цикличне спектралне анализе са знатно већом рачунском сложености. За успешну примену ових решења за кооперативну АМС неопходно је познавање средње вероватноће тачне/нетачне класификације за специфичне услове пропагације сигнала (однос сигнал/шум, статистичке особине канала са MPF), обраде сигнала (дужина узорка сигнала) и посматрани скуп модулационих поступака, тј. одговарајућих референтних вредности датих у облику матрица конфузије. С обзиром на изразито некооперативну природу примене АМС, услед различитих и у основи непознатих услова пропагације сигнала за различите сензоре мреже у реалном сценарију примене није могуће користити тачне већ само приближне референтне вредности (матрице конфузије), што узрокује знатно погоршање успешности класификације решења за кооперативну АМС на бази комбиновања одлука у поређењу са карактеристикама оствареним за идеализован сценарио примене. Из тог разлога, у оквиру ове дисертације биће развијени и предложени алтернативни концепти комбиновања добијених резултата класификације у засебним пријемницима/сензорима, које треба да одликују значајно боље очекиване перформансе класификације за реалне сценарије примене.

Истовременим независним пријемом сигнала у сваком од сензора кроз некорелисане канале са MPF, формира се скуп некорелисаних естимата вредности кумуланта који одговарају истом случајном низу модулисаних симбола. У процесу доношења независних 'тврдих' одлука (*hard decision*) у сензорима мреже губи се значајан део информације о стварној вредности реализације случајног процеса који одликује поступак естимације вредности кумуланата за дати тип модулације. Коришћењем скупа некорелисаних естимираних вредности кумуланата уместо независних 'тврдих' одлука добијених у сваком од сензора мреже, ова додатна информација може се искористити у циљу повећања успешности класификације. У оквиру дисертације биће предложени нови концепти за кооперативну АМС на бази комбиновања естимираних вредности кумуланата и комбиновања 'меких' одлука (*soft decision*), у којима ће на различите начине бити искоришћена ова додатна информација. Оба концепта заснивају се на претпоставци да је поступак естимације и корекције вредности кумуланата успешно изведен. У том случају естимираних вредности кумуланата за различите сензоре представљају независне реализације истог случајног процеса који се под одређеним условима може апроксимативно моделовати нормалном расподелом описаном средњом вредношћу и варијансом. У првом концепту, биће дефинисана решења за кооперативну АМС заснована на усредњавању нормализованих или ненормализованих скупова естимираних вредности кумуланата, односно здруженог процеса одлучивање на основу критеријума максималне веродостојности. У другом концепту, постојећа решења за кооперативну АМС заснована на комбиновању 'тврдих' одлука биће модификована у смислу комбиновања 'меких' одлука (вероватноћа да је актуелни тип модулације један од могућих типова) за сваки од сензора мреже. У оба концепта, као референтне вредности неопходне за извођење процеса комбиновања фигуришу средње вредности и варијансе естимираних вредности кумуланата за специфичне услове пропагације, обраде сигнала и посматрани скуп модулисаних сигнала.

4. Научне методе истраживања

У оквиру предложене дисертације биће спроведена теоријска анализа у форми статистичког моделовања и анализе процеса естимације кумуланата вишег реда (посебно четвртог реда), укључујући различите методе естимације параметара канала потребних за корекцију естимације и статистичке модела канала са MPF, као и при развоју метода за здружену корекцију вредности скупа естимираних вредности кумуланата. Осим тога, у оквиру теоријске анализе биће развијени и анализирани поступци одлучивања на основу примене

критеријума максималне веродостојности за различита решења кооперативне АМС са више пријемника/сензора. Теоријска анализа треба да да низ закључака који би требало да буду потврђени у оквиру нумеричке анализе, као и основне параметре које треба користити при дефинисању идеализованих и реалних сценарија примене.

Нумеричка анализа биће спроведена путем рачунарских симулација у форми одговарајућих Монте-Карло експеримената. За ове потребе биће самостално развијен одређен већи број симулационих модела применом МАТЛАБ програмског пакета, којима ће бити моделован скуп различитих идеализованих и реалних сценарија примене решења за кооперативну АМС у когнитивним радио мрежама и бежичним сензорским мрежама. Основни параметри рачунарских симулација су просторни распоред и број коришћених пријемника/сензора, статистичке карактеристике и модел пропагационог окружења у оквиру посматраног система, параметри обраде сигнала у оквиру пријемника/сензора и модалитети спровођења поступка класификације. Путем нумеричке анализе биће подржан развој нових решења за кооперативну класификацију сигнала, као и за унапређење класичних АМС решења са једним пријемником, односно биће спроведена детаљна евалуација и упоредна анализа АМС перформанси предложених и постојећих решења за кооперативну АМС.

5. Очекивани научни допринос

На основу резултата истраживања које ће бити спроведено у оквиру израде предметне докторске дисертације очекивани су следећи оригинални научни доприноси:

- Детаљна анализа могућности примене и дефинисање проблема који се јављају при примени постојећих решења за кооперативну АМС заснованих на комбиновању 'тврдых' одлука у реалним условима и за различите сценарије примене;
- Развој и дефинисање новог концепта за кооперативну АМС коришћењем мреже сензора заснованог на комбиновању естимираних вредности кумуланата вишег реда, уз предлог одговарајућих специфичних решења за кооперативну АМС укључујући и решење на бази здруженог процеса одлучивања;
- Развој и предлог решења за кооперативну АМС коришћењем мреже сензора на бази фузије 'меких' одлука, тј. здружене примене комбиновања естимираних вредности кумуланата и комбиновања 'тврдых' одлука;
- Предлог метода за здружену корекцију естимираних вредности кумуланата вишег реда на основу скупа естимираних вредности кумуланата добијених засебно у пријемницима/сензорима мреже, уз анализу могућности примене овог метода у решењима за кооперативну АМС коришћењем мреже сензора;
- Упоредна анализа карактеристика различитих концепата кооперативне АМС на основу примене вредности кумуланата вишег реда за широк скуп идеализованих и реалних сценарија примене, уз разматрање различитих модела просторног распореда сензора, услова пропагације сигнала и модела радио канала са MPF, као и различитих вредности параметара обраде сигнала у процесу естимације вредности кумуланата и класификације унутар сензора; и
- Предлог АМС алгоритама на основу вредности кумуланата вишег реда за пријемник у каналу са MPF, заснованих на сегментацији узорка улазног сигнала и еквивалентној примени концепата комбиновања 'меких' или 'тврдых' одлука, односно комбиновања естимираних вредности кумуланата за засебне сегменте.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање при изради предложене дисертације требало би да се изврши у складу са следећим планом истраживања:

- Преглед АМС алгоритама у доступној литератури намењених класичном раду са једним пријемником, уз упоредну анализу захтева, могућности и карактеристика за идеализоване и реалне услове примене, и уз размотрање могућност примене ових алгоритама у оквиру кооперативне АМС коришћењем више пријемника/сензора;
- Анализа квалитета естимације вредности кумуланата вишег реда за различите методе естимације параметара канала са MPF, у смислу могућности њихове примене у оквиру класификације сигнала по типу модулације за различите моделе канала са MPF;
- Анализа постојећих решења за кооперативну АМС коришћењем мреже пријемника/сензора уз разматрање усклађености претпоставки усвојених у анализи карактеристика тих решења у доступној литератури са реалним условима примене;
- Спровођење одговарајуће теоријске анализе у циљу развоја и дефинисања нових решења за кооперативну АМС коришћењем мреже пријемника/сензора заснованих на комбиновању естимираних вредности кумуланата или комбиновању 'меких' одлука;
- Дефинисање различитих идеализованих и реалних сценарија примене предложених и постојећих решења за кооперативну АМС коришћењем мреже пријемника/сензора у погледу просторног распореда и броја пријемника/сензора, параметара обраде сигнала у оквиру пријемника/сензора, статистичких карактеристика и модела пропагационог окружења у оквиру посматраног система и модалитета спровођења поступка класификације, а у циљу развоја симулационих модела који одговарају широком скупу различитих услова примене у вишесензорским системима (бежичне сензорске мреже, когнитивне радио мреже, функционални системи за надзор РФ спектра са дистрибуираним сензорима). Евалуација и упоредна анализа АМС перформанси предложених и постојећих решења применом развијених симулационих модела; и
- Посебна фаза истраживања биће посвећена анализи могућности даљег унапређења класичних АМС алгоритама заснованих на примени кумуланата вишег реда путем сегментације узорка улазног сигнала уз комбиновање резултата класификације за тако добијене сегменте. У случају да спроведена анализа овако развијених решења покаже значајно побољшање успешности класификације, размотриће се примена развијених алгорита у оквиру пријемника/сензора кооперативне АМС мреже.

Очекује се да структура предложене докторске дисертације, уз одговарајуће уводно и закључно поглавље, као и одређене прилоге, углавном прати дефинисани план истраживања уз евентуалне измене у складу са оствареним резултатима истраживања.

7. Закључак и предлог

Горан Б. Марковић пријавио је своју докторску дисертацију под насловом **"Кооперативна аутоматска класификација сигнала по типу модулације коришћењем мреже сензора"** у складу са Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, подневши на увид сва предвиђена документа.

Из достављене документације, која укључује и библиографију до сада објављених радова и прегледа научних и стручних пројеката кандидата, може се закључити да Горан Б. Марковић испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације. На основу образложења предмета и циљева истраживања, полазних хипотеза истраживања, као и очекиваних научних доприноса и плана истраживања, закључујемо да је предложена тема научно актуелна у домену савремених бежичних телекомуникационих система и да омогућава да се у овом случају остваре значајни научни и стручни доприноси из научне области телекомуникација. Предложени ментор проф. др Мирослав Л. Дукић има већи број публикованих радова из области којој припада предложена докторска дисертација.

Стога Комисија предлаже Научно-наставном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату **мр Горану Б. Марковићу** одобри израду докторске дисертације под насловом **"Кооперативна аутоматска класификација сигнала по типу модулације коришћењем мреже сензора"**. За ментора рада предлаже се др Мирослав Л. Дукић, редовни професор на Електротехничком факултету у Београду који је био и ментор магистарског рада кандидата.

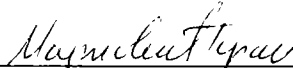
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



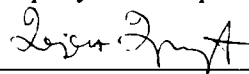
др Предраг Н. Иваниш, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Горан З. Марковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет



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



др Дејан Д. Драјић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет