



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ • ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 • 11000 Београд • Република Србија •

Тел. 011/324-8464 • Факс: 011/324-8681

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

БР.

725/6

ДАТУМ

01. 4. 2011.

БЕОГРАД

Универзитет у Београду
Већу научних области техничких наука

З А Х Т Е В

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно чл.46 ст.5.тач.4 Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр.131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:
„Аутоматска класификација модулација на основу вредности кумуланта шестог реда“
коју је пријавио кандидат дипл.инж. Владимир Орлић.

Научна област: **електротехника и рачунарство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата
ВЛАДИМИР (ДУШАН) ОРЛИЋ дипл.инж.електротехнике
2. Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање
Електротехнички факултет у Београду
3. Година дипломирања: **2007.године**
4. Назив магистарске тезе кандидата /
5. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена /
6. Година одбране магистарске тезе: /
7. Назив факултета на коме је кандидат уписао докторске студије:
Електротехнички факултет у Београду
8. Модул: **Телекомуникације**
9. Година уписа докторских студија: **2007/08.година**

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници одржаној 29.3.2011.године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

Прилог:

- 1.Предлог теме докторске дисертације са образложењем
- 2.Акт надлежног тела Факултета о подобности теме за израду докторске дисертације

ДЕКАН
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА



Модраг Поповић



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ • ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 • 11000 Београд • Република Србија •

Тел. 011/324-8464 • Факс: 011/324-8681

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРСИТЕТА У БЕОГРАДУ

СП.

855

ДАТУМ 29. 3. 2011.

БЕОГРАД

На основу чл.128 Закона о високом образовању и чл.66 и чл.68 Статута Електротехничког факултета у Београду, Наставно-научно веће на седници од 29.3.2011.године, донело је

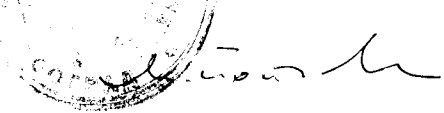
ОДЛУКУ

О ПРИХВАТАЊУ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Прихвата се тема докторске дисертације под насловом:
„Аутоматска класификација модулација на основу вредности кумуланта шестог реда“ коју је пријавио **Владимир Орлић, дипл.инж.електротехнике.**

За ментора је именован др Мирослав Дукић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ДЕКАН
Електротехничког факултета



Проф.др Миодраг Поповић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 728. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 22.2.2011. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije Vladimira Orlića pod naslovom "Automatska klasifikacija modulacija na osnovu vrednosti kumulanta šestog reda". Nakon pregleda dobijenog materijala, Nastavno-Naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

PODACI O KANDIDATU

Vladimir Orlić rođen je 1983. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju. Studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu započeo je 2002. godine, a diplomirao je 2007. godine na Odseku za elektroniku, telekomunikacije i automatiku – Smer za telekomunikacije, sa opštim uspehom 8.98 u toku studija. Diplomski rad na temu „Realizacija kompresije impulsa pomoću kartice HERON-IO2“ odbranio je 29.03.2007. godine, sa ocenom 10, i stekao zvanje diplomiranog inženjera elektrotehnike. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu, Odsek za telekomunikacije i informacione tehnologije, upisao je 2007/2008. godine. Od oktobra 2010. je student treće godine doktorskih studija, sa položenim svim ispitima i ispunjenim obavezama u istraživačkom radu. Prosečna ostvarena ocena tokom studija: 10,00.

Od jula do decembra 2007. godine Vladimir Orlić zaposlen je u „IMTEL Mikro opt“ D.D. na poziciji inženjera za istraživanja i razvoj. Od januara do oktobra 2008. godine zaposlen je u Institutu „IMTEL Komunikacije“ A.D., na poziciji inženjera za istraživanja i razvoj, gde od novembra 2008. do danas obavlja dužnost rukovodioca Odeljenja za digitalnu obradu signala.

U toku dosadašnjeg rada Vladimir Orlić je autor 6 tehničkih rešenja u okviru projekata Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja (kategorija M85), 13 radova na konferencijama od nacionalnog značaja (kategorija M63), 10 radova na konferencijama od međunarodnog značaja (kategorija M33), 4 rada u časopisima od nacionalnog značaja (kategorija M50) i 4 rada u časopisima od međunarodnog značaja (kategorija M20). Od radova objavljenih u vodećim međunarodnim časopisima sa SCI liste, sledeći radovi neposredno pripadaju oblasti na koju se odnosi predložena doktorska disertacija:

1. V. D. Orlić and M. L. Dukić, "Automatic modulation classification algorithm using higher-order cumulants under real-world channel conditions," *IEEE Communications Letters*, Volume 13, Issue 12, December 2009. pp. 917 – 919 (M22)
2. V. D. Orlić and M. L. Dukić, "Multipath channel estimation algorithm for automatic modulation classification using sixth-order cumulants," *Electronics Letters*, Volume 46, Issue 19, September 16 2010, pp. 1348-1349 (M23)

Rezultati objavljeni u pomenutim radovima predstavljaju rezultate istraživanja koji će biti izloženi u doktorskoj disertaciji kandidata.

PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije je primena elemenata statistike višeg reda – normalizovanih kumulanata šestog reda, u problemima automatske klasifikacije modulacija (*Automatic Modulation Classification* - AMC). Automatska klasifikacija modulacija predstavlja aktuelno pitanje u oblasti telekomunikacija, sa značajnim primenama u komercijalnim i vojnim telekomunikacionim sistemima, kao što su kognitivni radio-sistemi, sistemi za nadzor radio-spektra, ili sistemi za elektronski rat. U protekle tri decenije razvijeno je više algoritama za

automatsku klasifikaciju modulacija, među kojima se zbog svoje jednostavnosti, kao naročito pogodni za praktičnu implementaciju, ističu algoritmi zasnovani na tzv. „prepoznavanju obrazaca“ u signalu. U ovim algoritmima se najpre vrši procena vrednosti parametara signala koji su od posebnog interesa, a potom klasifikacija signala po modulacionom formatu (tj. prepoznavanje primenjenog modulacionog postupka), po unapred utvrđenom kriterijumu. Algoritam predložen u ovoj disertaciji pripada upravo pomenutom tipu algoritama. Zasniva se na eksploataciji karakterističnih osobina kumulanata višeg reda, koje ih čine naročito pogodnim za primenu u problemima automatske klasifikacije modulacija, sa posebnim akcentom na realnim uslovima propagacije u posmatranom modelu telekomunikacionog sistema.

Postojeći algoritmi za automatsku klasifikaciju modulacija uglavnom su razvijeni za idealizovane modele sistema, u kojima se kao primarni izvor degradacije signala posmatraju: aditivni beli Gausov šum, ravni fading, ili (retko) pojava višestruke propagacije u kanalu čiji je impulsni odziv poznat. Razvoj algoritama koji su namenjeni primeni kako u svim pomenutim uslovima, tako i u uslovima višestruke propagacije u kanalu nepoznatog impulsnog odziva, počeo je tek u poslednje dve godine. Predloženi algoritam odnosi se i na ovaj, najkompleksniji problem. Kompletan algoritam za automatsku klasifikaciju modulacija na bazi normalizovanih kumulanata šestog reda čine sledeća dva glavna segmenta: 1) podsistem za estimaciju vrednosti normalizovanog kumulanta šestog reda signala nepoznatog modulacionog formata, kao parametra od interesa za klasifikaciju, i 2) podsistem za estimaciju uticaja kanala nepoznatog impulsnog odziva, kao zaseban pod-algoritam. Cilj istraživanja je da se pokaže kako integracija ovih segmenata u jedinstveni algoritam kao rezultat ima uspešnost klasifikacije modulacionih postupaka (u smislu vrednosti verovatnoće uspešne klasifikacije) koja je veća nego kod poznatih algoritama za klasifikaciju modulacija, podjednako podobnih za praktičnu implementaciju i namenjenih primeni u istim radnim uslovima.

Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Pregled postojećih metoda automatske klasifikacije modulacija dat je u referencama ([1]-[3]). Koncept klasifikacije na bazi vrednosti kumulanata višeg reda, kao i okvir za procenu vrednosti statističkih parametara ovih veličina, prikazan je u referenci [4]. Uticaj višestruke propagacije na proces klasifikacije analiziran je u referencama ([5]-[6]). Estimacija koeficijenata kanala primenom statistike višeg reda u algoritmu klasifikacije modulacija na bazi vrednosti kumulanata prikazana je u referencama ([7]-[8]).

- [1] O. A. Dobre, A. Abdi, Y. Bar-Ness and W. Su, "Survey of automatic modulation classification techniques: classical approaches and new trends," *IET Commun.*, Vol. 1, No. 2, pp. 137-156, April 2007.
- [2] W. Su and J. Kosinski, "A survey of digital modulation recognition methods," in *Proc. International Signal Processing Conf.*, 2003, Dallas, TX, US.
- [3] O. A. Dobre, A. Abdi, Y. Bar-Ness, and W. Su, "Blind modulation classification: a concept whose time has come," in *Proc. IEEE Sarnoff Symposium on Advances in Wired and Wireless Communications*, 2005, Princeton University, pp. 223-228.
- [4] A. Swami and B. M. Sadler, "Hierarchical digital modulation classification using cumulants," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 416-429, 2000.
- [5] A. Swami, S. Barbarossa, and B. Sadler, "Blind source separation and signal classification," in *Proc. ASILOMAR*, 2000, pp. 1187-1191.
- [6] L. Yang, Z. Ji, X. Xu, X. Dai and P. Xu, "Modulation Classification In Multipath Fading Environments," *4th International Symposium on Wireless Communication Systems 2007 (ISWCS 2007)*, pp. 171-174, 2007.

- [7] S. Xi and H. C. Wu, "Robust Automatic Modulation Classification Using Cumulant Features in the Presence of Fading Channels," in *IEEE WCNC '06*, 2006.
- [8] H. C. Wu, M. Saquib and Z. Yun, "Novel Automatic Modulation Classification Using Cumulant Features for Communications via Multipath Channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 8, pp. 3098-3105, August 2008.

POLAZNE HIPOTEZE

U radu se polazi od hipoteze da je na osnovu raspoloživih informacija o statistici signala, degradiranog tokom propagacije, moguće odrediti modulacioni postupak koji je nad signalom primenjen. Pored dejstva aditivnog šuma na signal, kao glavni izvor degradacije signala posmatra se pojava višestruke propagacije. Smatra se da je kanal vremenski promenljiv i da impulsni odziv kanala nije *a priori* poznat, već se vrši odgovarajuća estimacija koeficijenata kanala primenom statističkih metoda.

NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije sastojće se u sledećem:

- analiza postojećih metoda za automatsku klasifikaciju modulacija, sa posebnim osvrtom na metode zasnovane na „prepoznavanju obrazaca“ u signalu;
- definisanje novog algoritma klasifikacije na bazi vrednosti normalizovanog kumulanata šestog reda primljenog signala i određivanje vrednosti statističkih parametara za opisivanje očekivanog nivoa uspešnosti klasifikacije;
- međusobno poređenje očekivane uspešnosti algoritama za klasifikaciju modulacija zasnovanih na vrednostima kumulanata višeg reda;
- definisanje i evaluacija nove metode za estimaciju uticaja kanala na proces klasifikacije;
- međusobno poređenje predložene i već postojeće metode za estimaciju uticaja kanala na proces klasifikacije;
- provera performansi predloženog algoritma za automatsku klasifikaciju modulacija u različitim scenarijima, pomoću računarskih simulacija;
- teorijska analiza metoda za poboljšanje performansi predloženog algoritma u različitim uslovima okruženja, provera performansi pomoću računarskih simulacija;
- teorijska analiza robusnosti predloženog algoritma na uticaj interferencije, provera performansi pomoću računarskih simulacija.

OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Originalni doprinos AMC problematici u predloženoj disertaciji sadržan je u detaljnoj analizi mogućnosti upotrebe kumulanata šestog reda kao statističkog parametra od interesa za postupak klasifikacije. Izvedeni zaključci su simulacionom metodom testirani u praktičnim uslovima propagacije, tj. – pri realnim modelima kanala sa višestrukom propagacijom. Predloženo je i originalno rešenje za estimaciju uticaja višestruke propagacije na proces automatske klasifikacije modulacija. Združenom primenom estimacije uticaja kanala i određivanja vrednosti kumulanata šestog reda primljenog signala postiže se uspešna klasifikacija signala po primenjenom tipu modulacije u realnim uslovima propagacije. Takođe, predložena su i druga rešenja za poboljšanje performansi predloženog AMC algoritma, u različitim specifičnim uslovima propagacije. Algoritam za automatsku klasifikaciju modulacija predložen u ovoj doktorskoj disertaciji pokazuje svoju konkurentnost u odnosu na poznate AMC algoritme kroz ostvarenje sledećih zahteva, od posebne važnosti za praktičnu implementaciju:

- da omogućava visoku verovatnoću uspešne klasifikacije u kratkom intervalu opservacije dolaznog signala i što širem opsegu vrednosti odnosa signal-šum;
- da poseduje mogućnost prepoznavanja više različitih formata modulacije u raznolikim uslovima propagacije;
- da bude robustan na promene uslova propagacije tokom vremena;
- da funkcioniše u realnom vremenu, i
- da bude praćen što je moguće nižom numeričkom kompleksnošću i što jednostavnijim zahtevima za implementaciju.

PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Plan istraživanja obuhvatiće teorijsku analizu problema automatske klasifikacije modulacija, komparativnu analizu performansi AMC algoritma predloženog u disertaciji i konkurentnih rešenja, kao i provere performansi u cilju potvrde dobijenih rezultata, kroz računarske simulacije.

U predloženoj disertaciji biće detaljno prikazan algoritam za klasifikaciju modulacija na bazi vrednosti normalizovanog kumulanta šestog reda signala nepoznatog modulacionog formata. Pri tome će se definisati normalizovani kumulant šestog reda kao parametar od interesa u postupku klasifikacije modulacija, teorijski će biti izvedene formule za opisivanje samog algoritma, numeričke vrednosti ove veličine koje odgovaraju posmatranim modulacionim postupcima će biti izračunate, a potom će biti izvedeni i teorijski izrazi kojima se opisuju vrednosti statističkih parametra za opisivanje očekivanog nivoa uspešnosti klasifikacije. Ove vrednosti se, takođe, određuju i numerički za posmatrane tipove modulacionih postupaka. U disertaciji se predlaže i novi kriterijum za međusobno poređenje očekivane uspešnosti algoritama za klasifikaciju modulacija zasnovanih na vrednostima kumulanata višeg reda; zaključci izvedeni primenom predloženog kriterijuma verifikuju se i putem Monte-Karlo simulacije.

Teorijski se objašnjava pojava ofseta vrednosti normalizovanog kumulanta šestog reda u slučaju primene predloženog algoritma na BPSK signal u kanalu sa višestrukom propagacijom, koja doprinosi uspešnosti procesa klasifikacije i predstavlja specifičnu pojavu, nepoznatu u postojećim algoritmima ovog tipa. Teorijska objašnjenja su, za konkretne modele kanala, verifikovana numeričkim rezultatima dobijenim putem Monte-Karlo simulacije. Takođe, uticaj koji ova pojava ostvaruje na sam proces klasifikacije demonstriran je i verifikovan na isti način.

Ukazano je da glavni razlog za pojavu skromnih rezultata klasifikacije u scenarijima koji podrazumevaju isključivo kompleksne modulacione postupke, u algoritmima ovog tipa, leži u postojećim pod-algoritmima za estimaciju uticaja kanala nepoznatog impulsnog odziva. Predlaže se novi algoritam za estimaciju uticaja kanala, teorijski objašnjava njegova prednost nad postojećim rešenjima, a potom se izvedeni zaključci potvrđuju putem Monte-Karlo simulacija.

Takođe, ukazuje se na nedostatke matematičkih modela kanala koji se u literaturi najčešće posmatraju prilikom evaluacije algoritama za automatsku klasifikaciju modulacija na bazi računarskih simulacija. Predlažu se modeli kanala koji odgovaraju realnim uslovima propagacije, i sa njima se vrši procena rada kako predloženog, tako i postojećih algoritama za klasifikaciju modulacija.

Na kraju, uporedo sa predloženim rešenjem za unapređenje procesa klasifikacije u realnim uslovima rada, predlaže se i niz rešenja za poboljšanje procesa klasifikacije pod uslovima kakvi se najčešće posmatraju u literaturi. Takođe, diskutuje se i o robusnosti predloženog algoritma na pojavu interferencije, koja je rezultat uočenih specifičnih odlika ovog algoritma.

Doktorska disertacija će sadržati sedam poglavlja. Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju dat je detaljan opis modela sistema koji se posmatra, uz opis modulacionih postupaka koji će biti posmatrani u nastavku teksta. U trećem poglavlju dat je pregled postojećih AMC algoritama,

objavljenih rezultata u ovoj oblasti, uz pregled korišćene literature. U četvrtom poglavlju opisani su elementi statistike posmatranih telekomunikacionih signala, a koji su od posebnog interesa za AMC problematiku, i na kojima se zasniva predloženi algoritam klasifikacije na bazi vrednosti kumulanata šestog reda primljenog signala. U petom poglavlju opisan je algoritam za AMC na bazi vrednosti kumulanata šestog reda, kako u teorijski idealnim uslovima, tako u kanalu sa aditivnim belim Gausovim šumom i u kanalu sa višestrukom propagacijom. Uporedo sa predloženim algoritmom analiziran je i algoritam istog nivoa primene, koji je zasnovan na određivanju vrednosti kumulanta nižeg (četvrtog) reda. Teorijski su izvedeni izrazi za parametre kojima se opisuje očekivani kvalitet klasifikacije ostvaren pomoću predloženog algoritma, i prikazane su numeričke vrednosti ovih parametara. U ovom poglavlju razmatran je i problem modelovanja realnog kanala sa višestrukom propagacijom kao i problem estimacije uticaja kanala sa višestrukom propagacijom nepoznatog impulsnog odziva na proces klasifikacije. Prikazani su rezultati simulacija predloženog algoritma, uporedo sa simulacijama algoritma zasnovanog na određivanju vrednosti kumulanta nižeg reda. U šestom poglavlju su diskutovani različiti aspekti primene predloženog algoritma: mogućnosti poboljšanja performansi algoritma u nekim specifičnim uslovima propagacije (kakvi se najčešće posmatraju u literaturi), novi metod estimacije uticaja kanala sa višestrukom propagacijom nepoznatog impulsnog odziva na prikazani algoritam, kao i otpornost predloženog algoritma na pojavu interferencije.

Zaključna razmatranja biće izložena u sedmom poglavlju.

ZAKLJUČAK I PREDLOG

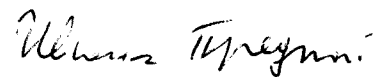
Na osnovu izloženog, Komisija konstatuje da kandidat ispunjava sve formalne i suštinske uslove za pristupanje izradi doktorske disertacije, kao i da je predložena tema "Automatska klasifikacija modulacija na osnovu vrednosti kumulanta šestog reda" naučno aktuelna u domenu savremenih bežičnih telekomunikacionih sistema. Komisija predlaže Naučno-nastavnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da kandidatu Vladimiru Orliću odobri izradu doktorske disertacije pod gore navedenim naslovom.

U Beogradu, 21.03.2011. godine

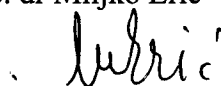
Komisija:

Prof. dr Miroslav L. Dukić


Doc. dr Predrag Ivaniš


Prof. dr Vladanka Aćimović Raspopović


Doc. dr Miljko Erić





Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Miroslav Dukić

Звање: redovni profesor

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Orlic V.D and Dukic M.L.: "Multipath channel estimation algorithm for automatic modulation classification using sixth-order cumulants". IEE Electronic Letters, Vol. 46, No. 19, 16th September 2010, pp.1348-1349. ISSN: 0013-5194. DOI: 10.1049/el.2010.1893. IF=0.97
2. Orlic V.D and Dukic M.L.: "Automatic Modulation Classification Algorithm Using Higher-Order Cumulants Under Real-World Channel Conditions". IEEE Communications Letters, Vol. 13, No. 12, December 2009, pp.917-919. ISSN: 1089-7798. DOI: 10.1109/LCOMM.2009.12.091711. IF=1.140
3. Krstić V.R and Dukić M.L.: "Blind DFE With Maximum-Entropy Feedback", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 16, Issue 1, Jan. 2009, pp.26-29. ISSN: 1070-9908. DOI: 10.1109/LSP.2008.2008566. IF=1.173
4. Dejan M. Novakovic and Miroslav L. Dukic: "Analysis of integrated power control and advanced receivers algorithms", ETT European Trans. on Telecommunication, Volume 17, Issue 4, July/August 2006, pp.489-494. DOI: 10.1002/ett.1134. IF=0.434
5. M. Jankovic & M.L. Dukic: "A Proposal for Telecommunications Strategy in Serbia", IEEE Communications Magazine, August 2005, Vol. 43, No. 8. ISSN: 0163-6804. DOI: 10.1109/MCOM.2005.1497546. IF=1.946

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА