



Univerzitet Crne Gore

Univerzitet Crne Gore
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

81000 Podgorica, Dž. Vašingtona bb, tel. (020) 245 839, fax: (020) 245 873
Ž.R. 510-255-51, PIB: 02016702 302, PDV: 30/31-03951-6



Broj: 02/1-h60/1
Datum: 01.04.2019.

UNIVERZITET CRNE GORE
- Centru za doktorske studije -
- Senatu -

OVDJE

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta sa sjednice od 01.04.2019. godine i **obrazac D3**, sa pratećom dokumentacijom, za kandidata mr **Miloša Brajovića**, na dalji postupak.

DEKAN,
Prof. dr Zoran Veljović





Broj: 02/1-h60

Datum: 01.04.2019.

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 55 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na sjednici od 01.04.2019. godine, donijelo je

ODLUKU

I

Prihvata se Izvještaj Komisije za ocjenu doktorske disertacije „**Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu**“, kandidata mr **Miloša Brajovića**.

II

Predlaže se Senatu Univerziteta Crne Gore da prihvati disertaciju „**Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu**“, kandidata mr **Miloša Brajovića** i imenuje Komisiju za odbranu doktorske disertacije, u sastavu:

1. Dr Ljubiša Stanković, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, predsjednik
2. Dr Miloš Daković, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, mentor
3. Dr Danilo Mandić, redovni profesor Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, London, UK, član
4. Dr Vesna Popović-Bugarin, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, član
5. Dr Irena Orović, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, član

-VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-

Dostavljeno:

- Centru za doktorske studije,
- Senatu,
- u dosije,
- a/a.



DEKAN,

Prof. dr Zoran Veljović

OCJENA DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Miloš Brajović
Fakultet	Elektrotehnički fakultet Podgorica
Studijski program	Doktorske studije elektrotehnike
Broj indeksa	2/2013
MENTOR/MENTORI	
Mentor	Prof. dr Miloš Daković Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora
KOMISIJA ZA OCJENU DOKTORSKE DISERTACIJE	
Prof. dr Ljubiša Stanković	Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora
Prof. dr Miloš Daković	Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora
Prof. dr Danilo Mandić	Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Imperial College London, London, UK
Datum značajni za ocjenu doktorske disertacije	
Doktorska disertacija i Izvještaj Komisije dostavljen Biblioteci UCG	15.02.2019.
Javnost informisana (dnevne novine) da su Doktorska disertacija i Izvještaj Komisije dati na uvid	16.02.2019.
Sjednica Senata na kojoj je izvršeno imenovanje komisije za ocjenu doktorske disertacije	20.11.2018.
Uvid javnosti	
U predviđenom roku za uvid javnosti bilo je primjedbi?	Nije.
OCJENA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>1. Pregled disertacije</p> <p>Doktorska disertacija pod nazivom „<i>Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu</i>“, kandidata Miloša Brajovića, sadrži 238 stranica A4 formata. Sastoji se iz rezimea, izvoda teze, uvoda, četiri poglavlja, zaključka i spiska literature sa 255 bibliografskih jedinica. Sastavni dio teze su 53 slike i 6 tabela.</p> <p>U disertaciji je razmatrana rekonstrukcija signala koji su rijetki (sparse) u Furijeovom i Hermitskom transformacionom domenu. Pored navedenih domena analizirani su i domeni jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije, kao i kratkotrajne Furijeove transformacije. Disertacija sadrži originalnu opsežnu analizu uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente diskretne Hermitske i jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije. Polazeći od ovih analiza, a na osnovu mjera koncentracije, odnosno mjera rijetkosti signala u razmatranim domenima, predloženi su novi algoritmi za rekonstrukciju signala na osnovu redukovano skupa mjerenja, kao i kvantitativni indikatori kvaliteta rekonstrukcije u slučaju postojanja aditivnog šuma u mjerenjima (dostupnim</p>	

odbircima signala) i u slučajevima kada se algoritmi primjenjuju na signale koji su aproksimativno rijetki, ili koji nijesu rijetki u razmatranim domenima (a rekonstruisani su uz pretpostavku rijetkosti signala). Mjere koncentracije iskorišćene su kao osnov za uvođenje originalnih algoritama koji omogućavaju optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije, uklanjanje šuma iz signala koji imaju koncentrisanu reprezentaciju u ovom domenu, dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala u oblasti vremensko-frekvencijske analize i rekonstrukciju krutog tijela (engl. *rigid body*) kod ISAR signala u slučaju nekompensovanog ubrzanja radarskih meta. U tezi je dodatno predstavljen i algoritam za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, zasnovan na Wigner-ovoj distribuciji i distribuiranom *Ant Colony Optimization* algoritmu. Teorijski rezultati su verifikovani kroz numeričke eksperimente, a posebna pažnja posvećena je evaluaciji rezultata kroz primjenu algoritama na realne signale (biomedicinske EKG signale, komunikacione/radarske UWB signale, audio signale i digitalne slike).

U Uvodu disertacije uveden je pojam kompresivnog odabiranja, i koncept rijetkosti, odnosno, koncentrisanih reprezentacija signala u transformacionim domenima, na kojima je zasnovano izlaganje u ostatku teze. Na ovom mjestu su jasno naznačeni originalni doprinosi teze, i struktura izlaganja u ostatku disertacije.

U prvoj glavi „*Rekonstrukcija rijetkih signala sa osvrtom na Furijeov transformacioni domen*“, predstavljeni su osnovni teorijski principi kompresivnog odabiranja i rekonstrukcije rijetkih signala. Definisani su formalni uslovi koji garantuju uspješnu rekonstrukciju i jedinstvenost rješenja koje se dobija primjenom rekonstrukcionih algoritama. Fundamentalni koncepti su uvedeni kroz razmatranje diskretne Furijeove transformacije kao reprezentativnog primjera domena rijetkosti signala. Predstavljene su osnovni rekonstrukcioni algoritmi, koji su od posebnog značaja za dalja izlaganja u tezi.

Druga glava „*Diskretna Hermitska transformacija kao domen rijetkosti signala*“ sadrži četiri odjeljka kroz koje su prezentovani glavni doprinosi u obradi signala koji imaju rijetku, odnosno, visoko koncentrisanu reprezentaciju u Hermitskom transformacionom domenu. Nakon uvođenja Hermitske transformacije, njenih diskretnih ekvivalenata i njihovih glavnih karakteristika, razmatra se optimizacija parametara (faktora skaliranja vremenske ose i pomjeraja po vremenskoj osi) jednog tipa diskretne Hermitske reprezentacije, sa primjenom u kompresiji QRS kompleksa, koji su posebno značajni segmenti biomedicinskih EKG signala. Data je analiza uticaja aditivnog šuma na diskretnu Hermitsku transformaciju i prezentovan jednostavan postupak za uklanjanje šuma u slučaju signala koji imaju koncentrisanu reprezentaciju u ovom domenu. Važan dio druge glave čini analiza uticaja nedostajućih odbiraka na koeficijente diskretne Hermitske transformacije, koja sadrži više novih teorijskih rezultata: matematičko modelovanje Hermitskih koeficijenata signala sa nedostajućim odbircima, probabilističku analizu uspješnosti rekonstrukcije koja je zasnovana na prezentovanoj teoriji, interpretaciju indeksa koherentnosti parcijalne mjerne matrice diskretne Hermitske transformacije u kontekstu predložene teorije, originalnu analizu uticaja aditivnog šuma na performanse rekonstrukcije, analizu rekonstrukcije signala koji nijesu rijetki a koji su rekonstruisani kao da jesu rijetki u ovom domenu. Predložena su dva nova algoritma za rekonstrukciju zasnovana na izloženoj teoriji, i treći, iterativni gradijentni algoritam za rekonstrukciju, sa odgovarajućom interpretacijom u ovom domenu. Svi rezultati su potkrijepljeni numeričkim primjerima, uključujući i eksperimente sa realnim EKG i UWB signalima, kao i opsežne eksperimente kojima je izvršena evaluacija izloženih teorijskih rezultata.

Diskretna kosinusna transformacija (DCT) analizirana je u trećoj glavi disertacije „*Diskretna kosinusna transformacija kao domen rijetkosti signala*“. Razmatrana su dva oblika ove transformacije: jednodimenzioni i dvodimenzioni. Kod jednodimenzione DCT, obrađena je detaljna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente, izvedeni su

eksplicitni izrazi za vjerovatnoću uspješne rekonstrukcije u zavisnosti od broja dostupnih mjerenja, stepena rijetkosti i dužine signala. Uspostavljena je teorijska interpretacija indeksa koherencnosti parcijalne DCT matrice. U glavi je izvršena analiza uticaja aditivnog šuma na performanse rekonstrukcije, izveden je eksplicitni izraz za rekonstrukciju signala koji nijesu rijetki a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti u ovom domenu, i redefinisani su algoritmi za rekonstrukciju signala, na osnovu predložene teorije. Bitan segment čini opsežna eksperimentalna analiza primjene u kontekstu uklanjanja impulsnih smetnji prisutnih u audio signalima. Glava sadrži brojne primjere i eksperimentalne rezultate sa sintetičkim i realnim audio signalima. U drugom dijelu ove glave razmatrana je rekonstrukcija signala rijetkih u dvodimenzionom DCT domenu, odnosno, digitalnih slika. Izvedeni su izrazi koji karakterišu statističke osobine 2D DCT koeficijenata koji se, kao posljedica nedostajućih odbiraka signala, ponašaju kao slučajne varijable. I kod ove transformacije je izveden izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki (tj. koji su aproksimativno rijetki), a koji su rekonstruisani uz pretpostavku o rijetkosti. Realni primjeri takvih signala, na kojima je izvršena numerička evaluacija rezultata, jesu digitalne slike.

Četvrta glava disertacije „*Vremensko-frekvencijska analiza i rekonstrukcije na bazi mjera koncentracije*” primarno se bavi primjenama mjera koncentracije (rijetkosti) u problemima vremensko-frekvencijske analize. U glavi je prezentovan algoritam za rekonstrukciju krutog tijela (rigid-body) kod ISAR signala, na osnovu mjere koncentracije vremensko-frekvencijske reprezentacije, i algoritma za kompresivno odabiranje. Glava sadrži i predlog novog algoritma za estimaciju trenutne frekvencije na bazi Wigner-ove distribucije, u uslovima jakog aditivnog šuma prisutnog u signalu. U drugom dijelu glave prezentovan je originalni pristup za dekompoziciju multivarijantnih multikomponentnih signala, koji se dobijaju mjerenjem fizičkih procesa pomoću više senzora. Predstavljeni dekompozicioni pristup, zasnovan na mjeri koncentracije iz konteksta kompresivnog odabiranja, omogućava rekonstrukciju pojedinačnih komponenti multikomponentnog signala, čak i u slučajevima kada se komponente preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni.

U Zaključku su navedeni osnovni doprinosi teze i identifikovane teme budućih istraživanja u ovoj oblasti.

2. Vrednovanje disertacije

2.1 Problem

Rastuće količine podataka i težnja za njihovom efikasnijom i bržom akvizicijom, prenosom, skladištenjem i obradom dovele su do novih pristupa procesu akvizicije. Suočavanje sa ovim izazovima dovelo je do razvoja jedne nove klase akvizicionih tehnika, objedinjenih pod nazivom *kompresivno odabiranje* (*compressive sensing*). Neostajući podaci u signalima se mogu rekonstruisati, ukoliko je poznat transformacioni domen u kojem su signali rijetki, i ukoliko mjerne matrice, na bazi kojih se akvizicija vrši, zadovoljavaju određena ograničenja, koja garantuju mogućnost pronalaženja jedinstvenog rješenja problema rekonstrukcije.

Identifikacija transformacionog domena u kojem su signali rijetki predstavlja poseban naučni izazov. Potrebno je poznavati karakteristike signala koji se rekonstruišu iz redukovano skupa mjerenja. Određene specifičnosti koje su zajedničke za odgovarajuće klase signala, dovode to činjenice da signali koji pripadaju istoj klasi uglavnom dijele isti domen u kojem mogu biti reprezentovani sa malim brojem transformacionih koeficijenata, odnosno, u kojem se mogu reprezentovati kao rijetki. Tako digitalne slike imaju visoko koncentrisanu reprezentaciju u domenu dvodimenzionih diskretne kosinusne transformacije, digitalni audio u domenu jednodimenzionih diskretne kosinusne transformacije, QRS kompleksi EKG signala imaju rijetku reprezentaciju u diskretnom Hermitskom domenu itd. Pored identifikacije odgovarajućih domena, istraživački naponi se ulažu u problematiku modifikacije postojećih, i razvoja novih

transformacija, odnosno, mjernih matrica, koje bi omogućile poboljšanje stepena rijetkosti signala, odnosno, bolju koncentraciju signala.

Nedostajući odbirci, odnosno, redukovani skup mjercnja, dovode do pojave zanimljivih fenomena u domenima rijetkosti signala. Uticaj nedostajućih odbiraka se može modelovati aditivnim bijelim Gausovim šumom. Određivanje statističkih karakteristika ovog slučajnog procesa je vrlo značajno ali i izazovno, jer vodi do novih teorijskih zaključaka u vezi postupka kompresivnog odabiranja, rasvjetljava ograničenja i jasno kvantifikuje uticaj svih faktora koji utiču na proces rekonstrukcije, ali i na performanse rekonstrukcionih algoritama, tj. kvalitet rekonstruisanih signala. Navedena analiza jasno otvara mogućnost definisanja novih rekonstrukcionih algoritama. Dosadašnja praksa je, pokazala da se pri sprovođenju ovakve analize moraju uzeti u obzir specifičnosti razmatranih transformacionih domena.

Još jedan bitan problem u oblasti kompresivnog odabiranja jeste mogućnost predviđanja kvaliteta rezultata dobijenih primjenom algoritama za rekonstrukciju rijetkih signala i kvantifikacije uticaja različitih parametara na proces rekonstrukcije: stepena rijetkosti signala, broja dostupnih odbiraka, varijanse aditivnog šuma itd. Ovaj problem je u direktnoj vezi sa mogućnošću garantovanja jedinstvenosti rješenja problema rekonstrukcije. Izvođenje egzaktnih izraza za vjerovatnoće uspješne rekonstrukcije, zatim za energije grešaka u rekonstrukciji i uspostavljanje relacija sa važećom teorijom ključni su izazovi koji mogu dovesti do šire primjene koncepta kompresivnog odabiranja u praksi.

Razvoj novih pristupa za rekonstrukciju je podjednako važan izazov u oblasti. Mjere koncentracije, koje su osnov ovih rekonstrukcionih pristupa, mogu se koristiti i za poboljšanje koncentracije signala, i rješavanje, na prvi pogled nepovezanih, ali ipak vrlo srodnih problema dekompozicije multikomponentnih signala u vremensko-frekvencijskoj analizi. Važno je spomenuti da je već decenijama identifikovan složen problem razdvajanja komponenti signala koje se preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni, što onemogućava njihovu kvalitativnu analizu, i identifikaciju relevantnih parametara kao što je, na primjer, trenutna frekvencija. Na sličan način, izazovan problem rekonstrukcije krutog tijela radarske mete čije ubrzanje nije kompenzovano, takođe bi mogao biti riješen pristupom koji je zasnovan na mjerama koncentracije.

Estimacija trenutne frekvencije je višedecenijski izazov u vremensko-frekvencijskoj analizi. Uticaj jakog aditivnog šuma je nekada toliko velik, da je estimaciju nemoguće sprovesti konvencionalnim metodama. Stoga ova problematika i danas izaziva veliku pažnju naučne javnosti.

2.2 Ciljevi i hipoteze disertacije

Osnovni ciljevi disertacije su: sprovođenje analize uticaja nedostajućih odbiraka na različite transformacione domene, razvoj novih pristupa za rekonstrukciju signala i poređenje sa postojećim pristupima, razmatranje aspekata primjene kompresivnog odabiranja na realne signale, razvoj tehnika za poboljšanje koncentracije signala u transformacionim domenima, razmatranje uticaja aditivnog šuma, primjena mjera koncentracije signala u transformacionim domenima za rješavanje različitih problema u oblasti digitalne obrade signala, razvoj poboljšanih tehnika za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, primjena koncepta kompresivnog odabiranja i obrade rijetkih signala na probleme koji se javljaju u vremensko-frekvencijskoj analizi signala.

U fazi prijave doktorske teze identifikovani su sljedeći ciljevi:

- Predložiti algoritam za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom transformacionom domenu koji bi bio inspirisan metodom najbržeg spuštanja;
- Sprovesti analizu uticaja nedostajućih odbiraka signala na njegovu Hermitsku transformaciju, izvesti vjerovatnoću greške u detekciji transformacionih koeficijenata koji odgovaraju

- komponentama signala, zatim na bazi sprovedene analize definisati pragove za detekciju komponenti i tako izvedeni prag inkorporirati u algoritam za rekonstrukciju signala;
- Sprovesti analizu uticaja nedostajućih odiraka signala na odgovarajuću diskretnu kosinusnu transformaciju, razmotriti rekonstrukciju signala koji nijesu rijetki a rekonstruisani su uz pretpostavku da su rijetki, ali i uticaj aditivnog šuma na proces rekonstrukcije;
 - Izvršiti optimizaciju parametara Hermitske transformacije na bazi mjera koncentracije (rijetkosti) transformacionih koeficijenata, sa primjenom na kompresiju QRS kompleksa;
 - Sprovesti analizu eksternog šuma na Hermitski transformacioni domen i naglasiti vezu sa uticajem nedostajućih odbiraka na isti domen;
 - Razviti algoritam za estimaciju trenutne frekvencije nestacionarnih signala primjenom algoritma *Ant Colony Optimization* na Wigncr-ovu distribuciju ovih signala;
 - Izvršiti generalizaciju rezultata na domen dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije.

Komisija konstatuje da su svi navedeni ciljevi u potpunosti ispunjeni.

2.3 Bitne metode koje su primijenjene u disertaciji; Rezultati disertacije i njihovo tumačenje sa zaključcima

Teorija izložena u disertaciji polazi od fundamentalnih principa kompresivnog odabiranja, obrade rijetkih signala i vremensko-frekvencijske analize. Analiza uticaja nedostajućih odbiraka je sprovedena na osnovu bazične analize koja je ranije uvedena za Furijeov transformacioni domen, uvažavajući brojne specifičnosti i rješavajući izazove koje nose različiti transformacioni domen. Svi izrazi su izvedeni, u skladu sa važećom i opšteprihvaćenom teorijom obrade signala, i evaluirani su numerički, eksperimentima koji su specijalno dizajnirani u skladu sa svim standardima koji se postavljaju pri pripremi publikacija za objavljivanje u vodećim međunarodnim časopisima iz ove oblasti.

Nakon uvođenja Hermitske transformacije i njenih diskretnih ekvivalenata, identifikovani su osnovni parametri koji imaju potencijalni uticaj na koncentraciju reprezentacije signala u ovim domenima. Nakon uvođenja formule za reodabiranje signala, u cilju uspostavljanja veze između uniformnog odabiranja i neuniformnog odabiranja u tačkama koje su proporcionalne nulama Hermitskog polinoma, uveden je koncept mjere koncentracije signala u Hermitskom domenu i definisan problem minimizacije ove mjere varijacijama faktora skaliranja vremenske ose. Nakon adekvatno uvedene teorije, prezentovan je algoritam za automatizovanu optimizaciju ovog parametra, inspirisan poznatim metodom najbržeg spuštanja. Dodatno je definisan problem opzimizacije vremenskog pomjeraja signala u cilju minimizacije mjere koncentracije. Razmatrane optimizacije su testirane kroz primjere sa sintetičkim signalima, primjere sa komunikacionim UWB signalom, primjere sa QRS kompleksima i T-talasima EKG signala. Sveobuhvatna evaluacija predloženog pristupa obavljena je kroz opsežni eksperiment sa realnim EKG signalima dostupnim iz *online* baze „MIT-BIH Compression Test Database”, gdje je razmatrano ukupno 1486 eksperimentalno dobijenih QRS kompleksa, koji su komprimovani korišćenjem predloženog pristupa. Zahtjev koji je bio postavljen, a koji je u skladu sa zahtjevima iz sličnih eksperimenata u literaturi, jeste da signali rekonstruisani iz komprimovane reprezentacije imaju grešku koja je manja od 10% u odnosu na originalne signale. Predloženi pristup je upoređen sa konkurentnim kompresionim algoritmima zasnovanim na DFT-u, DCT-u i drugim pristupom sa Hermitskom transformacijom. Predloženi algoritam je, sa stanovišta kompresije, dao poboljšanje od 13.8% u odnosu na najefikasnije postojeće metode. Poboljšanje je bilo evidentno i u slučaju razmatranja prosječnog broja bita po odbirku potrebnom za njegovu reprezentaciju. Ovi opsežni numerički eksperimenti su jasno i nedvosmisleno potvrdili da predloženi algoritam za optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije ima veliki potencijal za primjenu u praksi, i da se

može koristiti za poboljšanje koncentracije signala u ovom transformacionom domenu.

Uticao aditivnog šuma na diskretnu Hermitsku transformaciju zasnovanu na Gaus-Hermitskoj kvadraturi je analiziran kroz izvođenje izraza za varijansu Hermitskih koeficijenata zašumljenog signala. Izrazi za varijansu su numerički potvrđeni kroz eksperiment sa realnim UWB signalom kod kojeg je varijansa ulaznog aditivnog šuma varirana u opsegu od 10^{-6} do 1. Numerički i teorijski rezultati pokazuju potpuno poklapanje. Izraz za varijansu je verifikovan i kroz eksperiment sa 10000 nezavisnih realizacija šuma koji zahvata UWB signal, čija je varijansa fiksna, tako da daje SNR od 5 dB. U disertaciji je prezentovan veći broj primjera koji potvrđuju efikasnost algoritma za uklanjanje šuma zasnovanog na *hard-thresholding*-u, koji koristi izvedeni izraz za varijansu. Algoritam je upoređen sa konkurentnim metodama za uklanjanje šuma koji su zasnovani na DFT-u, DCT-u, DWI-u, i sa tzv. SASS algoritmom zasnovanim na sparsifikaciji EKG signala. Dobijena srednja kvadratna greška, u slučaju eksperimenta sa realnim EKG signalom i realnim UWB signalom dala je poboljšanje koje je za SNR od 0dB iznosilo i do 10dB, osim u slučaju SASS algoritma, koji je za QRS kompleks dao nešto bolje rezultate za SNR vrijednosti veće od 0dB.

Uticao nedostajućih odbiraka na Hermitske transformacione koeficijente se manifestuje kao aditivni šum u transformacionom domenu. U radu su izvedeni eksplicitni izrazi za varijanse i srednje vrijednosti ovog šuma. Pokazano je da varijansa zavisi od Hermitskog indeksa komponente signala, i teorijski model je eksperimentalno evaluiran. Gausova raspodjela Hermitskih koeficijenata je verifikovana kroz eksperimentalno dobijene histograme nastale na osnovu većeg broja realizacija signala sa slučajno pozicioniranim nedostajućim odbircima, koji se potpuno poklapaju sa odgovarajućim teorijskim modelima. Eksperimentalno je potvrđeno da teorijski izrazi za varijansu u poređenju sa numeričkim rezultatima daju grešku reda veličine 10^{-2} , u slučaju jednokomponentnog signala dužine 200 i 400 odbiraka, čiji je broj slučajno raspoređenih dostupnih odbiraka variran od 1 do zadate dužine signala. Eksperiment je sproveden usrednjavanjem rezultata dobijenih za 7000 nezavisnih realizacija signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. Izrazi za varijansu u slučaju Hermitskih koeficijenata na pozicijama koje ne odgovaraju i pozicijama koje odgovaraju komponentama signala su dodatno provjereni kroz eksperiment sa signalom dužine 200 odbiraka, koji ima 5 komponenti. Broj dostupnih odbiraka je variran između 1 i 200. Varijanse su dobijene usrednjavanjem rezultata dobijenih za veći broj nezavisnih realizacija razmatranog signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. Izvedeni izrazi za vjerovatnoću greške u rekonstrukciji nedostajućih odbiraka signala koji su rijetki u domenu diskretne Hermitske transformacije su takođe numerički verifikovani kroz eksperiment sa petokomponentnim signalom, čije komponente imaju različite amplitude. U svim slučajevima, eksperimentalno dobijeni rezultati se u velikoj mjeri poklapaju sa teorijski izvedenim izrazima. Na sličan način je numerički testiran i teorijski izvedeni prag koji služi za razdvajanje Hermitskih koeficijenata koji odgovaraju komponentama signala, od onih koji ne odgovaraju. U zavisnosti od broja dostupnih odbiraka: 56, 108, 154, 176, za signal dužine 200 odbiraka, prag uspijeva da razdvoji dvije, tri, četiri ili pet komponenti (petokomponentnog) signala od ostalih koeficijenata (šuma), u skladu sa izvedenim izrazom za vjerovatnoću ovog razdvajanja. Na osnovu prezentovane analize, predstavljen je MP algoritam zasnovan na pragu u kojem figuriraju izvedeni izrazi za varijansu koeficijenata koji odgovaraju šumu kompresivnog odabiranja. Ovaj algoritam je, kroz eksperiment sa realnim UWB signalom upoređen sa OMP algoritmom, sa stanovišta greške u rekonstrukciji, vremena izvršavanja i broja prosječnih iteracija. Evidentno manji broj iteracija i kraće vrijeme izvršavanja, u odnosu na OMP algoritam postoji dok god su ispunjeni uslovi za rekonstrukciju. Za razmatrani signal, to je bilo u slučaju kada je broj dostupnih odbiraka veći ili jednak 50. Poređenje je sprovedeno na bazi 500 nezavisnih realizacija signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. U disertaciji je prezentovan i primjer uspješne rekonstrukcije razmatranog UWB signala, ali i sintetičkog signala koji je

zahvaćen jakim aditivnim šumom. Konačno, izvršena je numerička evaluacija izraza za SNR rekonstrukcije i izraza za energiju greške u rekonstrukciji signala koji je samo aproksimativno rijedak u domenu razmatrane diskretne Hermitske transformacije. U prvom slučaju je posmatran trokomponentni signal rijedak u Hermitskom domenu, čije komponente imaju tri različite amplitude, 1, 0.9 i 0.6. Signalu je dodat aditivni bijeli Gausov šum srednje vrijednosti 0 i varijanse 0.1. Signal je kompresivno odabran, tako da je broj dostupnih mjerenja 60, 120, 180 i 240. Rezultati rekonstrukcije su dobijeni na bazi 500 realizacija signala sa nezavisnim, slučajno raspoređenim odbircima i slučajnim realizacijama aditivnog šuma. Dobijeni SNR rekonstruisanog signala je upoređen sa teorijskim izrazom, nedvosmileno potvrđujući njegovu tačnost. Izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji je aproksimativno rijedak u domenu Hermitske transformacije je takođe evaluiran numeričkim eksperimentom u kojem je variran pretpostavljeni stepen rijetkosti signala, koji ima 128 od 256 slučajno raspoređenih dostupnih odbiraka. Teorijski i eksperimentalni rezultati se dobro poklapaju.

U slučaju analize uticaja nedostajućih odbiraka signala na koeficijente diskretne kosinusne transformacije, sproveden je takođe veći broj numeričkih eksperimenata, koji su po osnovnoj postavci i sveobuhvatnosti slični eksperimentima koji su korišćeni za slučaj diskretne Hermitske transformacije. To se odnosi na eksperimente za evaluaciju izraza za varijansu transformacionih koeficijenata, numeričku potvrdu njihove Gausovske prirode kroz primjer sa histogramima, zatim eksperiment za evaluaciju izraza za rekonstrukciju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki, a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti itd. Navedeni primjeri i eksperimenti potvrđuju validnost teorijskih doprinosa. Komisija na ovom mjestu, skreće posebnu pažnju na set primjera i eksperimenata sa realnim audio signalima. Algoritam za rekonstrukciju iz konteksta kompresivnog odabiranja je primijenjen na rekonstrukciju audio signala koji su oštećeni jakim impulsnim smetnjama. Pored tri izdvojena primjera koji jasno potvrđuju validnost izvedenog izraza za energiju greške u rekonstrukciji signala, imajući u vidu visok stepen poklapanja teorijskog izraza i numeričkih rezultata (audio signali su aproksimativno rijetki u DCT domenu), Posebno naglašavamo eksperiment opisan u odjeljku 3.1.8 doktorske disertacije. Razmatra se set od 10 muzičkih signala odabranih na 16 kHz, 10 govornih signala odabranih na 16 kHz i 10 govornih signala odabranih na 8 kHz. Ovi signali su zahvaćeni, kroz dva opsežna eksperimenta (a) impulsnim smetnjama na slučajnim pozicijama i (b) impulsnim smetnjama koje se javljaju u slučajno pozicioniranim blokovima signala. Nakon detekcije impulsnih smetnji, oštećene pozicije su proglašene za pozicije nedostupnih odbiraka, i sprovodi se rekonstrukcija algoritmom koji je predložen u ovoj glavi teze. Pokazan je visok stepen poklapanja izraza za grešku, sa numerički dobijenim rezultatima u oba opsežna eksperimenta. Rekonstrukcija signala se sprovodila u blokovima od po 500 odbiraka. Zatim su rekonstrukcioni rezultati upoređeni sa konkurentnim metodama: median filtrima dužine 3 i 5, niskopropusnim filtrima Butterworth-ovog tipa sa različitim (signalima prilagođenim) parametrima, specijalizovanim tehnikama za rekonstrukciju ovih signala – LSAR i LSAR+SIN, kao i sa LASSO algoritmom iz konteksta kompresivnog odabiranja. Rezultati su upoređeni sa stanovišta srednje kvadratne greške MSE, i objektivnih mjera perceptualnog kvaliteta PEMO-Q u slučaju muzičkih, i PESQ u slučaju govornih signala. Predloženi algoritam je za većinu razmatranih signala pokazao superiornost po svim razmatranim kriterijumima.

U disertaciji je predstavljena i analiza uticaja nedostajućih piksela u digitalnoj slici na odgovarajuće koeficijente dvodimenzione DCT. Pored numeričke evaluacije izvedenog izraza za varijansu transformacionih koeficijenata, predstavljen je i set numeričkih eksperimenata za validaciju izvedenog izraza za grešku u rekonstrukciji kompresivno odabranih digitalnih slika. Rezultati prezentovani za kolornu sliku „Lena”, sivoskaliranu sliku „Barbara” i za niz od 8 sivoskaliranih slika razmatranih u eksperimentalnoj analizi pokazuju visok stepen poklapanja izvedenog izraza i numerički dobijenih srednjih kvadratnih grešaka.

Efikasnost predloženih pristupa u posljednjoj glavi disertacije testirana je kroz više primjera. Navedeno uključuje primjer sa uspješnom estimacijom trenutne frekvencije složenoharmonijski modulisanog FM signala u slučaju aditivnog šuma od -2 dB, primjer rekonstrukcije krutog tijela ISAR mete sa nekompensovanim ubrzanjem, primjenom algoritma za kompenzaciju kretanja koji je zasnovan na minimizaciji mjere koncentracije vremensko-frekvencijske reprezentacije, i konačno, niz primjera koji ilustruju efikasnost postupka dekompozicije multikomponentnih multivarijantnih signala. Uspješna dekompozicija je ilustrovana na primjeru: bivarijantnog realnog signala, bivarijantnog dvokomponentnog signala, multivarijantnog (četvorokanalnog) trokomponentnog signala i konačno, petokomponentnog trokanalnog nezašumljenog i zašumljenog signala. Prezentovani rezultati ukazuju da algoritam za dekompoziciju obezbjeđuje potpunu rekonstrukciju izdvojenih komponenti svih razmatranih signala.

3. Konačna ocjena disertacije

Doktorska disertacija kandidata mr Miloša Brajovića sadrži originalne i značajne naučne doprinose, pritom predstavljajući skladnu, jezički i tehnički korektno oblikovanu cjelinu, koja ispunjava savremene zahtjeve i standarde izrade publikacija ovog tipa.

Priilikom izrade disertacije, kandidat je pokazao odličan stepen poznavanja razmatrane problematike. U skladu sa ustaljenom metodologijom naučno-istraživačkog rada, kandidat je jasno postavio očekivane ciljeve, i u svrhu njihovog postizanja primijenio adekvatne istraživačke metode, polazeći od dostupne literature i poznatih tehnika. Sve ostvarene teorijske rezultate je na adekvatan način verifikovao odgovarajućom eksperimentalnom analizom, zasnovanom na primjerima sa sintetičkim i realnim signalima. Ostvarene rezultate je egzaktno, kritički nastrojeno i sveobuhvatno uporedio sa konkurentnim tehnikama, jasno obrazlažući odgovarajuće prednosti i nedostatke. Kandidat je sve teorijske i eksperimentalne doprinose čvrsto povezo sa važećom teorijom u razmatranim oblastima.

Ciljevi koji su definisani prilikom prijave doktorske teze su ostvareni. Tokom implementacije zadatih ciljeva, kandidat je u kontinuitetu uspješno identifikovao nove istraživačke izazove, i pokazao zavidnu sposobnost sprovođenja naučno-istraživačke djelatnosti sa visokim stepenom samostalnosti.

Cjelokupno izlaganje u disertaciji sadrži potrebne detalje koji su neophodni za eventualnu reprodukciju svih prezentovanih eksperimentalnih rezultata. Primijenjeni algoritmi su definisani sa svim potrebnim parametrima, razmatrani eksperimenti sadrže detaljan opis postavke, analiziranih signala, njihovih karakteristika i pozijekla. Svi simulirani signali su egzaktno opisani tako da ih je moguće generisati u slučaju ponavljanja eksperimenata. Sva eventualna ograničenja i specifičnosti eksperimenata su eksplicitno naznačeni u njihovom opisu i/ili prezentaciji rezultata.

Predložene teorijske analize i uvedeni algoritmi rasvjetljavaju mnoge bitne fenomene i rješavaju poznate probleme u oblastima kompresivnog odabiranja, rekonstrukcije rijetkih signala i vremensko-frekvencijske analize. Uspješnost primjene u obradi realnih signala, uključujući biomedicinske, komunikacione signale, digitalne slike i audio signale daju dodatnu težinu prezentovanim rezultatima. Sprovedena istraživanja su otvorila mnoge nove istraživačke izazove i stvorile prostor za buduće doprinose u predmetnim oblastima, uključujući:

- mogućnost proširivanja teorije na diskretnu Hermitsku transformaciju drugog tipa (koja je u disertaciji označena kao DHT2);
- razmatranje rekonstrukcije signala koji se odabiraju mimo uniformnog vremenskog grida;
- razmatranje aspekata primjene algoritma za dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala na EKG, telekomunikacione i druge realne signale;
- razmatranje primjene drugih optimizacionih tehnika u cilju dekompozicije multikomponentnih signala koja je zasnovana na mjerama koncentracije;

- razmatranje uticaja kvantizacije na rekonstrukciju u kontekstu kompresivnog odabiranja;
- razmatranje mogućnosti rekonstrukcije signala koji nijesu na frekvencijskom gridu DFT-a,
- proširivanje razmatranih teorijskih koncepata na obradu tzv. signala na grafovima.

Originalni naučni doprinos

Primarna problematika koja se razmatra u disertaciji jeste analiza rekonstrukcije signala sa rijetkom reprezentacijom u različitim transformacionim domenima: Furijeovom, Hermitskom, domenu jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije i vremensko-frekvencijskim domenima kao što je kratkotrajna Furijeova transformacija. Ključni koncept mjera koncentracije, odnosno mjera rijetkosti signala, na kojima je ova rekonstrukcija zasnovana, primijenjen je na optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije, analizu i uklanjanje aditivnog šuma iz signala sa visokom koncentracijom u ovom domenu, kao i na dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala. Razmatranja o vremensko-frekvencijskim domenima upotpunjena su i analizom estimacije trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, gdje je predložen i originalni algoritam za estimaciju zasnovan na Wigner-ovoj distribuciji. U pogledu originalnog naučnog doprinosa, Komisija posebno izdvaja rezultate koji su publikovani kroz 8 radova u časopisima (SCI/SCIE lista sa visokim IMPACT faktorima):

- Koncept mjera koncentracije iz konteksta kompresivnog odabiranja je primijenjen na razvoj algoritama za optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije. Posebno važan doprinos jeste razmatranje primjene u kompresiji QRS kompleksa, specifičnih dijelova EKG signala sa bitnom primjenom u medicinskoj dijagnostici i liječenju.
- Predstavljena je originalna analiza uticaja aditivnog šuma na koeficijente diskretne Hermitske transformacije zasnovane na Gaus-Hermitskoj kvadraturnoj formuli. Na osnovu analize, predložen je jednostavan, ali efikasan pristup za uklanjanje aditivnog šuma, uz posebno razmatranje primjena u kontekstu realnih biomedicinskih EKG signala i komunikacionih UWB signala. Analiza je inkorporirana u algoritam za rekonstrukciju signala iz konteksta kompresivnog odabiranja.
- Predstavljena je originalna i detaljna teorijska analiza uticaja nedostajućih odbiraka na Hermitske transformacione koeficijente, data je probabilistička analiza procesa rekonstrukcije, analiziran je uticaj aditivnog šuma na proces rekonstrukcije i izveden je egzaktan izraz za grešku u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki, a koji su rekonstruisani uz pretpostavku o rijetkosti. Razvijena su dva nova pristupa rekonstrukciji, i njihove performanse upoređene sa konkurentnim pristupima u ovoj oblasti.
- Uveden je gradijentni pristup za rekonstrukciju signala koji su rijetki u Hermitskom domenu, inspirisan metodom najbržeg spuštavanja. Posebno je razmatrana primjena na kompresivno odabiranje QRS kompleksa.
- Predstavljena je originalna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na rekonstrukciju signala rijetkih u domenu Diskretne kosinusne transformacije (DCT), kao i analiza performansi različitih algoritama za rekonstrukciju signala na osnovu redukovano skupa dostupnih odbiraka (mjerenja).
- Izvršena je detaljna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije, i izveden je egzaktan izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki u ovom domenu, a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti. Razmatranje je od posebne važnosti za primjenu u rekonstrukciji digitalnih slika primjenom algoritama kompresivnog odabiranja.
- Predložen je novi algoritam za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima izloženosti signala

jakom aditivnom šumu. Algoritam je zasnovan na Wigner-ovoj distribuciji i optimizacionom pristupu poznatom pod nazivom Optimizacija mravlje kolonije. Wigner-ova distribucija predstavlja Furijeovu transformaciju specifično definisane autokorelacione funkcije.

- Mjere koncentracije signala u vremensko-frekvencijskoj ravni poslužile su kao osnov za razvoj algoritma za dekompoziciju multivarijantnih multikomponentnih signala. Predloženi pristup omogućava izdvajanje nestacionarnih komponenti signala uprkos njihovom preklapanju u vremensko-frekvencijskoj ravni, što predstavlja značajan prilog rješavanju problema koji se već više decenija smatra značajnim izazovom u oblasti vremensko-frekvencijske analize signala.

Mišljenje i prijedlog komisije

Na osnovu izloženog, Komisija je mišljenja da doktorska disertacija kandidata mr Miloša Brajovića ispunjava sve formalne, pravne i suštinske uslove, kao i sve standarde i kriterijume koji se primjenjuju prilikom vrednovanja doktorskih disertacija u oblasti tehničkih nauka. Izloženi istraživački rezultati predstavljaju značajne i originalne naučne doprinose u oblasti digitalne obrade signala. Naučni doprinosi su verifikovani publikovanjem osam radova u eminentnim međunarodnim naučnim časopisima (SCI/SCIE lista sa visokim IMPACT faktorima).

Uzimajući u obzir navedene činjenice, uz poseban osvrt na kvalitet i obim prezentovanih rezultata, Komisija sa zadovoljstvom predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da prihvati doktorsku disertaciju pod nazivom „Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu”, kandidata mr Miloša Brajovića i odobri njenu javnu usmenu odbranu.

Izdvojeno mišljenje



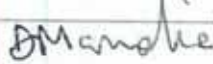
(popuniti ukoliko neki član komisije ima izdvojeno mišljenje)

Ime i prezime

Napomena

(popuniti po potrebi)

KOMISIJA ZA OCJENU DOKTORSKE DISERTACIJE

Prof. dr Ljubiša Stanković Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora	
Prof. dr Miloš Daković Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, Crna Gora	
Prof. dr Danilo Mandić Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Imperial College London, London, UK	 16-MAR-2019

Datum i ovjera (pečat i potpis odgovorne osobe)

U Podgorici, 01. 04. 2019.




 Prof. dr Zoran Veljović

11.01.2019

02/1 16

**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**VIJEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA
SENATU UNIVERZITETA CRNE GORE**

Predmet: Ocjena doktorske disertacije kandidata mr Miloša Brajovića

Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 20.11.2018. godine, prihvatio je predlog Vijeća Elektrotehničkog fakulteta br. 02/1-1633/1 od 26.10.2018. godine; utvrdio da su ispunjeni uslovi iz člana 38 Pravila doktorskih studija i Odlukom br. 03-3575/2 od 20.11.2018. imenovao članove Komisije za ocjenu doktorske disertacije pod nazivom „*Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu*”, kandidata Miloša Brajovića, magistra tehničkih nauka, oblast elektrotehnika.

Nakon detaljne analize priložene doktorske disertacije, podnosimo izvještaj Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore.

IZVJEŠTAJ

1. PREGLED DISERTACIJE

Doktorska disertacija pod nazivom „*Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu*”, kandidata Miloša Brajovića, sadrži 238 stranica A4 formata. Sastoji se iz rezimea, izvoda teze, uvoda, četiri poglavlja, zaključka i spiska literature sa 255 bibliografskih jedinica. Sastavni dio teze su 53 slike i 6 tabela.

U disertaciji je razmatrana rekonstrukcija signala koji su rijetki (sparse) u Furijeovom i Hermitskom transformacionom domenu. Pored navedenih domena analizirani su i domeni jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije, kao i kratkotrajne Furijeove transformacije. Disertacija sadrži originalnu opsežnu analizu uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente diskretne Hermitske i jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije. Polazeći od ovih analiza, a na osnovu mjera

koncentracije, odnosno mjera rijetkosti signala u razmatranim domenima, predloženi su novi algoritmi za rekonstrukciju signala na osnovu redukovano skupa mjerenja, kao i kvantitativni indikatori kvaliteta rekonstrukcije u slučaju postojanja aditivnog šuma u mjerenjima (dostupnim odbircima signala) i u slučajevima kada se algoritmi primjenjuju na signale koji su aproksimativno rijetki, ili koji nijesu rijetki u razmatranim domenima (a rekonstruisani su uz pretpostavku rijetkosti signala). Mjere koncentracije iskorišćene su kao osnov za uvođenje originalnih algoritama koji omogućavaju optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije, uklanjanje šuma iz signala koji imaju koncentrisanu reprezentaciju u ovom domenu, dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala u oblasti vremensko-frekvencijske analize i rekonstrukciju krutog tijela (engl. *rigid body*) kod ISAR signala u slučaju nekompensovanog ubrzanja radarskih meta. U tezi je dodatno predstavljen i algoritam za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, zasnovan na Wigner-ovoj distribuciji i distribuiranom *Ant Colony Optimization* algoritmu. Teorijski rezultati su verifikovani kroz numeričke eksperimente, a posebna pažnja posvećena je evaluaciji rezultata kroz primjenu algoritama na realne signale (biomedicinske EKG signale, komunikacione/radarske UWB signale, audio signale i digitalne slike).

U Uvodu disertacije uveden je pojam kompresivnog odabiranja, i koncept rijetkosti, odnosno, koncentrisanih reprezentacija signala u transformacionim domenima, na kojima je zasnovano izlaganje u ostatku teze. Na ovom mjestu su jasno naznačeni originalni doprinosi teze, i struktura izlaganja u ostatku disertacije.

U prvoj glavi „*Rekonstrukcija rijetkih signala sa osvrtom na Furijeov transformacioni domen*”, predstavljeni su osnovni teorijski principi kompresivnog odabiranja i rekonstrukcije rijetkih signala. Definisani su formalni uslovi koji garantuju uspješnu rekonstrukciju i jedinstvenost rješenja koje se dobija primjenom rekonstrukcionih algoritama. Fundamentalni koncepti su uvedeni kroz razmatranje diskretne Furijeove transformacije kao reprezentativnog primjera domena rijetkosti signala. Predstavljeni su osnovni rekonstrukcioni algoritmi, koji su od posebnog značaja za dalja izlaganja u tezi.

Druga glava „*Diskretna Hermitska transformacija kao domen rijetkosti signala*” sadrži četiri odjeljka kroz koje su prezentovani glavni doprinosi u obradi signala koji imaju rijetku, odnosno, visoko koncentrisanu reprezentaciju u Hermitskom transformacionom domenu. Nakon uvođenja Hermitske transformacije, njenih diskretnih ekvivalenata i njihovih glavnih karakteristika, razmatra se optimizacija parametara (faktora skaliranja vremenske ose i pomjeraja po vremenskoj osi) jednog tipa diskretne Hermitske reprezentacije, sa primjenom u kompresiji QRS kompleksa, koji su posebno značajni segmenti biomedicinskih EKG signala. Data je analiza uticaja aditivnog šuma na diskretnu Hermitsku transformaciju i prezentovan jednostavan postupak za uklanjanje šuma u slučaju signala koji imaju koncentrisanu reprezentaciju u ovom domenu. Važan dio druge glave čini analiza uticaja nedostajućih odbiraka na koeficijente diskretne Hermitske transformacije, koja sadrži više novih teorijskih rezultata: matematičko modelovanje Hermitskih koeficijenata signala sa nedostajućim odbircima, probabilističku analizu uspješnosti rekonstrukcije koja je zasnovana na prezentovanoj teoriji, interpretaciju indeksa koherentnosti parcijalne mjerne matrice diskretne Hermitske transformacije u kontekstu

predložene teorije, originalnu analizu uticaja aditivnog šuma na performanse rekonstrukcije, analizu rekonstrukcije signala koji nijesu rijetki a koji su rekonstruisani kao da jesu rijetki u ovom domenu. Predložena su dva nova algoritma za rekonstrukciju zasnovana na izloženoj teoriji, i treći, iterativni gradijentni algoritam za rekonstrukciju, sa odgovarajućom interpretacijom u ovom domenu. Svi rezultati su potkrijepljeni numeričkim primjerima, uključujući i eksperimente sa realnim EKG i UWB signalima, kao i opsežne eksperimente kojima je izvršena evaluacija izloženih teorijskih rezultata.

Diskretna kosinusna transformacija (DCT) analizirana je u trećoj glavi disertacije „*Diskretna kosinusna transformacija kao domen rijetkosti signala*”. Razmatrana su dva oblika ove transformacije: jednodimenzioni i dvodimenzioni. Kod jednodimenzione DCT, odrađena je detaljna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente, izvedeni su eksplicitni izrazi za vjerovatnoću uspješne rekonstrukcije u zavisnosti od broja dostupnih mjerenja, stepena rijetkosti i dužine signala. Uspostavljena je teorijska interpretacija indeksa koherentnosti parcijalne DCT matrice. U glavi je izvršena analiza uticaja aditivnog šuma na performanse rekonstrukcije, izveden je eksplicitni izraz za rekonstrukciju signala koji nijesu rijetki a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti u ovom domenu, i redefinisani su algoritmi za rekonstrukciju signala, na osnovu predložene teorije. Bitan segment čini opsežna eksperimentalna analiza primjene u kontekstu uklanjanja impulsnih smetnji prisutnih u audio signalima. Glava sadrži brojne primjere i eksperimentalne rezultate sa sintetičkim i realnim audio signalima. U drugom dijelu ove glave razmatrana je rekonstrukcija signala rijetkih u dvodimenzionom DCT domenu, odnosno, digitalnih slika. Izvedeni su izrazi koji karakterišu statističke osobine 2D DCT koeficijenata koji se, kao posljedica nedostajućih odbiraka signala, ponašaju kao slučajne varijable. I kod ove transformacije je izveden izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki (tj. koji su aproksimativno rijetki), a koji su rekonstruisani uz pretpostavku o rijetkosti. Realni primjeri takvih signala, na kojima je izvršena numerička evaluacija rezultata, jesu digitalne slike.

Četvrta glava disertacije „*Vremensko-frekvencijska analiza i rekonstrukcije na bazi mjera koncentracije*” primarno se bavi primjenama mjera koncentracije (rijetkosti) u problemima vremensko-frekvencijske analize. U glavi je prezentovan algoritam za rekonstrukciju krutog tijela (rigid-body) kod ISAR signala, na osnovu mjere koncentracije vremensko-frekvencijske reprezentacije, i algoritma za kompresivno odabiranje. Glava sadrži i predlog novog algoritma za estimaciju trenutne frekvencije na bazi Wigner-ove distribucije, u uslovima jakog aditivnog šuma prisutnog u signalu. U drugom dijelu glave prezentovan je originalni pristup za dekompoziciju multivarijantnih multikomponentnih signala, koji se dobijaju mjerenjem fizičkih procesa pomoću više senzora. Predstavljeni dekompozicioni pristup, zasnovan na mjeri koncentracije iz konteksta kompresivnog odabiranja, omogućava rekonstrukciju pojedinačnih komponenti multikomponentnog signala, čak i u slučajevima kada se komponente preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni.

U Zaključku su navedeni osnovni doprinosi teze i identifikovane teme budućih istraživanja u ovoj oblasti.

2. VREDNOVANJE DISERTACIJE

2.1 Problem

Rastuće količine podataka i težnja za njihovom efikasnijom i bržom akvizicijom, prenosom, skladištenjem i obradom dovele su do novih pristupa procesu akvizicije. Suočavanje sa ovim izazovima dovelo je do razvoja jedne nove klase akvizicionih tehnika, objedinjenih pod nazivom *kompresivno odabiranje* (*compressive sensing*). Neostajući podaci u signalima se mogu rekonstruisati, ukoliko je poznat transformacioni domen u kojem su signali rijetki, i ukoliko mjerne matrice, na bazi kojih se akvizicija vrši, zadovoljavaju određena ograničenja, koja garantuju mogućnost pronalazjenja jedinstvenog rješenja problema rekonstrukcije.

Identifikacija transformacionog domena u kojem su signali rijetki predstavlja poseban naučni izazov. Potrebno je poznavati karakteristike signala koji se rekonstruišu iz redukovanog skupa mjerenja. Određene specifičnosti koje su zajedničke za odgovarajuće klase signala, dovode to činjenice da signali koji pripadaju istoj klasi uglavnom dijele isti domen u kojem mogu biti reprezentovani sa malim brojem transformacionih koeficijenata, odnosno, u kojem se mogu reprezentovati kao rijetki. Tako digitalne slike imaju visoko koncentrisanu reprezentaciju u domenu dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije, digitalni audio u domenu jednodimenzione diskretne kosinusne transformacije, QRS kompleksi EKG signala imaju rijetku reprezentaciju u diskretnom Hermitskom domenu itd. Pored identifikacije odgovarajućih domena, istraživački naponi se ulažu u problematiku modifikacije postojećih, i razvoja novih transformacija, odnosno, mjernih matrica, koje bi omogućile poboljšanje stepena rijetkosti signala, odnosno, bolju koncentraciju signala.

Nedostajući odbirci, odnosno, redukovani skup mjerenja, dovode do pojave zanimljivih fenomena u domenima rijetkosti signala. Uticaj nedostajućih odbiraka se može modelovati aditivnim bijelim Gausovim šumom. Određivanje statističkih karakteristika ovog slučajnog procesa je vrlo značajno ali i izazovno, jer vodi do novih teorijskih zaključaka u vezi postupka kompresivnog odabiranja, rasvjetljava ograničenja i jasno kvantifikuje uticaj svih faktora koji utiču na proces rekonstrukcije, ali i na performanse rekonstrukcionih algoritama, tj. kvalitet rekonstruisanih signala. Navedena analiza jasno otvara mogućnost definisanja novih rekonstrukcionih algoritama. Dosadašnja praksa je, pokazala da se pri sprovođenju ovakve analize moraju uzeti u obzir specifičnosti razmatranih transformacionih domena.

Još jedan bitan problem u oblasti kompresivnog odabiranja jeste mogućnost predviđanja kvaliteta rezultata dobijenih primjenom algoritama za rekonstrukciju rijetkih signala i kvantifikacije uticaja različitih parametara na proces rekonstrukcije: stepena rijetkosti signala, broja dostupnih odbiraka, varijanse aditivnog šuma itd. Ovaj problem je u direktnoj vezi sa mogućnošću garantovanja jedinstvenosti rješenja problema rekonstrukcije. Izvođenje egzaktnih izraza za vjerovatnoće uspješne rekonstrukcije, zatim za energije grešaka u rekonstrukciji i uspostavljanje relacija sa važećom teorijom ključni su izazovi koji mogu dovesti do šire primjene koncepata kompresivnog odabiranja u praksi.

Razvoj novih pristupa za rekonstrukciju je podjednako važan izazov u oblasti. Mjere koncentracije, koje su osnov ovih rekonstrukcionih pristupa, mogu se koristiti i za poboljšanje

koncentracije signala, i rješavanje, na prvi pogled nepovezanih, ali ipak vrlo srodnih problema dekompozicije multikomponentnih signala u vremensko-frekvencijskoj analizi. Važno je spomenuti da je već decenijama identifikovan složen problem razdvajanja komponenti signala koje se preklapaju u vremensko-frekvencijskoj ravni, što onemogućava njihovu kvalitativnu analizu, i identifikaciju relevantnih parametara kao što je, na primjer, trenutna frekvencija. Na sličan način, izazovan problem rekonstrukcije krutog tijela radarske mete čije ubrzanje nije kompenzovano, takođe bi mogao biti riješen pristupom koji je zasnovan na mjerama koncentracije.

Estimacija trenutne frekvencije je višedecenijski izazov u vremensko-frekvencijskoj analizi. Uticaj jakog aditivnog šuma je nekada toliko velik, da je estimaciju nemoguće sprovesti konvencionalnim metodama. Stoga ova problematika i danas izaziva veliku pažnju naučne javnosti.

2.2 Ciljevi i hipoteze disertacije

Osnovni ciljevi disertacije su: sprovođenje analize uticaja nedostajućih odbiraka na različite transformacione domene, razvoj novih pristupa za rekonstrukciju signala i poređenje sa postojećim pristupima, razmatranje aspekata primjene kompresivnog odabiranja na realne signale, razvoj tehnika za poboljšanje koncentracije signala u transformacionim domenima, razmatranje uticaja aditivnog šuma, primjena mjera koncentracije signala u transformacionim domenima za rješavanje različitih problema u oblasti digitalne obrade signala, razvoj poboljšanih tehnika za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, primjena koncepata kompresivnog odabiranja i obrade rijetkih signala na probleme koji se javljaju u vremensko-frekvencijskoj analizi signala.

U fazi prijave doktorske teze identifikovani su sljedeći ciljevi:

- Predložiti algoritam za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom transformacionom domenu koji bi bio inspirisan metodom najbržeg spuštanja;
- Sprovesti analizu uticaja nedostajućih odbiraka signala na njegovu Hermitsku transformaciju, izvesti vjerovatnoću greške u detekciji transformacionih koeficijenata koji odgovaraju komponentama signala, zatim na bazi sprovedene analize definisati pragove za detekciju komponenti i tako izvedeni prag inkorporirati u algoritam za rekonstrukciju signala;
- Sprovesti analizu uticaja nedostajućih odbiraka signala na odgovarajuću diskretnu kosinusnu transformaciju, razmotriti rekonstrukciju signala koji nijesu rijetki a rekonstruisani su uz pretpostavku da su rijetki, ali i uticaj aditivnog šuma na proces rekonstrukcije;
- Izvršiti optimizaciju parametara Hermitske transformacije na bazi mjera koncentracije (rijetkosti) transformacionih koeficijenata, sa primjenom na kompresiju QRS kompleksa;
- Sprovesti analizu eksternog šuma na Hermitski transformacioni domen i naglasiti vezu sa uticajem nedostajućih odbiraka na isti domen;
- Razviti algoritam za estimaciju trenutne frekvencije nestacionarnih signala primjenom algoritma *Ant Colony Optimization* na Wigner-ovu distribuciju ovih signala;

- Izvršiti generalizaciju rezultata na domen dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije.

Komisija konstatuje da su svi navedeni ciljevi u potpunosti ispunjeni.

2.3 Bitne metode koje su primijenjene u disertaciji i njihova primjerenost; rezultati disertacije i njihovo tumačenje sa zaključcima

Teorija izložena u disertaciji polazi od fundamentalnih principa kompresivnog odabiranja, obrade rijetkih signala i vremensko-frekvencijske analize. Analiza uticaja nedostajućih odbiraka je sprovedena na osnovu bazične analize koja je ranije uvedena za Furijeov transformacioni domen, uvažavajući brojne specifičnosti i rješavajući izazove koje nose različiti transformacioni domeni. Svi izrazi su izvedeni, u skladu sa važećom i opšteprihvaćenom teorijom obrade signala, i evaluirani su numerički, eksperimentima koji su specijalno dizajnirani u skladu sa svim standardima koji se postavljaju pri pripremi publikacija za objavljivanje u vodećim međunarodnim časopisima iz ove oblasti.

Nakon uvođenja Hermitske transformacije i njenih diskretnih ekvivalenata, identifikovani su osnovni parametri koji imaju potencijalni uticaj na koncentraciju reprezentacije signala u ovim domenima. Nakon uvođenja formule za reodabiranje signala, u cilju uspostavljanja veze između uniformnog odabiranja i neuniformnog odabiranja u tačkama koje su proporcionalne nulama Hermitskog polinoma, uveden je koncept mjere koncentracije signala u Hermitskom domenu i definisan problem minimizacije ove mjere varijacijama faktora skaliranja vremenske ose. Nakon adekvatno uvedene teorije, prezentovan je algoritam za automatizovanu optimizaciju ovog parametra, inspirisan poznatim metodom najbržeg spuštanja. Dodatno je definisan problem optimizacije vremenskog pomjeraja signala u cilju minimizacije mjere koncentracije. Razmatrane optimizacije su testirane kroz primjere sa sintetičkim signalima, primjere sa komunikacionim UWB signalom, primjere sa QRS kompleksima i T-talasima EKG signala. Sveobuhvatna evaluacija predloženog pristupa obavljena je kroz opsežni eksperiment sa realnim EKG signalima dostupnim iz *online* baze „MIT-BIH Compression Test Database”, gdje je razmatrano ukupno 1486 eksperimentalno dobijenih QRS kompleksa, koji su komprimovani korišćenjem predloženog pristupa. Zahtjev koji je bio postavljen, a koji je u skladu sa zahtjevima iz sličnih eksperimenata u literaturi, jeste da signali rekonstruisani iz komprimovane reprezentacije imaju grešku koja je manja od 10% u odnosu na originalne signale. Predloženi pristup je upoređen sa konkurentnim kompresionim algoritmima zasnovanim na DFT-u, DCT-u i drugim pristupom sa Hermitskom transformacijom. Predloženi algoritam je, sa stanovišta kompresije, dao poboljšanje od 13.8% u odnosu na najefikasnije postojeće metode. Poboljšanje je bilo evidentno i u slučaju razmatranja prosječnog broja bita po odbirku potrebnom za njegovu reprezentaciju. Ovi opsežni numerički eksperimenti su jasno i nedvosmisleno potvrdili da predloženi algoritam za optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije ima veliki potencijal za primjenu u praksi, i da se može koristiti za poboljšanje koncentracije signala u ovom transformacionom domenu.

Uticaj aditivnog šuma na diskretnu Hermitsku transformaciju zasnovanu na Gaus-Hermitskoj kvadraturi je analiziran kroz izvođenje izraza za varijansu Hermitskih koeficijenata zašumljenog signala. Izrazi za varijansu su numerički potvrđeni kroz eksperiment sa realnim UWB signalom kod kojeg je varijansa ulaznog aditivnog šuma varirana u opsegu od 10^{-6} do 1. Numerički i teorijski rezultati pokazuju potpuno poklapanje. Izraz za varijansu je verifikovan i kroz eksperiment sa 10000 nezavisnih realizacija šuma koji zahvata UWB signal, čija je varijansa fiksna, tako da daje SNR od 5 dB. U disertaciji je prezentovan veći broj primjera koji potvrđuju efikasnost algoritma za uklanjanje šuma zasnovanog na *hard-thresholding*-u, koji koristi izvedeni izraz za varijansu. Algoritam je upoređen sa konkurentnim metodama za uklanjanje šuma koji su zasnovani na DFT-u, DCT-u, DWT-u, i sa tzv. SASS algoritmom zasnovanim na sparsifikaciji EKG signala. Dobijena srednja kvadratna greška, u slučaju eksperimenta sa realnim EKG signalom i realnim UWB signalom dala je poboljšanje koje je za SNR od 0dB iznosilo i do 10dB, osim u slučaju SASS algoritma, koji je za QRS kompleks dao nešto bolje rezultate za SNR vrijednosti veće od 0dB.

Uticaj nedostajućih odbiraka na Hermitske transformacione koeficijente se manifestuje kao aditivni šum u transformacionom domenu. U radu su izvedeni eksplicitni izrazi za varijanse i srednje vrijednosti ovog šuma. Pokazano je da varijansa zavisi od Hermitskog indeksa komponente signala, i teorijski model je eksperimentalno evaluiran. Gausova raspodjela Hermitskih koeficijenata je verifikovana kroz eksperimentalno dobijene histograme nastale na osnovu većeg broja realizacija signala sa slučajno pozicioniranim nedostajućim odbircima, koji se potpuno poklapaju sa odgovarajućim teorijskim modelima. Eksperimentalno je potvrđeno da teorijski izrazi za varijansu u poređenju sa numeričkim rezultatima daju grešku reda veličine 10^{-9} , u slučaju jednokomponentnog signala dužine 200 i 400 odbiraka, čiji je broj slučajno raspoređenih dostupnih odbiraka variran od 1 do zadate dužine signala. Eksperiment je sproveden usrednjavanjem rezultata dobijenih za 7000 nezavisnih realizacija signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. Izrazi za varijansu u slučaju Hermitskih koeficijenata na pozicijama koje ne odgovaraju i pozicijama koje odgovaraju komponentama signala su dodatno provjereni kroz eksperiment sa signalom dužine 200 odbiraka, koji ima 5 komponenti. Broj dostupnih odbiraka je variran između 1 i 200. Varijanse su dobijene usrednjavanjem rezultata dobijenih za veći broj nezavisnih realizacija razmatranog signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. Izvedeni izrazi za vjerovatnoću greške u rekonstrukciji nedostajućih odbiraka signala koji su rijetki u domenu diskretne Hermitske transformacije su takođe numerički verifikovani kroz eksperiment sa petokomponentnim signalom, čije komponente imaju različite amplitude. U svim slučajevima, eksperimentalno dobijeni rezultati se u velikoj mjeri poklapaju sa teorijski izvedenim izrazima. Na sličan način je numerički testiran i teorijski izvedeni prag koji služi za razdvajanje Hermitskih koeficijenata koji odgovaraju komponentama signala, od onih koji ne odgovaraju. U zavisnosti od broja dostupnih odbiraka: 56, 108, 154, 176, za signal dužine 200 odbiraka, prag uspijeva da razdvoji dvije, tri, četiri ili pet komponenti (petokomponentnog) signala od ostalih koeficijenata (šuma), u skladu sa izvedenim izrazom za vjerovatnoću ovog razdvajanja. Na osnovu prezentovane analize, predstavljen je MP algoritam zasnovan na pragu u kojem figuriše izvedeni izraz za varijansu koeficijenata koji dogovaraju šumu kompresivnog odabiranja. Ovaj algoritam je, kroz eksperiment sa realnim UWB signalom upoređen sa OMP algoritmom, sa stanovišta greške u rekonstrukciji, vremena izvršavanja i broja

prosječnih iteracija. Evidentno manji broj iteracija i kraće vrijeme izvršavanja, u odnosu na OMP algoritam postoji dok god su ispunjeni uslovi za rekonstrukciju. Za razmatrani signal, to je bilo u slučaju kada je broj dostupnih odbiraka veći ili jednak 50. Poređenje je sprovedeno na bazi 500 nezavisnih realizacija signala sa slučajno raspoređenim dostupnim odbircima. U disertaciji je prezentovan i primjer uspješne rekonstrukcije razmatranog UWB signala, ali i sintetičkog signala koji je zahvaćen jakim aditivnim šumom. Konačno, izvršena je numerička evaluacija izraza za SNR rekonstrukcije i izraza za energiju greške u rekonstrukciji signala koji je samo aproksimativno rijedak u domenu razmatrane diskretne Hermitske transformacije. U prvom slučaju je posmatran trokomponentni signal rijedak u Hermitskom domenu, čije komponente imaju tri različite amplitude, 1, 0.9 i 0.6. Signalu je dodat aditivni bijeli Gausov šum srednje vrijednosti 0 i varijanse 0.1. Signal je kompresivno odabran, tako da je broj dostupnih mjerenja 60, 120, 180 i 240. Rezultati rekonstrukcije su dobijeni na bazi 500 realizacija signala sa nezavisnim, slučajno raspoređenim odbircima i slučajnim realizacijama aditivnog šuma. Dobijeni SNR rekonstruisanog signala je upoređen sa teorijskim izrazom, nedvosmileno potvrđujući njegovu tačnost. Izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji je aproksimativno rijedak u domenu Hermitske transformacije je takođe evaluiran numeričkim eksperimentom u kojem je variran pretpostavljeni stepen rijetkosti signala, koji ima 128 od 256 slučajno raspoređenih dostupnih odbiraka. Teorijski i eksperimentalni rezultati se dobro poklapaju.

U slučaju analize uticaja nedostajućih odbiraka signala na koeficijente diskretne kosinusne transformacije, sproveden je takođe veći broj numeričkih eksperimenata, koji su po osnovnoj postavci i sveobuhvatnosti slični ekperimentima koji su korišćeni za slučaj diskretne Hermitske transformacije. To se odnosi na eksperimente za evaluaciju izraza za varijansu transformacionih koeficijenata, numeričku potvrdu njihove Gausovske prirode kroz primjer sa histogramima, zatim eksperiment za evaluaciju izraza za rekonstrukciju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki, a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti itd. Navedeni primjeri i eksperimenti potvrđuju validnost teorijskih doprinosa. Komisija na ovom mjestu, skreće posebnu pažnju na set primjera i eksperimenata sa realnim audio signalima. Algoritam za rekonstrukciju iz konteksta kompresivnog odabiranja je primijenjen na rekonstrukciju audio signala koji su oštećeni jakim impulsnim smetnjama. Pored tri izdvojena primjera koji jasno potvrđuju validnost izvedenog izraza za energiju greške u rekonstrukciji signala, imajući u vidu visok stepen poklapanja teorijskog izraza i numeričkih rezultata (audio signali su aproksimativno rijetki u DCT domenu), Posebno naglašavamo eksperiment opisan u odjeljku 3.1.8 doktorske disertacije. Razmatra se set od 10 muzičkih signala odabranih na 16 kHz, 10 govornih signala odabranih na 16 kHz i 10 govornih signala odabranih na 8 kHz. Ovi signali su zahvaćeni, kroz dva opsežna eksperimenta (a) impulsnim smetnjama na slučajnim pozicijama i (b) implusnim smetnjama koje se javljaju u slučajno pozicioniranim blokovima signala. Nakon detekcije impulsnih smetnji, oštećene pozicije su proglašene za pozicije nedostupnih odbiraka, i sprovodi se rekonstrukcija algoritmom koji je predložen u ovoj glavi teze. Pokazan je visok stepen poklapanja izraza za grešku, sa numerički dobijenim rezultatima u oba opsežna eksperimenta. Rekonstrukcija signala se sprovodila u blokovima od po 500 odbiraka. Zatim su rekonstrukcioni rezultati upoređeni sa konkurentnim metodama: median filtrima dužine 3 i 5, niskopropusnim filtrima Butterworth-ovog tipa sa različitim (signalima prilagođenim) parametrima,

specijalizovanim tehnikama za rekonstrukciju ovih signala – LSAR i LSAR+SIN, kao i sa LASSO algoritmom iz konteksta kompresivnog odabiranja. Rezultati su upoređeni sa stanovišta srednje kvadratne greške MSE, i objektivnih mjera perceptualnog kvaliteta PEMO-Q u slučaju muzičkih, i PESQ u slučaju govornih signala. Predloženi algoritam je za većinu razmatranih signala pokazao superiornost po svim razmatranim kriterijumima.

U disertaciji je predstavljena i analiza uticaja nedostajućih piksela u digitalnoj slici na odgovarajuće koeficijente dvodimenzione DCT. Pored numeričke evaluacije izvedenog izraza za varijansu transformacionih koeficijenata, predstavljen je i set numeričkih eksperimenata za validaciju izvedenog izraza za grešku u rekonstrukciji kompresivno odabranih digitalnih slika. Rezultati prezentovani za kolornu sliku „Lena”, sivoskaliranu sliku „Barbara” i za niz od 8 sivoskaliranih slika razmatranih u eksperimentalnoj analizi pokazuju visok stepen poklapanja izvedenog izraza i numerički dobijenih srednjih kvadratnih grešaka.

Efikasnost predloženih pristupa u posljednjoj glavi disertacije testirana je kroz više primjera. Navedeno uključuje primjer sa uspješnom estimacijom trenutne frekvencije složenoharmonijski modulisanog FM signala u slučaju aditivnog šuma od -2 dB, primjer rekonstrukcije krutog tijela ISAR mete sa nekompensovanim ubrzanjem, primjenom algoritma za kompenzaciju kretanja koji je zasnovan na minimizaciji mjere koncentracije vremensko-frekvencijske reprezentacije, i konačno, niz primjera koji ilustruju efikasnost postupka dekompozicije multikomponentnih multivarijantnih signala. Uspješna dekompozicija je ilustrovana na primjeru: bivarijantnog realnog signala, bivarijantnog dvokomponentnog signala, multivarijantnog (četvorokanalnog) trokomponentnog signala i konačno, petokomponentnog trokanalnog nezašumljenog i zašumljenog signala. Prezentovani rezultati ukazuju da algoritam za dekompoziciju obezbjeđuje potpunu rekonstrukciju izdvojenih komponenti svih razmatranih signala.

3. KONAČNA OCJENA DISERTACIJE

Doktorska disertacija kandidata mr Miloša Brajovića sadrži originalne i značajne naučne doprinose, pritom predstavljajući skladnu, jezički i tehnički korektno oblikovanu cjelinu, koja ispunjava savremene zahtjeve i standarde izrade publikacija ovog tipa.

Prilikom izrade disertacije, kandidat je pokazao odličan stepen poznavanja razmatrane problematike. U skladu sa ustaljenom metodologijom naučno-istraživačkog rada, kandidat je jasno postavio očekivane ciljeve, i u svrhu njihovog postizanja primijenio adekvatne istraživačke metode, polazeći od dostupne literature i poznatih tehnika. Sve ostvarene teorijske rezultate je na adekvatan način verifikovao odgovarajućom eksperimentalnom analizom, zasnovanom na primjerima sa sintetičkim i realnim signalima. Ostvarene rezultate je egzaktno, kritički nastrojeno i sveobuhvatno uporedio sa konkurentnim tehnikama, jasno obrazlažući odgovarajuće prednosti i nedostatke. Kandidat je sve teorijske i eksperimentalne doprinose čvrsto povezao sa važećom teorijom u razmatranim oblastima.

Ciljevi koji su definisani prilikom prijave doktorske teze su ostvareni. Tokom implementacije zadatih ciljeva, kandidat je u kontinuitetu uspješno identifikovao nove istraživačke izazove, i pokazao zavidnu sposobnost sprovođenja naučno-istraživačke djelatnosti sa visokim stepenom samostalnosti.

Cjelokupno izlaganje u disertaciji sadrži potrebne detalje koji su neophodni za eventualnu reprodukciju svih prezentovanih eksperimentalnih rezultata. Primijenjeni algoritmi su definisani sa svim potrebnim parametrima, razmatrani eksperimenti sadrže detaljan opis postavke, analiziranih signala, njihovih karakteristika i porijekla. Svi simulirani signali su egzaktno opisani tako da ih je moguće generisati u slučaju ponavljanja eksperimenata. Sva eventualna ograničenja i specifičnosti eksperimenata su eksplicitno naznačeni u njihovom opisu i/ili prezentaciji rezultata.

Predložene teorijske analize i uvedeni algoritmi rasvjetljavaju mnoge bitne fenomene i rješavaju poznate probleme u oblastima kompresivnog odabiranja, rekonstrukcije rijetkih signala i vremensko-frekvencijske analize. Uspješnost primjene u obradi realnih signala, uključujući biomedicinske, komunikacione signale, digitalne slike i audio signale daju dodatnu težinu prezentovanim rezultatima. Sprovedena istraživanja su otvorila mnoge nove istraživačke izazove i stvorile prostor za buduće doprinose u predmetnim oblastima, uključujući:

- mogućnost proširivanja teorije na diskretnu Hermitsku transformaciju drugog tipa (koja je u disertaciji označena kao DHT2);
- razmatranje rekonstrukcije signala koji se odabiraju mimo uniformnog vremenskog grida;
- razmatranje aspekata primjene algoritma za dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala na EKG, telekomunikacione i druge realne signale;
- razmatranje primjene drugih optimizacionih tehnika u cilju dekompozicije multikomponentnih signala koja je zasnovana na mjerama koncentracije;
- razmatranje uticaja kvantizacije na rekonstrukciju u kontekstu kompresivnog odabiranja;
- razmatranje mogućnosti rekonstrukcije signala koji nijesu na frekvencijskom gridu DFT-a,
- proširivanje razmatranih teorijskih koncepata na obradu tzv. signala na grafovima.

4. ORIGINALNI NAUČNI DOPRINOS

Primarna problematika koja se razmatra u disertaciji jeste analiza rekonstrukcije signala sa rijetkom reprezentacijom u različitim transformacionim domenima: Furijeovom, Hermitskom, domenu jednodimenzione i dvodimenzione diskretne kosinusne transformacije i vremensko-frekvencijskim domenima kao što je kratkotrajna Furijeova transformacija. Ključni koncept mjera koncentracije, odnosno mjera rijetkosti signala, na kojima je ova rekonstrukcija zasnovana, primijenjen je na optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije, analizu i uklanjanje aditivnog šuma iz signala sa visokom koncentracijom u ovom domenu, kao i na dekompoziciju multikomponentnih multivarijantnih signala. Razmatranja o vremensko-frekvencijskim domenima upotpunjena su i analizom estimacije trenutne frekvencije u uslovima jakog aditivnog šuma, gdje je predložen i originalni algoritam za estimaciju zasnovan na Wigner-

ovoj distribuciji. U pogledu originalnog naučnog doprinosa, Komisija posebno izdvaja rezultate koji su publikovani kroz 8 radova u časopisima (SCI/SCIE lista sa visokim IMPACT faktorima):

- Koncept mjera koncentracije iz konteksta kompresivnog odabiranja je primijenjen na razvoj algoritama za optimizaciju parametara diskretne Hermitske transformacije. Posebno važan doprinos jeste razmatranje primjene u kompresiji QRS kompleksa, specifičnih djelova EKG signala sa bitnom primjenom u medicinskoj dijagnostici i liječenju.
- Predstavljena je originalna analiza uticaja aditivnog šuma na koeficijente diskretne Hermitske transformacije zasnovane na Gaus-Hermitskoj kvadraturnoj formuli. Na osnovu analize, predložen je jednostavan, ali efikasan pristup za uklanjanje aditivnog šuma, uz posebno razmatranje primjena u kontekstu realnih biomedicinskih EKG signala i komunikacionih UWB signala. Analiza je inkorporirana u algoritam za rekonstrukciju signala iz konteksta kompresivnog odabiranja.
- Predstavljena je originalna i detaljna teorijska analiza uticaja nedostajućih odbiraka na Hermitske transformacione koeficijente, data je probabilistička analiza procesa rekonstrukcije, analiziran je uticaj aditivnog šuma na proces rekonstrukcije i izveden je egzaktni izraz za grešku u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki, a koji su rekonstruisani uz pretpostavku o rijetkosti. Razvijena su dva nova pristupa rekonstrukciji, i njihove performanse upoređene sa konkurentnim pristupima u ovoj oblasti.
- Uveden je gradijentni pristup za rekonstrukciju signala koji su rijetki u Hermitskom domenu, inspirisan metodom najbržeg spuštanja. Posebno je razmatrana primjena na kompresivno odabiranje QRS kompleksa.
- Predstavljena je originalna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na rekonstrukciju signala rijetkih u domenu Diskretne kosinusne transformacije (DCT), kao i analiza performansi različitih algoritama za rekonstrukciju signala na osnovu redukovanog skupa dostupnih odbiraka (mjerenja).
- Izvršena je detaljna analiza uticaja nedostajućih odbiraka na transformacione koeficijente dvodimenzionalne diskretne kosinusne transformacije, i izveden je egzaktni izraz za energiju greške u rekonstrukciji signala koji nijesu rijetki u ovom domenu, a rekonstruisani su uz pretpostavku o rijetkosti. Razmatranje je od posebne važnosti za primjenu u rekonstrukciji digitalnih slika primjenom algoritama kompresivnog odabiranja.
- Predložen je novi algoritam za estimaciju trenutne frekvencije u uslovima izloženosti signala jakom aditivnom šumu. Algoritam je zasnovan na Wigner-ovoj distribuciji i optimizacionom pristupu poznatom pod nazivom Optimizacija mravlje kolonije. Wigner-ova distribucija predstavlja Furijeovu transformaciju specifično definisane autokorelacione funkcije.
- Mjere koncentracije signala u vremensko-frekvencijskoj ravni poslužile su kao osnov za razvoj algoritma za dekompoziciju multivarijantnih multikomponentnih signala. Predloženi pristup omogućava izdvajanje nestacionarnih komponenti signala uprkos njihovom preklapanju u vremensko-frekvencijskoj ravni, što predstavlja značajan prilog rješavanju problema koji se već više decenija smatra značajnim izazovom u oblasti vremensko-frekvencijske analize signala.

5. MIŠLJENJE I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu izloženog, Komisija je mišljenja da doktorska disertacija kandidata mr Miloša Brajovića ispunjava sve formalne, pravne i suštinske uslove, kao i sve standarde i kriterijume koji se primjenjuju prilikom vrednovanja doktorskih disertacija u oblasti tehničkih nauka. Izloženi istraživački rezultati predstavljaju značajne i originalne naučne doprinose u oblasti digitalne obrade signala. Naučni doprinosi su verifikovani publikovanjem osam radova u eminentnim međunarodnim naučnim časopisima (SCI/SCIE lista sa visokim IMPACT faktorima).

Uzimajući u obzir navedene činjenice, uz poseban osvrt na kvalitet i obim prezentovanih rezultata, Komisija sa zadovoljstvom predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da prihvati doktorsku disertaciju pod nazivom „*Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu*“, kandidata mr Miloša Brajovića i odobri njenu javnu usmenu odbranu.

25.12.2018. godine

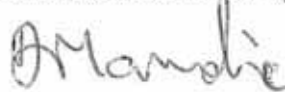
Komisija:



Prof. dr Ljubiša Stanković,
Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet



Prof. dr Miloš Daković,
Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet



Prof. dr Danilo Mandić,
Department of Electrical and Electronic Engineering,
Faculty of Engineering, Imperial College London

Prof. dr Ljubiša Stanković

BIOGRAFIJA

Ljubiša Stanković je rođen 1. juna 1960. godine. Osnovnu školu je učio u Murini i Ivangradu. U Ivangradu je završio Gimnaziju, kao najbolji učenik u generaciji. Kao srednjoškolac je bio prvi na republičkom takmičenju iz matematike i osvojio zlatnu medalju na smotri omladine tehničkih stvaralaca Jugoslavije.

Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore je upisao 1978. i diplomirao nakon 3 godine i 9 mjeseci sa prosjekom 9,98. Kao student dva puta je učestvovao na Susretima studenata elektrotehnike Jugoslavije (1980. i 1982.) i oba puta osvojio prvo mjesto na takmičenju iz matematike. Dobitnik je zlatne plakete Univerziteta kao najbolji diplomirani student za 1982. godinu, a te iste godine je bio proglašen i za najboljeg studenta u Crnoj Gori.

Stanković je magistrirao 1984. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na smjeru Telekomunikacije sa prosjekom 10. Kao dobitnik Fulbrightove stipendije, boravio je školske 1984/85 na Worcester Polytechnic Institutu, SAD, gdje je položio sve ispite na doktorskim studijama sa najvišom ocjenom A i bio izabran za predavača. Doktorirao je 1988. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici u oblasti prostiranja i zračenja elektromagnetnih talasa.

Stanković od diplomiranja 1982. radi na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore. U zvanje redovnog profesora univerziteta je izabran 1995. godine. Stanković je bio član Jugoslovenske inženjerske akademije, član je Inženjerske akademije Crne Gore, čiji je bio i prvi predsjednik. Od 1996. Stanković je član Crnogorske akademije nauka i umjetnosti (CANU). Član je Evropske akademije nauka i umjetnosti (European Academy of Sciences and Arts) od 2011. godine. Član je Academia Europaea od 2013. Stanković je u dva mandata bio izabran na funkciju rektora Univerziteta Crne Gore za period 2003.-2005. i 2005.-2008. godine. Stanković je član International Advisory Boarda Alexander von Humboldtove fondacije od 2016. godine.

Uz podršku Alexander von Humboldtove fondacije, Stanković je u periodu 1997/98, 1999 i 2002 boravio na Rurskom Univerzitetu u Bochumu, u Njemačkoj. Pocetkom 2001. godine je boravio na Tehničkom Univerzitetu u Eindhovenu, Holandija, kao visiting profesor. Više puta je boravio na univerzitetima u Brestu i Grenoblu, Francuska, radeći na zajedničkim projektima. Stanković je bio mentor i član brojnih komisija za odbranu doktorata uključujući i doktorate u Holandiji, Australiji, Francuskoj i Indiji, a tokom 2012/2013 godine je bio visiting akademik na Imperial Collegeu u Londonu, UK. U periodu 2001-2003 naučno-istraživački rad grupe na Univerzitetu Crne Gore, kojom rukovodi Stanković, je podržan od strane Volkswagenove fondacije, SR Njemacka. U periodu od 2003-2013 naučni rad Stankovića, u oblasti obrade radarskih signala, je finansiran i od strane Ministarstva odbrane, odjel za istraživanje i razvoj, Vlade Kanade. Intenzivno saradjuje na istraživanju sa kolegama iz mnogih zemalja širom svijeta.

Stanković je bio član IEEE Komiteta za teoriju i metode u obradi signala od 2002. do 2008. godine, kao i član Komiteta za Visoko obrazovanje Savjeta Evrope. Stanković je bio jedan od urednika i u časopisima IEEE Signal Processing Letters, IEEE Transactions on Image Processing i IEEE Transactions on Signal Processing. Sada je član redakcija časopisa IEEE Transactions on Image Processing (u zvanju senior area editor), Signal Processing (u izdanju Elseviera) i IET Signal Processing.

Stanković je 1997. godine dobio najvišu nacionalnu nagradu "13. jul".

Stanković je bio aktivan i u političkom životu Crne Gore. Bio je profesionalni član Predsjedništva Crne Gore (1989-1991), predsjednik Socijalističke partije Crne Gore (1990-1993), predsjedavajući Demokratskog foruma, kao prvog stalnog višestranačkog tijela formiranog 10. januara 1990. uz učešće svih partija i drugih političkih organizacija i udruženja, koji je imao zadatak da stvori zakonske i adaminstartivne pretpostavke za održavanje prvih višestranačkih izbora u Crnoj Gori. Stanković je bio predsjednik Saveza reformskih snaga za

Crnu Goru (1990-1992) i kandidat za predsjednika Crne Gore ovog Saveza na prvim višestranačkim izborima održanim 9. decembra 1990. godine, poslanik u Skupštini Crne Gore (1991-1992) i poslanik u Skupštini Jugoslavije (1992-1996). Stanković je u periodu od 2011. do 2015. godine obavljao dužnost ambasadora Crne Gore u Ujedinjenom Kraljevstvu Velike Britanije i Sjeverne Irske, kao i ambasadora Crne Gore na Islandu i u Republici Irskoj.

U jednom periodu, sredinom osamdesetih, se bavio umjetničkom fotografijom, gdje je takodje imao zapažena ostvarenja na izložbama u Crnoj Gori i širom bivše Jugoslavije.

Stanković je objavio veliki broj naučnih radova, od kojih preko 150 u vodećim svjetskim časopisima. Radovi su mu citirani oko 7500 puta, sa h indeksom citiranosti 46. Primjena i razrada metoda koje je on definisao je bila tema mnogih radova objavljenih u najrenomiranijim svjetskim časopisima od strane vodećih naučnika u oblasti obrade signala iz Evrope, Amerike, Australije i Azije. Poznati profesori iz SAD su u svom radu o estimacijama spektra diskretnih signala sve estimatore podijelili u dvije klase od koji su jednu imenovali po tvorcima algoritama za brzu Fourierovu transformaciju, a drugu su predstavili kao varijacije na Stankovićevu klasu estimatora. U dva teksta koje je vodeće svjetsko udruženje u oblasti obrade signala, IEEE Signal Processing Society, objavilo povodom 50 godina postojanja citirani su doprinosi Stankovića po imenu. Za doprinose u nauci najveće svetsko udruženje u oblasti elektrotehnike IEEE sa sjedištem u New Yorku mu je dodijelilo najviše zvanje Fellow IEEE.

Pored brojnih naučnih radova objavljenih u vodećim časopisima i poglavlja u referentnim knjigama svjetskih izdavača, Stanković je, između ostalog, u SAD objavio udžbenik "Time-Frequency Signal Analysis with Applications" (668 strana) u izdanju jedne od vodećih izdavačkih kuća u svijetu, Artech House, Boston, SAD, 2013. Objavio je poglavlje od 120 strana u referentnoj monografiji Academic Press Library in Signal Processing, objavljenoj 2013. od strane Academic Pressa. Po pozivu je napisao poglavlje "Sparse Signal Processing - An Introduction" za Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, John Wiley and Sons, izdanje od 2017. godine. Stanković po pozivu upravo piše knjigu na temu grafova i frekvencijske analize za izdavačku kuću Springer. Knjiga će se pojaviti do kraja 2018. godine.

Za rad objavljen u časopisu Signal Processing, u izdanju Elseviera, Stanković je 2017. dobio godišnju nagradu Evropske Asocijacije za Obradu Signala (EURASIP) za najbolji rad objavljen u časopisu u oblasti obrade signala.

Od 2016. godine Stanković je potpredsjednik Crnogorske akademije nauka i umjetnosti.

Više detalja i kompletan spisak referenci se mogu naći na adresi:

http://www.tfsa.ac.me/ljubisa_papers.html

DESET REFERENCI

- [1] L.J. Stanković, E. Sejdić, and M. Daković, "Vertex-Frequency Energy Distributions," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol: 25, Issue: 3, March 2018, pp. 358 - 362, (ISSN: 1070-9908, DOI: 10.1109/LSP.2017.2764884)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8078234>

SCI lista:

[http://mjl.clarivate.com/cgi-](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Letters)

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Letters](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Letters)

- [2] L.J. Stanković, M. Daković, I. Stanković, and S. Vujović, "On the Errors in Randomly Sampled Nonsparse Signals Reconstructed with a Sparsity Assumption," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol: 14, Issue: 12, Dec. 2017, pp. 2453 - 2456, (ISSN: 1545-598X, DOI: 10.1109/LGRS.2017.2768664)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8110831>

SCI lista:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Geoscience%20and%20Remote%20Sensing%20Letters](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Geoscience%20and%20Remote%20Sensing%20Letters)

- [3] LJ. Stanković, M. Daković, and E. Sejdić, "Vertex-Frequency Analysis: A Way to Localize Graph Spectral Components," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.34, No. 4, July 2017, pp. 176-182 (Print ISSN: 1053-5888, Electronic ISSN: 1558-0792, DOI: 10.1109/MSP.2017.2696572)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7974871>

SCI lista:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Magazine](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Magazine)

- [4] LJ. Stanković, "On the STFT Inversion Redundancy," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, 10.1109/TCSII.2015.2482438, Vo.63, No.3, March 2016, pp.284-288. (Print ISSN: 1549-7747, Electronic ISSN: 1558-3791, DOI: 10.1109/TCSII.2015.2482438)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7277057>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=*1549-7747

- [5] Djurović, and LJ. Stanković, "XWD-algorithm for the instantaneous frequency estimation revisited: Statistical analysis," *Signal Processing*, vol. 94, 2014, pp. 642-649. (ISSN: 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2013.07.030>)

Link na rad:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168413003095>

SCI lista:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing)

- [6] LJ. Stanković, S. Stanković, I. Orović, and M. Amin, "Robust Time-Frequency Analysis based on the L-estimation and Compressive Sensing," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 20, No. 5, pp. 499-502, (ISSN: 1070-9908, DOI: 10.1109/LSP.2013.2252899)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/6479684>

SCI lista:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Letters](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Letters)

- [7] LJ. Stanković, T. Thayaparan, and I. Djurović, "Separation of Target Rigid Body and Micro-Doppler Effects in ISAR Imaging," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol 42, No. 7, Oct. 2006, pp. 1496-1506 (Print ISSN: 0018-9251, Electronic ISSN: 1557-9603, CD-ROM ISSN: 2371-9877, DOI: 10.1109/TAES.2006.314590)
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/4108000>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*Aerospace
(rezultat sa rednim brojem 8)
- [8] LJ. Stanković, T. Thayaparan, and M. Daković, "Signal Decomposition by Using the S-Method with Application to the Analysis of HF Radar Signals in Sea-Clutter," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.54, No.11, Nov. 2006, pp.4332- 4342 (Print ISSN: 1053-587X, Electronic ISSN: 1941-0476, DOI: 10.1109/TSP.2006.880248)
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/1710379>
SCI lista:
<http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing>
- [9] Djurović, and LJ. Stanković, "Modification of the ICI rule based IF estimator for high noise environments," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 52, No.9, 2004, pp. 2655-2661(Print ISSN: 1053-587X, Electronic ISSN: 1941-0476, DOI: 10.1109/TSP.2004.832030)
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/1323271>
SCI lista:
<http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing>
- [10] LJ. Stanković, T. Alieva, and M. J. Bastiaans, "Time-frequency signal analysis based on the windowed fractional Fourier transform," *Signal Processing*, Vol.83, No.11, Nov.2003, pp.2459-2468 (ISSN: 0165-1684, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(03\)00197-X](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(03)00197-X))
Link na rad:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016516840300197X>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing



UNIVERZITET CRNE GORE

81001 PODGORICA Cetinjski put bb, P. Fah 99, Jugoslavija
Tel: (38 81) 14-484 Fax: (38 81) 11-301

Broj: 01-437
Podgorica, 16.06.1995.

Na osnovu člana 97. Zakona o Univerzitetu ("Sl. list RCG" br. 37/92) i člana 94. Statuta Univerziteta Crne Gore, Naučno-nastavno vijeće Univerziteta Crne Gore na sjednici održanoj 8.06.1995. donijelo je

ODLUKU o izboru u zvanje

Dr LJUBIŠA STANKOVIĆ bira se u zvanje
redovnog profesora Univerziteta Crne
Gore za predmet Digitalna obrada signala
za rad na neodredjeno vrijeme sa punim radnim vremenom na
Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici.

PRAVNA POUKA: *Protiv ove Odluke lica koja smatraju da su im povrijeđena prava imaju pravo žalbe Naučno-nastavnom vijeću Univerziteta Crne Gore u roku od 15. dana.*

REKTOR,

Prof. dr Ratko Djukanović

Prof. dr Miloš Daković

BIOGRAFIJA

Miloš Daković je rođen 1970. godine u Nikšiću, Crna Gora. Diplomirao je 1996., magistrirao 2001. i doktorirao 2005. godine, na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore. Vanredni je profesor na Univerzitetu Crne Gore od 2011. godine.

Učestvovao je u više od 10 naučno-istraživačkih projekata finansiranih od strane Volkswagen fondacije, crnogorskog Ministarstva nauke i kanadske vlade (DRDC). Recenzent je u više međunarodnih časopisa, među kojima su: IEEE Transactions on Signal Processing, IEEE Signal Processing Letters, IEEE Transactions on Image Processing, IET Signal Processing, Signal processing i Geoscience and Remote Sensing Letters.

Dosadašnji naučno-istraživački rad profesora Dakovića rezultovao je objavljivanjem blizu 150 radova, od čega je oko 50 u vodećim međunarodnim časopisima, uključujući i poglavlja u knjigama renomiranih izdavača. Koautor je knjige *Time-Frequency Signal Analysis with Applications* čiji je izdavač Artech House, Boston.

Oblasti njegovog naučno-istraživačkog interesovanja su: obrada signala, vremensko-frekvencijska analiza signala, obrada radarskih signala i compressive sensing.

Dr Daković je dobitnik Godišnje nagrade za naučna dostignuća u 2015. godini, u kategoriji pronalazač – inovator za najuspješnije inovativno rješenje, koju uručuje Vlada Crne Gore.

Više detalja i kompletan spisak referenci može se pronaći na sajtu http://www.tfsa.ac.me/milos_papers.html.

DESET REFERENCI

1. LJ. Stanković, E. Sejdić, and M. Daković, "Reduced Interference Vertex-Frequency Distributions," *IEEE Signal Processing Letters*, vol 25, no.9, Sept., 2018, pp. 1393-1397. (ISSN: 1070-9908 DOI 10.1109/LSP.2018.2860250)

Link na rad:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8421033>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*Signal%20Processing%20letters

2. I. Stanković, C. Ioana, and M. Daković, "On the reconstruction of nonsparse time-frequency signals with sparsity constraint from a reduced set of samples," *Signal Processing*, vol. 142, January 2018, pp. 480-484, (ISSN: 0165-1684, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.07.036>)

Link na rad:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168417302827?via%3Dihub>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing

3. L.J. Stanković, S. Stanković, and **M. Daković**, "From the STFT to the Wigner distribution," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 31, No. 3, May 2014, pp. 163-174 (ISSN: 1053-5888, DOI: 10.1109/MSP.2014.2301791)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6784080&queryText=From%20the%20STFT%20to%20the%20Wigner%20distribution&newsearch=true>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Signal%20Processing%20Magazine

4. L.J. Stanković, **M. Daković**, and S. Vujović, "Adaptive Variable Step Algorithm for Missing Samples Recovery in Sparse Signals," *IET Signal Processing*, vol. 8, no. 3, pp. 246 -256, 2014. (ISSN: 1751-9675, DOI: 10.1049/iet-spr.2013.0385)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6817404&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F4159607%2F6816971%2F06817404.pdf%3Farnumber%3D6817404>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IET%20Signal%20Processing

5. L.J. Stanković, **M. Daković**, T. Thayaparan, and V. Popović-Bugarin, "Inverse Radon Transform Based Micro-Doppler Analysis from a Reduced Set of Observations," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 51, No. 2, April 2015. (ISSN: 0018-9251, DOI: 10.1109/TAES.2014.140098)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7126172&newsearch=true&queryText=Inverse%20Radon%20Transform%20Based%20Micro-Doppler%20Analysis%20from%20a%20Reduced%20Set%20of%20Observations>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*Aerospace
(rezultat sa rednim brojem 8)

6. L.J. Stanković, **M. Daković**, and T. Thayaparan, "A Real-Time Time-Frequency Based Instantaneous Frequency Estimator," *Signal Processing*, Volume 93, Issue 5, May 2013, pp.1392-1397 (ISSN: 0165-1684, DOI: 10.1016/j.sigpro.2012.11.005)

Link na rad:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168412004008>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing

7. L.J. Stanković, **M. Daković**, T. Thayaparan, and V. Popović-Bugarin, "Micro-Doppler Removal in the Radar Imaging Analysis," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 49, No. 2, April 2013, pp.1234-1250 (ISSN: 0018-9251, DOI: 10.1109/TAES.2013.6494410)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6494410&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F7%2F6494371%2F06494410.pdf%3Farnumber%3D6494410>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*Aerospace
(rezultat sa rednim brojem 8)

8. **M. Daković**, T. Thayaparan, and L.J. Stanković, "Time-frequency based detection of fast manoeuvring targets," *IET Signal Processing*, Vol. 4, No. 3, June 2010, pp. 287-297. (ISSN: 1751-9675, DOI: 10.1049/iet-spr.2009.0078)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5485216&newsearch=true&queryText=Time-frequency%20based%20detection%20of%20fast%20manoeuvring%20targets>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IET%20Signal%20Processing

9. T. Thayaparan, **M. Daković**, and L.J. Stanković, "Mutual interference and low probability of interception capabilities of noise radar," *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol. 2, No. 4, Aug. 2008, pp. 294-305 (ISSN: 1751-8784, DOI: 10.1049/iet-rsn:20070146)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4607173&newsearch=true&queryText=Mutual%20interference%20and%20low%20probability%20of%20interception%20capabilities%20of%20noise%20radar>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*%20IET%20Radar

10. L.J. Stanković, T. Thayaparan, and **M. Daković**, "Signal Decomposition by Using the S-Method with Application to the Analysis of HF Radar Signals in Sea-Clutter," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.54, No.11, Nov. 2006, pp.4332- 4342 (ISSN: 1053-587X, DOI: 10.1109/TSP.2006.880248)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1710379&newsearch=true&queryText=Signal%20Decomposition%20by%20Using%20the%20S-Method%20with%20Application%20to%20the%20Analysis%20of%20HF%20Radar%20Signals%20in%20Sea-Clutter>

SCI lista:

http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing



Univerzitet Crne Gore
UNIVERZITET CRNE GORE
UNIVERSITY OF MONTENEGRO
BEOGRADSKA 17
81000 ZAGREB
UNIVERSITY OF MONTENEGRO
UNIVERSITY OF MONTENEGRO
UNIVERSITY OF MONTENEGRO
University of Montenegro

Broj: M.1 03-79
Datum: 12.01.2017

Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju („Službeni list Crne Gore“ br. 44/14, 47/15, 40/16) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore na sjednici održanoj 12. januara 2017. godine, donio je

ODLUKU O IZBORU U ZVANJE

Dr Miloš Daković bira se u akademsko zvanje **redovni profesor Univerziteta Crne Gore** za oblast **Digitalna obrada signala i adaptivni sistemi na Elektrotehničkom fakultetu** i na nematičnim fakultetima, na neodređeno vrijeme.


REKTOR
Prof. Radmila Vojvodić

Crna Gora
UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Primljeno:	17.01.2017		
Org. jed.	Broj	Prilog	Vrijednost
02/1	55		

Prof. dr Danilo Mandić

BIOGRAPHY

Danilo P. Mandic is a Professor in signal processing with Imperial College London, UK, and has been working in the areas of adaptive signal processing and bioengineering. He is a Fellow of the IEEE, member of the Board of Governors of International Neural Networks Society (INNS), member of the Big Data Chapter within INNS and member of the IEEE SPS Technical Committee on Signal Processing Theory and Methods. He has received five best paper awards in Brain Computer Interface, runs the Smart Environments Lab at Imperial, and has more than 300 publications in journals and conferences. He has authored/coauthored research monographs: *Recurrent Neural Networks for Prediction* (Wiley, 2001), *Complex Valued Nonlinear Adaptive Filters: Nonlinearity, Widely Linear and Neural Models* (Wiley, 2009), and a two volume monograph *Tensor Networks for Dimensionality Reduction and Large Scale Optimisation* (Now Publishers, 2016, 2017). Prof Mandic has received the President Award for Excellence in Postgraduate Supervision at Imperial. He is a pioneer of Ear-EEG, a radically new in-the-ear-canal EEG recording system, and has extended this work to in-ear monitoring of vital signs. This work appeared in *IEEE Spectrum*, *MIT Technology Review* and has won several awards.

More information and a complete list of references can be found on the official web presentation of the Imperial College London:

<https://www.imperial.ac.uk/people/d.mandic>,

<https://www.imperial.ac.uk/people/d.mandic/publications.html>

LIST OF TEN REFERENCES

- [1] Cheng H, Xia Y, Huang Y, Yang L, Mandic DP et al., 2018, *A Normalized Complex LMS Based Blind I/Q Imbalance Compensator for GFDM Receivers and Its Full Second-Order Performance Analysis*, *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING*, Vol: 66, Pages: 4701-4712, (ISSN: 1053-587X, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2018.2860556>)
Link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8423196>
SCI/SCIE list: <http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing>
- [2] Nakamura T, Goverdovsky V, Mandic DP, 2018, *In-Ear EEG Biometrics for Feasible and Readily Collectable Real-World Person Authentication*, *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY*, Vol: 13, Pages: 648-661, (ISSN: 1556-6013, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIFS.2017.2763124>)
Link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8067531>
SCI/SCIE list: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=*1556-6013

- [3] Talebi SP, Werner S, Mandic DP, 2018, Distributed Adaptive Filtering of alpha-Stable Signals, *IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS*, Vol: 25, Pages: 1450-1454, (ISSN: 1070-9908, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2018.2862639>)
Link:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8424469>
SCI/SCIE list:
<http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Signal%20Processing%20Letters>
- [4] Xia Y, Douglas SC, Mandic DP, 2018, Performance analysis of the deficient length augmented CLMS algorithm for second order noncircular complex signals, *SIGNAL PROCESSING*, Vol: 144, Pages: 214-225, (ISSN: 0165-1684, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.10.021>)
Link:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168417303808>
SCI/SCIE list:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=*0165-1684
- [5] Xia Y, Douglas SC, Mandic DP, 2018, A perspective on CLMS as a deficient length augmented CLMS: Dealing with second order noncircularity, *SIGNAL PROCESSING*, Vol: 149, Pages: 236-245, (ISSN: 0165-1684, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.03.009>)
Link:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168418301075>
SCI/SCIE list:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=*0165-1684
- [6] Xia Y, Kanna S, Mandic DP, 2018, Maximum Likelihood Parameter Estimation of Unbalanced Three-Phase Power Signals, *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, Vol: 67, Pages: 569-581, (ISSN: 0018-9456, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2017.2782980>)
Link:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8263203>
SCI/SCIE list:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&ISSN=*0018-9456
- [7] Xia Y, Mandic DP, 2018, Augmented Performance Bounds on Strictly Linear and Widely Linear Estimators With Complex Data, *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING*, Vol: 66, Pages: 507-514, (ISSN: 1053-587X; DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2017.2773428>)
Link:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8106751>
SCI/SCIE list:
<http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing>
- [8] Xiang M, Kanna S, Mandic DP, 2018, Performance Analysis of Quaternion-Valued Adaptive Filters in Nonstationary Environments, *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL*

PROCESSING, Vol: 66, Pages: 1566-1579, (ISSN: 1053-587X,
DOI:<http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2017.2787102>)

Link:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8239856>

SCI/SCIE list:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing)

- [9] Talebi SP, Mandic DP, 2017, Distributed Particle Filtering of alpha-Stable Signals, *IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS*, Vol: 24, Pages: 1862-1866, (ISSN: 1070-9908, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2017.2761182>)

Link:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8062802>

SCI/SCIE list:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Signal%20Processing%20Letters](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Signal%20Processing%20Letters)

- [10] Xia Y, Mandic DP, 2017, Complementary Mean Square Analysis of Augmented CLMS for Second-Order Noncircular Gaussian Signals, *IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS*, Vol: 24, Pages: 1413-1417, (ISSN: 1070-9908, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2017.2717945>)

Link:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7954619>

SCI/SCIE list:

<http://mjl.clarivate.com/cgi->

[bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Signal%20Processing%20Letters](http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=%20IEEE%20Signal%20Processing%20Letters)

22 May 2014

Professor Danilo Mandic
Professor of Electrical Engineering
Department of Electrical and Electronic Engineering
Imperial College London
Electrical and Electronic Engineering Building
South Kensington Campus
London SW7 2AZ

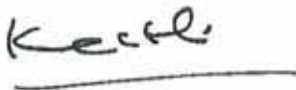
Dear Danilo

President's Award – Research Supervision 2014

I am writing to let you know that your department has nominated you for the President's Award for Excellence in Research Supervision 2014. It gives me enormous pleasure to tell you that you are a winner.

The Award celebrates and acknowledges staff who are considered to have made an outstanding contribution to the enhancement of research supervision. Providing world-class research supervision for our students is hugely important for the College and core to our mission, so I would like to express sincere thanks for your exceptional endeavours and dedication. In recognition of this, you will be presented with an award of £250 and a certificate as a lasting record of your achievement. The Education Office will contact you in due course with details of when the presentations will take place.

With very many congratulations



Sir Keith O'Nions
President

HOME HONOURS AND MEMBERSHIPS RESEARCH PUBLICATIONS TEACHING

PROFESSOR DANILO MANDIC

/// Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering

Professor of Signal Processing



CONTACT

+44 (0)20 7594 6271

Email
Website

ASSISTANT

Ms Melanie Albright
+44 (0)20 7594 6267

LOCATION

813
Electrical Engineering
South Kensington Campus

SUMMARY

Dr. Mandic received the Ph.D. degree in nonlinear adaptive signal processing in 1999 from Imperial College, London, London, U.K. He is now a Senior Lecturer with the Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, London, U.K. He has previously taught at the Universities of East Anglia, Norwich, Norfolk, U.K., and Banja Luka, Bosnia Herzegovina.

He has written over 100 publications on a variety of aspects of signal processing and a research monograph on recurrent neural networks. He has been a Guest Professor at the Catholic University Leuven, Leuven, Belgium, and Frontier Researcher at the Brain Science Institute RIKEN, Tokyo, Japan. Dr. Mandic is a Member of the IEEE Signal Processing Society Technical Committee on Neural Networks for Signal Processing, Associate Editor for IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS II, and Associate Editor for International Journal of Mathematical Modeling and Algorithms. He has won awards for his papers and for the products coming from his collaboration with industry.

SELECTED PUBLICATIONS

JOURNAL ARTICLES

Zhao Q, Caiafa CF, Mandic DP, et al., 2013, Higher Order Partial Least Squares (HOPLS): A Generalized Multilinear Regression Method, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol:35, ISSN:0162-8828, Pages:1660-1673

[DOI](#) [Author Web Link](#) [Open Access Link](#)

Looney D, Kidmose P, Park C, et al., 2012, The In-The-Ear recording concept, *IEEE Pulse Magazine*, Vol:3, Pages:34-42

Rehman N, Mandic DP, 2010, Multivariate empirical mode decomposition, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, Vol:466, ISSN:1364-5021, Pages:1291-1302

[DOI](#) [Author Web Link](#)

Xia Y, Douglas SC, Mandic DP, 2012, Adaptive Frequency Estimation in Smart Grid Applications, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol:29, ISSN:1053-5888, Pages:44-54

[DOI](#) [Open Access Link](#)

Ahmed MU, Mandic DP, 2011, Multivariate multiscale entropy: A tool for complexity analysis of multichannel data, *Physical Review E*, Vol:84, ISSN:1539-3755

AFFILIATIONS

- > Centre for Neurotechnology
- > Communication and Signal Processing
- > Department of Electrical and Electronic Engineering
- > Neuromuscular Rehabilitation Technology Network

LINKS

- > College Directory
- > Search College Directory
- > Faculty of Engineering
- > Department of Electrical and Electronic Engineering
- > Expert Directory

[More Publications](#)

Main campus address:

Imperial College London, South Kensington Campus, London SW7 2AZ, tel: +44 (0)20 7589 5111

[Campus maps and information](#) [About this site](#) [This site uses cookies](#) [Log in](#)

Prof. dr Vesna Popović-Bugarin

BIOGRAFIJA

Vesna Popović-Bugarin je rođena 03. 05. 1978. godine u Podgorici. Osnovnu i srednju školu (Gimnazija "Slobodan Škerović", prirodno-matematički smjer) završila je u Podgorici. U toku školovanja učestvovala je i osvajala nagrade na opštinskim i republičkim takmičenjima u znanju iz fizike. Diplomirala je, magistrirala i doktorirala 2001, 2005. i 2009. godine, respektivno, na Elektrotehničkom fakultetu (ETF) u Podgorici.

Elektrotehnički fakultet u Podgorici je upisala 1996. godine na odsjeku Elektronika, gdje je i diplomirala 2001. godine, odbranivši diplomski rad pod nazivom "**Primjena vremensko-frekvencijske analize signala u neonatologiji**".

Postdiplomske studije, smjer Računari, upisala je školske 2002. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici. Magistrirala je 30. 06. 2005. godine, odbranivši magistarsku tezu pod nazivom "**Spektralna analiza nestacionarnih signala metodama sa visokom rezolucijom**". Tokom postdiplomskih studija boravila je u Ženevi, Švajcarska, na institutu za nuklearna istraživanja – CERN (European Organisation for Nuclear Research), u periodu od 08. 06. 2004. do 18. 07. 2004. godine.

Doktorsku disertaciju "**Vremensko-frekvencijska analiza u obradi radarskih signala**", pod mentorstvom prof. dr Ljubiše Stanković, odbranila je 29. 06. 2009. godine. Tokom doktorskih studija boravila je u: Brestu, Francuska, na ENSIETA-i (École Nationale Supérieure d'Ingénieurs), u periodu od 24. 05. 2006. do 24. 06. 2006., kao i u Bonu, Njemačka, na Univerzitetu primijenjenih nauka, Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Sciences, u periodu od 02. 08. 2007. do 02. 09. 2007.

Član je profesionalnih udruženja: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE Signal Processing Society, Odbora za informaciono-komunikacione tehnologije pri CANU i Centra za mlade naučnike pri CANU.

Vesna Popović-Bugarin je zaposlena na ETF-u od 2002. godine, 27.05.2010. godine je izabrana u zvanju docenta, dok je 24.06.2015. izabrana u zvanje vanrednog profesora.

Oblasti njenog interesovanja uključuju vremensko-frekvencijsku analizu signala, obradu radarskih signala, analizu mikro-Doppler efekta u radarskim signalima i vještačku inteligenciju.

Vesna Popović-Bugarin je bila angažovana na velikom broju domaćih i međunarodnih naučnih projekata, kao i na dva FP7 projekta. Objavila je 35 naučnih radova, od čega 11 u međunarodnim časopisima sa SCI liste. Koautor je jednog domaćeg udžbenika i po jednog poglavlja u dvijema monografijama izdatim od strane inostranih izdavača.

Vesna Popović-Bugarin je obavljala funkciju zamjenika naučnog direktora BIO-ICT Centra izvrsnosti.

Više detalja i kompletan spisak referenci može se pronaći na sajtu www.tfsa.ac.me.

DESET REFERENCI

1. **V. Popović-Bugarin**, and S. Djukanović, "Efficient instantaneous frequency estimation in high noise based on the Wigner distribution," *Signal Processing*, vol. 157, pp. 25-29, April 2019 (ISSN: 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.11.008>)
Link na rad:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168418303682>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing
2. S. Djukanović, and **V. Popović-Bugarin**, "Efficient and accurate detection and frequency estimation of multiple sinusoids," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 1118-1125, December 2018. (ISSN: 2169-3536, DOI: [10.1109/ACCESS.2018.2886397](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886397))
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8573769>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IEEE%20Access
3. I. Djurović, **V. Popović-Bugarin**, and M. Simeunović, "The STFT-based estimator of micro-Doppler parameters," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 53, no. 3, 2017, pp. 1273-1283. (Print ISSN: 0018-9251, Electronic ISSN: 1557-9603 DOI:[10.1109/TAES.2017.2669741](https://doi.org/10.1109/TAES.2017.2669741))
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7857025>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Transactions%20on%20Aerospace%20and%20Electronic%20Systems
4. M. Brajović, **V. Popović-Bugarin**, I. Djurović, and S. Djukanović, "Post-processing of time-frequency representations in instantaneous frequency estimation based on ant colony optimization," *Signal Processing*, Vol. 138, September 2017, pp. 195–210, (ISSN: 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.03.022>)
Link na rad:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168417301160>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing
5. L.J. Stanković, M. Daković, T. Thayaparan, and **V. Popović-Bugarin**, "Inverse Radon Transform Based Micro-Doppler Analysis from a Reduced Set of Observations," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 51, No. 2, pp.1155-1169, April 2015 (Print ISSN: 0018-9251, Electronic ISSN: 1557-9603, DOI: [10.1109/TAES.2014.140098](https://doi.org/10.1109/TAES.2014.140098))
Link na rad:
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7126172>
SCI lista:
http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Transactions%20on%20Aerospace%20and%20Electronic%20Systems

6. L.J. Stanković, **V. Popović-Bugarin**, and F. Radenović, "Genetic algorithm for rigid body reconstruction after micro-doppler removal in the radar imaging analysis," *Signal Processing*, Volume 93, Issue 2013, Jan 2013. (ISSN: 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2013.01.005>)
Link na rad: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016516841300008X>
SCI lista: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing
7. L.J. Stanković, M. Daković, T. Thayaparan, and **V. Popović-Bugarin**, "Micro-Doppler Removal in the Radar Imaging Analysis," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 49, No. 2, April 2013, pp.1234-1250 (Print ISSN: 0018-9251, Electronic ISSN: 1557-9603, DOI: [10.1109/TAES.2013.6494410](https://doi.org/10.1109/TAES.2013.6494410))
Link na rad: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6494410>
SCI lista: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Transactions%20on%20Aerospace%20and%20Electronic%20Systems
8. S. Djukanović, and **V. Popović-Bugarin**, "A parametric method for multicomponent interference suppression in noise radars," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 48, no. 3, pp. 2730–2738, July 2012 (Print ISSN: 0018-9251, Electronic ISSN:1557-9603, DOI: [10.1109/TAES.2012.6237624](https://doi.org/10.1109/TAES.2012.6237624))
Link na rad: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6237624>
SCI lista: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*IEEE%20Transactions%20on%20Aerospace%20and%20Electronic%20Systems
9. S. Djukanović, **V. Popović-Bugarin**, M. Daković, and L.J. Stanković, "A parametric method for non-stationary interference suppression in direct sequence spread-spectrum systems," *Signal Processing*, Vol. 91, No. 6, pp. 1425-1431, June 2011 (ISSN: 0165-1684, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2010.09.010>)
Link na rad: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168410003634>
SCI lista: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=*Signal%20Processing
10. I. Djurović, C. Ioana, T. Thayaparan, L.J. Stanković, P Wang, **V. Popović-Bugarin**, and M. Simeunović, "Cubic-phase function evaluation for multicomponent signals with application to SAR imaging," *IET Signal Processing*, vol. 4, no. 4, August 2010, pp. 371-381 (Print ISSN: 1751-9675, Electronic ISSN: 1751-9683, DOI:[10.1049/iet-spr.2009.0065](https://doi.org/10.1049/iet-spr.2009.0065))
Link na rad: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5547941>
SCI lista: http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=*IET%20Signal%20Processing



Број: 08-1739
Датум, 24. 06. 2015 г.

Ref: _____
Date, _____

Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Službeni list Crne Gore br. 44/14) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 24. juna 2015. godine, donio je

ODLUKU O IZBORU U ZVANJE

Dr VESNA POPOVIĆ-BUGARIN bira se u akademsko zvanje **vanredni profesor Univerziteta Crne Gore** za predmete: Osnovi računarstva II na osnovnom akademskom studijskom programu Elektronika, telekomunikacije i računari, Baze podataka i Ekspertni sistemi na postdiplomskom specijalističkom akademskom studijskom programu Elektronika, telekomunikacije i računari, na **Elektrotehničkom fakultetu**, na period od pet godina.

REKTOR

Prof. Radmila Vojvodić

УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Број: 02/1-169
Подгорница, 29. 06. 2015 год.



Prof. dr Irena Orović

BIOGRAFIJA

Irena Orović je rođena 21.02.1983.god. u Podgorici. Završila je studije na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici 2005 godine. Diplomirala je sa ocjenom 10 u Julu 2005. godine u Brestu, Francuska, gdje je boravila po osnovu bilateralne saradnje između Univerziteta Crne Gore i ENSIETA-e Brest. Od 2005-2010 godine bila je saradnik u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu, zatim od 2010-2015 docent na Univerzitetu Crne Gore, a od 2015 je vanredni profesor.

Postdiplomske studije je upisala u septembru 2005. godine na Elektrotehničkom fakultetu (odsjek Elektronika, telekomunikacije i računari, smjer Računari).

Magistarsku tezu „**Primjena vremensko-frekvencijske analize na watermarking govornih signala**“ odbranila je sa ocjenom 10 u Decembru 2006. godine.

Doktorsku disertaciju: “**Vremensko-frekvencijske distribucije i neki aspekti primjene**” odbranila je 19.02.2010. godine.

Dobitnik je brojnih nagrada i priznanja, među kojima treba istaknuti:

- Studentsku nagradu “19. decembar” (2003),
- Nagradu Crnogorske akademije nauka i umjetnosti (2004),
- Nagradu Univerziteta Crne Gore (2004),
- Više puta je nagrađivana od strane Elektrotehničkog fakulteta kao najbolji student generacije
- Dobitnik je Plakete Univerziteta Crne Gore za najboljeg diplomiranog studenta iz oblasti tehničkih, prirodno-matematičkih i medicinskih nauka (2005. godine),
- Dobitnik je nagrade Elektrotehničkog fakulteta za izvanredne naučno-istraživačke rezultate tokom rada na doktorskoj tezi (2010. godine).
- Dobitnik je internacionalne nagrade za najbolju doktorsku disertaciju TRIMO 2011 Ljubljana, Slovenija
- Nagrada Ministarstva nauke za najuspješniju ženu u nauci - 2012 godine

Boravci na inostranim naučnim institucijama: Dr. Orović je boravila na instituciji ENSIETA iz Bresta, Francuska (2005 i 2006.), University Bonn-Rhien-Sieg iz Bona, Njemačka (2007), Institut Polytechnique de *Grenoble*, Francuska (2008. i 2009.), Villanova University, Philadelphia USA (2010, 2011, 2012).

Prof. dr Irena Orović je do sada objavila oko 130 naučnih radova od čega oko 60 u vodećim svjetskim časopisima (časopisi sa SCI/SCIE liste sa impact faktorom), kao i veći broj radova u drugim međunarodnim časopisima i na konferencijama.

Objavila je kao koautor 5 udžbenika na našem jeziku. Od knjiga i monografija inostranih izdavača objavila je dvije knjige: “Multimedia Signals and Systems”, Springer 2012 na engleskom jeziku publikovanu od strane svjetskog izdavača Springer-a, kao i „Multimedia Signals and Systems: Basic and Advanced Algorithms for Signal Processing“, zatim poglavlje u međunarodnoj monografiji “Time-Frequency Analysis of Micro-Doppler Signals Based on Compressive Sensing,” Compressive Sensing for Urban Radar, CRC-Press, 2014”, poglavlje u enciklopediji: „Sparse Signal Reconstruction“ in Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, Wiley 2017.

Recenzent je u mnogobrojnim časopisima, među kojima je više njih iz IEEE i IEE izdanja.

Bila je rukovodilac Računarskog centra na Elektrotehničkom fakultetu, i šef studijskog programa Elektronika, telekomunikacije, računari.

U periodu od 2011.-2015. godina dr Irena Orović je bila potpredsjednik i član Savjeta za naučno-istraživačku djelatnost u Crnoj Gori (Ministarstvo nauke Crne Gore).

Od decembra 2017. godine obavlja funkciju Prorektora za nauku i istraživanje.

Predsjednik je Naučnog odbora Univerziteta Crne Gore.

Više detalja i kompletan spisak referenci može se pronaći na sajtu www.tfsa.ac.me.

DESET ZNAČAJNIJIH REFERENCI

1. **I. Orović**, A. Draganić, and S. Stanković, "Sparse Time-Frequency Representation for Signals with Fast Varying Instantaneous Frequency," *IET Radar, Sonar & Navigation*, Online ISSN 1751-8792, Available online: 20 August 2015 (ISSN: 1751-8784, DOI: 10.1049/iet-rsn.2015.0116)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7348894&newsearch=true&queryText=Sparse%20Time-Frequency%20Representation%20for%20Signals%20with%20Fast%20Varying%20Instantaneous%20Frequency>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Word=Radar>

2. **I. Orović**, and S. Stanković, "Improved Higher Order Robust Distributions based on Compressive Sensing Reconstruction," *IET Signal Processing*, 2014 (ISSN: 1751-9675, DOI: 10.1049/iet-spr.2013.0347)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6898675&newsearch=true&queryText=Improved%20Higher%20Order%20Robust%20Distributions%20based%20on%20Compressive%20Sensing%20Reconstruction>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=K&Full=IET%20Signal%20Processing>

3. **I. Orović**, S. Stanković, and T. Thayaparan, "Time-Frequency Based Instantaneous Frequency Estimation of Sparse Signals from an Incomplete Set of Samples," *IET Signal Processing, Special issue on Compressive Sensing and Robust Transforms*, 2014 (ISSN: 1751-9675, DOI: 10.1049/iet-spr.2013.0354)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6816977&newsearch=true&queryText=Time->

[Frequency%20Based%20Instantaneous%20Frequency%20Estimation%20of%20Sparse%20Signals%20from%20an%20Incomplete%20Set%20of%20Samples](#)

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=K&Full=IET%20Signal%20Processing>

4. **I. Orović**, and S. Stanković, "L-statistics based Space/Spatial-Frequency Filtering of 2D signals in heavy tailed noise," *Signal Processing*, Volume 96, Part B, March 2014, Pages 190-202 (ISSN: 0165-1684, DOI: 10.1016/j.sigpro.2013.08.021)

Link na rad:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168413003320>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=Signal%20processing>

5. **I. Orović**, S. Stanković, and B. Jokanović, "A Suitable Hardware Realization for the Cohen Class Distributions," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, vol. PP, no.99, pp.1-5, avg. 2013. (ISSN: 1549-7747, DOI: 10.1109/TCSII.2013.2273724)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6576864&newsearch=true&queryText=A%20Suitable%20Hardware%20Realization%20for%20the%20Cohen%20Classes%20Distributions>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=IEEE%20TRANSACTIONS%20ON%20CIRCUITS%20AND%20SYSTEMS%20II-EXPRESS%20BRIEFS>

6. L.J. Stanković, **I. Orović**, S. Stanković, and M. Amin, "Compressive Sensing Based Separation of Nonstationary and Stationary Signals Overlapping in Time-Frequency," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 61, no. 18, pp. 4562 – 4572, Sept. 2013. (ISSN: 1053-587X, DOI: 10.1109/TSP.2013.2271752)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6553137&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F78%2F6578576%2F06553137.pdf%3Farnumber%3D6553137>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=IEEE%20Transactions%20on%20Signal%20Processing>

7. **I. Orović**, S. Stanković, and M. Amin, "A New Approach for Classification of Human Gait Based on Time-Frequency Feature Representations," *Signal Processing*, Vol. 91, No. 6, pp. 1448-1456, June 2011. (ISSN: 0165-1684, DOI: 10.1016/j.sigpro.2010.08.013)

Link na rad:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168410003506>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=Signal%20processing>

8. **I. Orović**, M. Orlandić, S. Stanković, and Z. Uskoković, "A Virtual Instrument for Time-Frequency Analysis of Signals with Highly Non-Stationary Instantaneous Frequency," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 60, No. 3, pp. 791 - 803, March 2011 (ISSN: 0018-9456, DOI: 10.1109/TIM.2010.2060227)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5618562&newsearch=true&queryText=A%20Virtual%20Instrument%20for%20Time-Frequency%20Analysis%20of%20Signals%20with%20Highly%20Non-Stationary%20Instantaneous%20Frequency>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=IEEE%20TRANSACTIONS%20ON%20INSTRUMENTATION%20AND%20MEASUREMENT>

9. **I. Orović**, S. Stanković, T. Thayaparan, and LJ. Stanković, "Multiwindow S-method for Instantaneous Frequency Estimation and its Application in Radar Signal Analysis," *IET Signal Processing*, Vol. 4, No. 4, pp: 363-370, Jan. 2010 (ISSN: 1751-9675, DOI: 10.1049/iet-spr.2009.0059)

Link na rad:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5547940&newsearch=true&queryText=Multiwindow%20S-method%20for%20Instantaneous%20Frequency%20Estimation%20and%20its%20Application%20in%20Radar%20Signal%20Analysis>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=K&Full=IET%20Signal%20Processing>

10. S. Stanković, **I. Orović**, N. Žarić, and C. Ioana, "Two Dimensional Time-Frequency Analysis based Eigenvalue Decomposition Applied to Image Watermarking," *Multimedia Tools and Applications*, Vol.49, No. 3, Sept. 2010., pp. 529-543. (Print ISSN: 1380-7501, Online ISSN: 1573-7721, DOI: 10.1007/s11042-009-0446-x)

Link na rad:

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11042-009-0446-x>

SCI lista:

<http://science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=Multimedia%20Tools%20and%20Applications>



Број: 08-1740
Датум, 24.06.2015 г.

Ref: _____
Date, _____

Na osnovu člana 72 stav 2 Zakona o visokom obrazovanju (Službeni list Crne Gore br. 44/14) i člana 32 stav 1 tačka 9 Statuta Univerziteta Crne Gore, Senat Univerziteta Crne Gore, na sjednici održanoj 24 juna 2015. godine, donio je

ODLUKU O IZBORU U ZVANJE

Dr IRENA OROVIĆ bira se u akademsko zvanje **vanredni profesor Univerziteta Crne Gore** za predmete: Informacioni sistemi, na postdiplomskom specijalističkom akademskom studijskom programu Elektronika, telekomunikacije i računari, smjer Računari, **na Elektrotehničkom fakultetu**, Multimedijalni sistemi u pomorstvu, na osnovnom akademskom studijskom programu Pomorske nauke, na Fakultetu za pomorstvo, Osnovi turističkog informacionog sistema, na osnovnom akademskom studijskom programu Turizam i Internet tehnologije i servisi, na postdiplomskom specijalističkom akademskom studijskom programu Turizam na Fakultetu za turizam i hotelijerstvo, na period od pet godina.

REKTOR

Prof. Radmila Vojvodić

ИЈЕПОЉУ

и директор „Чистоће“ Саша Же позиве „Дана“, а у моменту имено нам је да директор није биласку радних јединица. Са истоће“ Милком Чоловићем он не живи у Пљевљима, већ

мандат УО „Чистоће“ истекао а могућност да донесе одлуку ије двадесет дана у локалној правни одбори и савјети којима ти до избора нових.

Podlovni broj: Iv.br.638/2018
ce Cerovića br.10, u pravnoj stvari izvršnog
gorica, ul. Stalentska bb, zgrada Benax,
t Nikšića, ul. Manastirska br.7, radi naplate
vjerođotajne isprave – obeština kamata sa
u dan 27.08.2015.godine, dana 15.02.2019.

OBJAVLJIVANJEM

manstirska br.7, vrši se dostavljanje Rješenja
4.2018. godine sa predlogom i prilogima,
dane vjerođotajne isprave isplati izvršnom
ustovu i troškovina izvršnog postupka.
straniti javnom izvršitelju Mlaji Ajković na
od 5 dana od dana posljednjeg objavljivanja
make Iv.br.638/2018 od 05.04.2018. godine

škika da se ovakav način dostave smatra
ovakvim načinom dostavljanja znositi sama.

od osam dana od dana isticanja pismena na
avljanje u dnevnom štampanom mediju.

JAVNI IZVRŠITELJ
Mlaja Ajković

!, Jadranski put bb, u predmetu
ANS DOO PODGORICA protiv
IT* DOO BUDVA, pib:02930323,
a novčanog potraživanja donosi

ČAK

INVEST* doo BUDVA dana
h, javi Javnom izvršitelju Darku
radi uručenja Zapisnika o ročištu
ena neuspješnom i Zaključka o II
2017 od 13.02.2019 godine, koja
idine u 11:00 h, u kancelariji ovog
uručiti na adresi iz spisa predmeta
sledice neodazivanja ovom pozivu,
ii dužnik, ne javi Javnom izvršitelju
vršeno uređno dostavljanje danom
inje izvršilce se jednom u dnevnom

Javni izvršitelj Darko Rajković

и да ће видјети како ће она
реаговати на понашање нове
управе предузећа „Чистоћа“.

Подсјећамо, Виши суд
у Бијелом Пољу потврдио
је пресуду Основног суда
у Пљевљима којом се по
ништава одлука одбора ди
ректора предузећа „Чистоћа“
о разрешењу Хариса Крупе
са мјеста извршног директо
ра и поништава се рјешење
о престанку његовог рад
ног односа у овом преду

постане правоснажна. у пре
суди судског вјећа, којим је
пресједала судија Јелена
Чабаркапа, оцијењено је да
жалба „Чистоће“ изречене на
пресуду Основног суда није
основана и да је пљеваљски
суд правилно оцијенио када
је у питању поништење од
луке Управног одбора од 9.
11. 2016. године, када је Кру
па смијењен са мјеста дирек
тора.

Б. Је.

UNIVERZITET CRNE GORE Elektrotehnički fakultet u Podgorici

O B A V J E Š T A V A

javnost da se doktorska disertacija „Analiza algoritama
za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom
i Furijeovom transformacionom domenu“,
kandidata mr Miloša Brajovića, saradnika u nastavi
na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici i Izvještaj
Komisije za ocjenu doktorske disertacije, u sastavu:

1. Dr Ljubiša Stanković, redovni profesor
Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta
Crne Gore,
2. Dr Miloš Daković, redovni profesor
Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta
Crne Gore,
3. Dr Danilo Mandić, Department of
Electrical and Electronic Engineering,
Imperial College London, London, UK,

nalaze u Centralnoj univerzitetskoj biblioteci radi uvida
javnosti, u trajanju od 30 dana od dana objavljivanja.

„DAN“ 16.02.2019.



Univerzitet Crne Gore
Centralna univerzitetska biblioteka
adresa / address_Cetinjska br. 2
81000 Podgorica, Crna Gora
telefon / phone_00382 20 414 245
fax_00382 20 414 259
mail_cub@ucg.me
web_www.ucg.ac.me
Central University Library
University of Montenegro

Broj / Ref 01/6-1-6-12/1.
Datum / Date 18.03.2019.

18.03.2019.

02/1	200/2		
------	-------	--	--

UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

N/r dekanu

Prof. dr Zoranu Veljoviću

Poštovani gospodine Veljoviću,

Vraćamo doktorsku disertaciju pod nazivom: **„Analiza algoritama za rekonstrukciju signala rijetkih u Hermitskom i Furijeovom transformacionom domenu“**, kandidata mr Miloša Brajovića, koji je u skladu sa članom 42 stav 3 Pravila doktorskih studija dostavljen **Centralnoj univerzitetskoj biblioteci** dana 15. 02. 2019. godine, na uvid i ocjenu javnosti.

Na navedeni rad nije bilo primjedbi javnosti u predviđenom roku od 30 dana.

Molimo Vas da nam nakon eventualne uspješne odbrane dostavite konačnu verziju doktorske disertacije.

S poštovanjem,

DIREKTOR



mr Bosiljka Cicmil

KRATKA BIOGRAFIJA KANDIDATA

Miloš Brajović je rođen 24.05.1988. godine u Podgorici, Republika Crna Gora. Nakon završene osnovne škole „Njegoš“ u Spužu, 2003. godine upisao je opšti smjer gimnazije „Petar I Petrović Njegoš“ u Danilovgradu. Dobitnik je diploma „Luča“, za ostvarene rezultate u osnovnoj i srednjoj školi. Od strane Nastavničkog vijeća gimnazije proglašen je za učenika generacije.

Elektrotehnički fakultet u Podgorici, na odsjeku Elektronika, telekomunikacije i računari, upisuje septembra 2007. godine. Specijalističke studije, na smjeru Računari, upisuje odmah nakon završenih osnovnih studija, i završava ih u junu 2011. godine, odbranom specijalističkog rada „**Vremensko-frekvencijska analiza i predstavljanje trenutne frekvencije**“, čime je stekao stepen Specijaliste (Spec.Sci) za oblast Elektronike, telekomunikacija i računara.



Od septembra 2011. godine angažovan je kao saradnik u nastavi na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, gdje iste godine upisuje i magistarske studije, na smjeru Računari, pod mentorstvom prof. dr Miloša Dakovića. Magistarsku tezu sa temom: „**Rekurzivno izračunavanje vremensko-frekvencijskih reprezentacija**“ odbranio je u oktobru 2013. godine. Počevši od 2012. godine, kandidat je bio ili je još uvijek angažovan na 9 naučno-istraživačkih i stručnih projekata.

Miloš Brajović obavlja dužnost recenzenta u više renomiranih međunarodnih časopisa sa SCI/SCIE liste, za koje je do sada recenzirao preko 50 naučnih radova. Među ovim časopisima su: *IEEE Transactions on Signal Processing*, *IEEE Signal Processing Letters*, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *Signal Processing*, *Digital Signal Processing*, *IET Signal Processing*, *Electronics Letters*, *IET Image Processing*, *IET Radar Sonar & Navigation*, *Signal image and video processing*, *Biomedical Signal Processing and Control*, *Journal of Visual Communication and Image Representation* i drugi. Obavljao je dužnost recenzenta i u domaćim časopisima, zatim i za veći broj međunarodnih i domaćih konferencija.

Miloš Brajović je do sada publikovao **8** radova u međunarodnim časopisima sa SCI/SCIE liste (sa kumulativnim IMPACT Factor-om od **21.27**), **3** rada u ostalim časopisima, **27** radova na međunarodnim konferencijama (indeksiranim u SCOPUS-u i IEEE Xplore bazama) i **11** radova na regionalnim i lokalnim konferencijama. Više radova, na kojima je jedan od autora, nalazi se u postupku recenziranja. Kompletan spisak referenci dostupan je na sajtu http://www.tfsa.ac.me/milosb_papers.html.

Miloš Brajović je drugorangirani dobitnik nagrade u konkurenciji za najuspješnijeg naučnika do 30 godina života, koju mu je dodijelilo Ministarstvo nauke za 2018. godinu. Miloš Brajović je 2018. godine dobio i Plaketu Univerziteta Crne Gore, za doprinos u broju publikovanih radova u renomiranim časopisima sa SCI/SCE liste u oblasti tehničkih nauka.

SPISAK RADOVA KOJI SADRŽE REZULTATE DOKTORSKE DISERTACIJE

Radovi iz vodećih časopisa (SCI/SCIE list)

- [1] L.J. Stanković, and M. Brajović, "Analysis of the Reconstruction of Sparse Signals in the DCT Domain Applied to Audio Signals," *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 26, no.7, July 2018, pp.1216-1231, DOI: 10.1109/TASLP.2018.2819819
- [2] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "Compressive Sensing of Sparse Signals in the Hermite Transform Basis," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Volume: 54, Issue: 2, April 2018, pp. 950 - 967, DOI: 10.1109/TAES.2017.2768938
- [3] M. Brajović, S. Stanković, and I. Orović, "Analysis of noisy coefficients in the discrete Hermite transform domain with application in signal denoising and sparse signal reconstruction," *Signal Processing*, vol. 150, September 2018, <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.04.007>
- [4] M. Brajović, I. Stanković, M. Daković, C. Ioana, and L.J. Stanković, "Error in the Reconstruction of Nonsparse Images," *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2018 (2018), Article ID 4314527, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2018/4314527>
- [5] L.J. Stanković, D. Mandić, M. Daković, and M. Brajović, "Time-frequency decomposition of multivariate multicomponent signals," *Signal Processing*, Volume 142, January 2018, pp. 468-479, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.08.001>
- [6] M. Brajović, V. Popović-Bugarin, I. Djurović, and S. Djukanović, "Post-processing of Time-Frequency Representations in Instantaneous Frequency Estimation Based on Ant Colony Optimization," *Signal Processing*, Vol. 138, September 2017, pp. 195–210, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2017.03.022>.
- [7] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "On the Parameterization of Hermite Transform with Application to the Compression of QRS Complexes," *Signal Processing*, vol. 131, pp. 113-119, February 2017.
- [8] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "Gradient-based signal reconstruction algorithm in the Hermite transform domain," *Electronics Letters*, Volume 52, Issue 1, pp.41-43, 2016

Radovi publikovani u drugim časopisima:

- [9] M. Brajović, A. Draganić, I. Orović, and S. Stanković, "Sparse Representation of FHSS Signals in the Hermite Transform Domain," *Telfor Journal*, Vol. 9, No. 2, 2017.
- [10] M. Brajović, L.J. Stanković, and M. Daković, "Reconstruction of non-stationary signals with missing samples using S-method and a gradient-based reconstruction algorithm," *ETF Journal of Electrical Engineering*, Vol. 21, No. 1, 2015.

Međunarodne konferencije (indeksirane u bazi SCOPUS):

- [11] M. Brajović, I. Stanković, C. Ioana, M. Daković, and L.J. Stanković, "Reconstruction of Rigid Body with Noncompensated Acceleration After Micro-Doppler Removal," *5th International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Multimodal Sensing, and Imaging (CoSeRa)*, Siegen, Germany, September 2018.
- [12] L.J. Stanković, M. Brajović, I. Stanković, C. Ioana, and M. Daković, "Analysis of Initial Estimate Noise in the Sparse Randomly Sampled ISAR Signals," *5th International Workshop on Compressed Sensing applied to Radar, Multimodal Sensing, and Imaging (CoSeRa)*, Siegen, Germany, September 2018.

- [13] I. Stanković, M. Brajović, M. Daković, and C. Ioana, "Effect of Random Sampling on Noisy Nonsparse Signals in Time-Frequency Analysis," *26th European Signal Processing Conference EUSIPCO 2018*, Rome, Italy, September 2018.
- [14] M. Brajović, L.J. Stanković, M. Daković, and D. Mandić, "Additive Noise Influence on the Bivariate Two-Component Signal Decomposition," *7th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2018*, Budva, Montenegro, June 2018.
- [15] M. Brajović, L.J. Stanković, and M. Daković, "Micro-Doppler removal in radar imaging in the case of non-compensated rigid body acceleration," *2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT)*, Zabljak, Montenegro, 2018, pp. 1-4, February 19-24, doi: 10.1109/SPIT.2018.8350451
- [16] M. Brajović, S. Vujović, I. Orović, and S. Stanković, "Coefficient Tresholding in the Gradient Reconstruction Algorithm for Signals Sparse in the Hermite Transform Basis," *Applications of Intelligent Systems 2018 (APPIS 2018)*, Las Palmas De Gran Canaria, 8-12 January 2018
- [17] Z. Vulaj, M. Brajović, A. Draganić, and I. Orović, "Detection of Irregular QRS Complexes using Hermite Transform and Support Vector Machine," *59th International Symposium ELMAR-2017*, Zadar, Croatia, 2017
- [18] L.J. Stanković, M. Brajović, M. Daković, and D. Mandić, "Two-component Bivariate Signal Decomposition Based on Time-Frequency Analysis," *22nd International Conference on Digital Signal Processing IEEE DSP 2017*, August 23-25, London, United Kingdom
- [19] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "The Reconstruction of 2D Sparse Signals by Exploiting Transform Coefficients Variances," *17th IEEE Int. Conference on Smart Technologies, IEEE EUROCON 2017*
- [20] Z. Vulaj, A. Draganić, M. Brajović, and I. Orović, "A tool for ECG signal analysis using standard and optimized Hermite transform," *6th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2017*, Bar, Montenegro
- [21] M. Daković, I. Stanković, M. Brajović, and L.J. Stanković, "Sparse Signal Reconstruction Based on Random Search Procedure," *40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics MIPRO*, Opatija, Croatia, May 2017
- [22] M. Daković, T. Ružić, T. Rogač, M. Brajović, and B. Lutovac, "Neural Networks Application to Neretva Basin Hydro-meteorological Data," *13th Symposium on Neural Networks and Applications NEUREL 2016*, November 2016, Belgrade, Serbia
- [23] M. Brajović, I. Orović, and S. Stanković, "The Optimization of the Hermite transform: Application Perspectives and 2D Generalization," *24th Telecommunications Forum TELFOR 2016*, November 2016, Belgrade, Serbia.
- [24] M. Brajović, B. Lutovac, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "Sparse Signal Recovery Based on Concentration Measures and Genetic Algorithm," *13th Symposium on Neural Networks and Applications NEUREL 2016*, Belgrade, Serbia, November 2016
- [25] M. Brajović, A. Draganić, I. Orović, and S. Stanković, "FHSS signal sparsification in the Hermite transform domain," *24th Telecommunications Forum TELFOR 2016*, November 2016, Belgrade, Serbia
- [26] I. Stančić, M. Brajović, I. Orović, and J. Musić, "Compressive sensing for reconstruction of 3D point clouds in smart systems," *24th International Conference on*

- Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2016), Split, Croatia, September 2016
- [27] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "Representation of Uniformly Sampled Signals in the Hermite Transform Domain," 58th International Symposium ELMAR-2016, Zadar, Croatia, Sept. 2016.
- [28] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "Compressive Sensing of Signals Sparse in 2D Hermite Transform Domain," 58th International Symposium ELMAR-2016, Zadar, Croatia, Sept. 2016
- [29] M. Brajović, M. Daković, and L.J. Stanković, "Convexity of the l_1 -norm based Sparsity Measure with Respect to the Missing Samples as Variables," 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016, Bar, June 2016
- [30] M. Brajović, I. Orović, M. Daković, and S. Stanković, "The Analysis of Missing Samples in Signals Sparse in the Hermite Transform Domain," 23rd Telecommunications Forum TELFOR, Belgrade, 2015
- [31] A. Draganić, M. Brajović, I. Orović, and S. Stanković, "A Software Tool for Compressive Sensing based Time-Frequency Analysis," 57th International Symposium ELMAR-2015, Zadar, Croatia
- [32] M. Brajović, and V. Popović-Bugarin, "Instantaneous Frequency Estimation Using Ant Colony Optimization and Wigner Distribution," 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2015, Budva, Montenegro, June 2015.

Radovi izloženi na regionalnim i nacionalnim konferencijama

- [33] M. Brajović, L.J. Stanković, and M. Daković, "Reconstruction of non-stationary signals with missing samples using S-method and a gradient-based reconstruction algorithm," Informacione Tehnologije - IT 2015, Žabljak, Montenegro, February 2015