



Univerzitet Crne Gore  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

A: Džordža Vašingtona bb., 81000 Podgorica Crna Gora  
T: +382 20 245 839 F: +382 20 245 839 E: etf@ucg.ac.me W: www.ucg.me/etf



Broj: 02/1-83/1  
Datum: 22.01.2024.

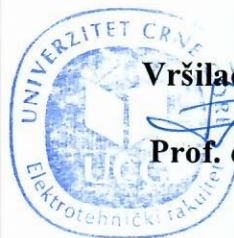
**UNIVERZITET CRNE GORE**

- Odboru za doktorske studije -

- Senatu -

**OVDJE**

U prilogu dostavljamo Odluku Vijeća Elektrotehničkog fakulteta sa sjednice od 17.01.2024. godine i **obrazac D1**, sa pratećom dokumentacijom, za kandidata MSc **Đorđa Stankovića**, na dalje postupanje.



**Vršilac funkcije DEKANA,**

*Budimir Lutovac*  
**Prof. dr Budimir Lutovac**





Univerzitet Crne Gore  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

A: Džordža Vašingtona bb., 81000 Podgorica Crna Gora  
T: +382 20 245 839 F: +382 20 245 839 E: etf@ucg.ac.me W: www.ucg.me/etf



Broj: 02/1-83  
Datum: 17.01.2024

Na osnovu člana 64 Statuta Univerziteta Crne Gore, u vezi sa članom 35 Pravila doktorskih studija, Vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, na sjednici od 17.01.2024. godine, donijelo je

### ODLUKU

Daje se pozitivno mišljenje i prihvata Izvještaj Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije: „**Estimacija i klasifikacija jednodimenzionih i dvodimenzionih signala korišćenjem kombinovanih transformacionih domena i neuralnih mreža**“, kandidata MSc Đorđa Stankovića.

### -VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA-



Vršilac funkcije DEKANA,  
*Budimir Lutovac*  
Prof. dr Budimir Lutovac

Dostavljeno:

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



Crna Gora  
UNIVERZITET CRNE GORE  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Primljeno:	12.01.2024		
Org. jed.	Broj	Prilog	
02/1	38		

UNIVERZITET CRNE GORE

Obrazac D1: Ocjena podobnosti doktorske teze i kandidata

## OCJENA PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	mr Đorđe Stanković
Fakultet	Elektrotehnički fakultet
Studijski program	Elektrotehnika
Broj indeksa	4/22
Podaci o magistarskom radu	Magistar inženjerske matematike, Fakultet inženjerstva, Univerzitet Buenos Aires, novembar 2022., prosječna ocjena 9,5
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Estimacija i klasifikacija jednodimenzionih i dvodimenzionih signala korišćenjem kombinovanih transformacionih domena i neuralnih mreža
Na engleskom jeziku	Estimation and Classification of One-Dimensional and Two-Dimensional Signals using Combined Transform Domains and Neural Networks
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	14.01.2024. god.
Naučna oblast doktorske disertacije	Digitalna obrada signala i Računarstvo
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
<p>Javna odbrana polaznih istraživanja studenta doktorskih studija MSc Đorđa Stankovića, pod nazivom "Estimacija i klasifikacija jednodimenzionih i dvodimenzionih signala korišćenjem kombinovanih transformacionih domena i neuralnih mreža" održana je dana 28.12.2023. godine na Elektrotehničkom fakultetu, sa početkom u 13 h i 30 min, pred Komisijom:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prof. dr Miloš Daković, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, predsjednik komisije</li><li>• Prof. dr Nedeljko Lekić, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije</li><li>• Prof. dr Irena Orović, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, mentor</li><li>• Prof. dr Cornel Ioana, vanredni profesor, Institute Polytechnique de Grenoble (INP UGA), Francuska, komentor</li><li>• Doc. dr Miloš Brajović, docent, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije</li></ul>	

Nakon predstavljanja teme svog istraživačkog rada, doktorant je jasno i sistematično obrazložio njen teorijski i praktični značaj. Zatim je dao pregled dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti, predstavio ciljeve, hipoteze, metodologiju rada i plan istraživanja. Takođe, predstavio je dosadašnje rezultate svog naučno-istraživačkog rada sa očekivanim rezultatima za naredni period. Nakon završetka izlaganja, uslijedila su pitanja od strane Komisije i diskusija sa kandidatom. Odbrana je završena u 15 h a Komisija je zaključila da je kandidat uspješno odbranio polazna istraživanja.

## B. OCJENA PODOBNOSTI TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

### B1. Obrazloženje teme

Metode za estimacije i klasifikacije 1D i 2D signala aktuelne su u brojnim aplikacijama obrade signala, posebno što se sve češće koriste signali sa nedostajućim odbircima, gdje je uticaj šuma znatno kompleksniji nego u klasičnim sistemima. U tom smislu, definisanje optimalnih estimatora i minimuma varijanse u skladu sa Kramer-Rao granicom je jedan od istraživačkih izazova, koji će biti razmatran u doktorskoj tezi. Pored standardnih transformacija koje se koriste kao optimalni estimatori (Fourier-ove, Hermitske i kosinusne transformacije), poseban prioritet je u generisanju kombinovanih domena koji bi doprinijeli poboljšanju mogućnosti estimacije signala. Posmatrač se slučajevi redukcije šuma, kao i slučajevi separacije odnosno razdvajanje različitih tipova signala, kroz eksploataciju osobine rijetkosti (sparsity) signala u različitim transformacionim prostorima. U kontekstu korišćenje signala sa nedostajućim odbircima, predložena tema uključuje i korišćenje neuralnih mreža u cilju unapređenja u praktičnim primjenama u prethodno navedenim konceptima.

### B2. Cilj i hipoteze

Osnovni ciljevi su:

1. Definirati ograničenje u primjeni Kramer-Rao granice kod signala sa nedostajućim odbircima, odnosno odrediti minimalan broj odbiraka da relacije i dalje važe.
2. Definirati proceduru estimacije i odvajanje komponenti 2D signala korišćenjem modela preslikavanja između DCT domena čitave slike i pojedinačnih blokova.
3. Korišćenjem Parzen prozora, algoritma za rekonstrukciju i neuralnih mreža, definisati optimalnu proceduru za detekciju signala.

H1. Postoji granični broj nedostajućih odbiraka koji uzrokuje da komponente šuma dominiraju nad signalom i onemogućavaju primjenu estimatora.

H2. Veza između transformacionog domena slike i njenih blokova, omogućava odvajanje interferencije od slike ako je interferencija spars u oba domena.

H3. Kombinovanje optimizacionih matematičkih algoritama i neuralnih mreža, povećava efikasnost neuralne mreže.

### B3. Metode i plan istraživanja

Metodologija istraživanja u okviru doktorske disertacije biće zasnovana na dva pristupa. Prvi pristup podrazumijeva unapređivanje matematičkih formulacija i modela koji su ranije opisani u literaturama i njihov kratak prikaz dat kroz sekciju „Pregled istraživanja”. Imajući u vidu predloženu strukturu doktorske disertacije, prva faza istraživanja će se bazirati na definisanju teorijskog okvira kojim se rješavaju zadati ciljevi u pogledu ograničenja Kramer-Rao granice minimalne varijanse. U odnosu na uobičajne pristupe, istraživanje će obuhvatiti signale sa malim brojem snimljenih odbiraka, odnosno velikim brojem nedostajućih odbiraka. U ovom dijelu

disertacije, verifikacija dobijenih rezultata biće obavljena primjenom statističkih metoda, testiranjem na velikom broju uzoraka, ponavljanjem eksperimentalne procedure za različiti broj nedostajućih odbiraka i različite vjerovatnoće greške estimacije. Istraživanje će biti generalizovane za različite tipove transformacija, uključujući Hermitsku, kratkotrajnu Fourier-ovu, dvodimenzionalnu Fourier-ovu i dvodimenzionalnu Hermitsku.

Na bazi izvedenih optimalnih estimatora, biće definisane transformacije koje na najpogodniji način analiziraju signale od interesa. Polazeći od postojećih definicija matematičkih transformacija koje signale preslikavaju iz domena akvizicije u domene kompaktnih reprezentacija, biće teorijski izvedene relacije koje povezuju različite transformacione domene. Štaviše, istraživanje će biti fokusirana na povezivanje transformacije kompletnog signala sa lokalizovanim transformacijama pojedinih djelova signala (lokalizovani funkcijom prozora u jednodimenzionom ili dvodimenzionom slučaju). Povezivanje i kombinovanje transformacija može da omogući istovremenu analizu signala sa aspekta različitih rezolucija. Ovakav pristup načelno bi trebalo da omogući znatno više informacija za analizu, estimaciju, klasifikaciju, filtriranje i rekonstrukciju u odnosu na postojeće pristupe. Međutim, ovdje treba posebno naglasiti da u odnosu na jednodimenzioni slučaj, kod dvodimenzionog slučaja nije jednostavno uspostaviti vezu između transformacije cijelokupne slike i skupa transformacija pojedinih blokova. Naime, za postizanje kombinovanih transformacija, potrebno je koristiti Kronekerov proizvod transformacionih matrica. Imajući u vidu prirodu signala koja se dobija Kronekerovim proizvodom primijenjenim nad čitavom slikom u odnosu na kompoziciju Kronekerovih proizvoda za transformaciju pojedinačnih blokova, neophodno je modifikovati prostornu strukturu piksela razmatrane slike. Modifikacija treba da obezbijedi analogiju sa jednodimenzionim slučajem i primjenjivost tih procedura kod dvodimenzionih signala.

U cilju verifikacije razvijenih teorijskih koncepata, eksperimentalni metodološki pristup će obuhvatiti testiranje predloženih koncepata u realnim aplikacijama na većem broju različitih slučajeva. Testiranje kroz veći broj eksperimenata, koristeći različite tipove signala i transformacije, treba da da optimalni scenario za svaki od razmatranih slučajeva.

Posebna pažnja biće posvećena realnim jednodimenzionim i dvodimenzionim signalima i ekstrakciji, odnosno separaciji djelova signala od interesa. U dvodimenzionom slučaju, to će biti Moiré-ovi oblici za čiju ekstrakciju će biti upotrebljeni robusna statistika, rekonstrukcioni algoritmi, te prethodno opisane relacije kojima se kombinuju transformacioni domen. Pretpostavka je da periodična struktura Moiré-ovih oblika je takva da ima specifične spektralne karakteristike, kako na nivou pojedinačnih blokova slike, tako i na nivou prostorno modifikovane strukture kompletne slike. Robusna statistika koristiće se u segmentu, razdvajanja komponenata u kombinovanom transformacionom domenu. Imajući u vidu da primjena metoda robusne statistike uklanja određeni broj odbiraka, preostali dio signala se tretira kao signal sa nedostajućim odbircima za koji je potrebno obezbijediti efikasnu proceduru za rekonstrukciju. U svrhu testiranja razvijene metodologije odvajanja željenih komponenti i signala, biće korišćena baza standardizovanih testnih slika, kao i baza najčešće pojavljivanih oblika Moiré-ovih interferencija u digitalnoj televiziji, fotografiji i štamparskim uređajima. U jednodimenzionom slučaju, biće posmatrani tranzijenti signali koji se pojavljuju u distributivnim sistema, signali u biomedicinskim i radarskim sistemima. Dio ovih signala, kao što su biomedicinski signali, biće obezbijeden kroz base podataka sa otvorenim pristupom, kao i kroz saradnju sa istraživačima iz inostranstva, dok će signali vezani za distributivne mreže biti obezbijedeni kroz saradnju sa nacionalnim tehničkim institutom u

Grenoblu. Zadnji segment doktorske disertacije baviće se primjenom neuralnih mreža na klasifikaciju gore pomenutih signala. Značajan dio istraživanja biće posvećen slučajevima signala i slika sa nedostajućim odbircima, te njihovoj detekciji i prepoznavanja putem neuralnih mreža. Poseban akcenat će biti stavljen na poboljšanje efikasnosti neuralnih mreža kroz definisanje matematičkih modela koji će detekciju da učine statistički uspješnijom. Fokus kod neuralnih mreža će biti da se primijene relativno jednostavne mreže koje uz pomoć kompleksnih matematičkih metoda i algoritama mogu da odrade zahtjevne zadatke detekcije. Neki od razmatranih tehnika za unapređenje rada neuralnih mreža, biće i korištenje Parzen prozora i metoda k-tog najbližeg susjednog odbirka u cilju identifikacije najznačajnijih statističkih karakteristika za određeni signal, koje mogu poboljšati performanse detekcije.

**B4. Naučni doprinos**

- Definisane relacije koja precizira mogućnost primjene Kramer-Rao granice, minimalne varijanse u slučaju signala sa nedostajućim odbircima.
- Definisane procedure za selekciju i odvajanja neželjenih interferencija kod slika na bazi predloženog pristupa kombinovanih transformacija
- Kombinovanje matematičkih modela i algoritama sa postojećim neuralnim mrežama u cilju efikasne detekcije i klasifikacije, u kontekstu principa *deep unfolding-a*.
- Rezultati istraživanja će biti publikovani u tri naučna rada SCI/SCIE

**B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja: /**
**Mišljenje i prijedlog komisije**

Nakon usmene odbrane polaznih istraživanja, a imajući u vidu prijavu teme doktorske disertacije, Komisija za ocjenu prijave teme doktorske disertacije daje pozitivnu ocjenu polaznih istraživanja kandidata MSc Đorđa Stankovića. Komisija je mišljenja da je tema istraživanja aktuelna, čemu svjedoči kvalitet rezultata koje je kandidat predstavio tokom usmene odbrane. Stoga, tema istraživanja odgovara standardima doktorskih studija a dosadašnji rezultati predstavljaju vrijedan doprinos primjenama neuralnih mreža za estimaciju i klasifikaciju signala.

S obzirom na prethodno navedeno, Komisija je jednoglasno zaključila da je kandidat uspješno odbranio polazna istraživanja i stoga predlaže Vijeću Elektrotehničkog fakulteta i Senatu Univerziteta Crne Gore da odobre dalji rad na doktorskoj disertaciji.

**Prijedlog izmjene naslova**

(po potrebi predložiti izmjenu naslova)

**Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora**

(titula, ime i prezime, ustanova)

**Planirana odbrana doktorske disertacije**

Jun 2025.


**Izdvojeno mišljenje**

(popuniti ukoliko neki član komisije ima izdvojeno mišljenje)

Ime i prezime

**Napomena**

(popuniti po potrebi)

<b>ZAKLJUČAK</b>		
Predložena tema po svom sadržaju <b>odgovara</b> nivou doktorskih studija.	<b>DA</b>	NE
Tema <b>je</b> originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	<b>DA</b>	NE
Kandidat <b>može</b> na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	<b>DA</b>	NE
<b>Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata</b>		
Prof. dr Miloš Daković, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, predsjednik komisije	<i>M. Daković</i>	
Prof. dr Nedeljko Lekić, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije	<i>N. Lekić</i>	
Prof. dr Irena Orović, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, mentor	<i>I. Orović</i>	
Prof. dr Cornel Ioana, vanredni profesor, Institute Polytechnique de Grenoble (INP UGA), Francuska, komentor	<i>Ioana</i>	
Doc. dr Miloš Brajović, docent, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije	<i>M. Brajović</i>	
U Podgorici, <i>14.01.24.</i>		
		DEKAN <i>I. Jovanić</i>

**PRILOG**

<b>PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA</b>	
Prof. dr Miloš Daković, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, predsjednik komisije	1. Da li su Vaša dosadašnja istraživanja publikovana u naučnim radovima?
	2. Planirate li ilustrovati razvijene metode na realnim signalima? Na kojim?
Prof. dr Nedeljko Lekić, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije	1. U kom domenu (analognom ili digitalnom) se može implementirati metoda estimacija funkcije gustine vjerovatnoće korišćenjem Parzen prozora?
Prof. dr Irena Orović, redovni profesor, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, mentor	1. Koje vrste prozora se mogu koristiti u Parzen pristupu i koje su prednosti i nedostaci različitih vrsta prozora u kontekstu primjene u predloženim metodama?
Prof. dr Cornel Ioana, vanredni profesor, Institute Polytechnique de	1. Da li se razvijene metode mogu primijeniti na tranzijentne signale?

Grenoble (INP UGA), Francuska, komentor	2. Interesantno bi bilo razmotriti mogućnost primjene predloženih metoda u „time-of-arrival-estimation - TOA“ i porediti sa već postojećim metodama za TOA estimaciju.
Doc. dr Miloš Brajović, docent, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora, član komisije	1. Zašto su odabrane rekurentne neuralne mreže u predloženim metodama? Koja je prednost Hopfield mreža u odnosu na druge vrste neuralnih mreža?
<b>PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI</b>	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
<b>ZNAČAJNI KOMENTARI</b>	



Na osnovu člana 33 Zakona o upravnom postupku ("Službeni list CG", br. 56/14, 20/15, 40/16 i 37/17), člana 115 Zakona o visokom obrazovanju ("Službeni list CG", br. 44/14, 52/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19, 17/19, 47/19, 72/19, 74/20 104/21) i službene evidencije, a po zahtjevu studenta Stanković Srđan Đorđe, izdaje se

## UVJERENJE O POLOŽENIM ISPITIMA

Student **Stanković Srđan Đorđe**, rođen **13-09-1997** godine u mjestu **Podgorica**, opština **Podgorica**, Republika **Crna Gora**, upisan je studijske **2022/2023** godine, u **I** godinu studija, kao student koji se **samofinansira** na **doktorske akademske studije**, studijski program **ELEKTROTEHNIKA**, koji realizuje **ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET** - Podgorica Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom **180** ECTS kredita.

Student je položio ispite iz sljedećih predmeta:

Redni broj	Semestar	Naziv predmeta	Ocjena	Uspjeh	Broj ECTS kredita
1.	1	ANALIZA BIOMEDICINSKIH SIGNALA I SISTEMA	"A"	(odličan)	8.00
2.	1	ISTORIJA IDEJA I TEORIJA U ELEKTROTEHNICI	"A"	(odličan)	8.00
3.	1	KOMPRIMOVANO OČITAVANJE I REKONSTRUKCIJE SIGNALA	"A"	(odličan)	8.00
4.	1	METODOLOGIJA NAUČNO-ISTRAŽIVAČKOG RADA	"A"	(odličan)	8.00
5.	1	TEORIJA DETEKCIJE I ESTIMACIJE	"A"	(odličan)	8.00

Zaključno sa rednim brojem **5**.

Ostvareni uspjeh u toku dosadašnjih studija je:

- srednja ocjena položenih ispita **"A" (10.00)**
- ukupan broj osvojenih ECTS kredita **40.00** ili **66.67%**
- indeks uspjeha **6.67**.

*Uvjerenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).*

Broj:  
Podgorica, 22.01.2024 godine



SEKRETAR,  
PO OVLASĆENJU SEKRETARA  
Referent studentske službe  
*Olivera Vukić*