



Dr Đorđe Babić, vanredni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union, predsednik komisije

Dr Desimir Vučić, vanredni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union, mentor

Dr Mirjana Radivojević, vanredni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union, član

Ocena doktorske disertacije

Selene Vukotić, IZVEŠTAJ.-

SENATU UNIVERZITETA UNION U BEOGRADU

Odlukom Senata Univerziteta Union u Beogradu, br. A-121-01/18 od 16.04.2018., određeni smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije mast. inž. elektr. i računar. Selene Vukotić, dipl.inž. pod nazivom:

„ZDRUŽENA DETEKCIJA I KLASIFIKACIJA OFDM SIGNALA NA BAZI CIKLIČNIH OBELEŽJA I SKRIVENIH MARKOVLJEVIH MODELA“

Nakon proučavanja podnete dokumentacije, Zakona o visokom obrazovanju i Pravilnika o doktorskim studijama na Univerzitetu u Beogradu, postupka pripreme i uslova za odbranu doktorske disertacije, podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

Mast. inž. elektr. i računar. Selena Vukotić, dipl.inž. je prijavila temu doktorske disertacije pod naslovom „Združena detekcija i klasifikacija OFDM signala na bazi cikličnih obeležja i skrivenih Markovljevih modela“, koju je prihvatilo Nastavno-naučno veće Računarskog fakulteta na 107. Sednici, održanoj 19.09.2016. godine, i za mentora se određuje vanredni profesor Računarskog fakulteta, prof. dr Desimir Vučić. Nakon izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije, Senat Univerziteta Union je dao Saglasnost na odluku o prihvatanju teme doktorske disertacije i određivanju mentora. Po prijemu završene doktorske disertacije i izveštaju mentora, na osnovu predloga Nastavno-naučno veća Računarskog fakulteta, Senat Univerziteta Union je imenovao Komisiju za ocenu i odbranu ove doktorske disertacije.

Selena Vukotić je rođena 1983. godine. Osnovne studije je završila 2008. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na Odseku za telekomunikacije i informacione tehnologije, Smer sistemsko inženjerstvo, čime je stekla zvanje diplomiranog inženjera elektrotehnike. Master studije je završila 2009. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Elektrotehnika i računarstvo, sa master radom „Uticaj tempa na statističku raspodelu nivoa muzičkih signala“, čime je stekla akademski naziv master inženjer elektrotehnike i računarstva. Upisala se na doktorske studije 2010. godine na Računarskom fakultetu Univerziteta Union na studijskom programu Obrada signala u telekomunikacijama. Od školske 2010/2011 radi na Računarskom fakultetu kao asistent. Od 2012. godine je angažovana na projektu Ministarstva prosvete,



nauke i tehnološkog razvoja, “Napredne tehnike efikasnog korišćenja spektra u bežičnim sistemima”, TR 32028.

Doktorska disertacija mast. inž. elektr. i računar. Selene Vukotić, dipl.inž. je obima 125 stranice, a pored toga sadrži apstrakt na srpskom i engleskom jeziku, kao i spisak od 56 slika i 17 tabela sa odgovarajućim nazivima. Literatura sadrži 90 naslova, navođena je posle svakog poglavlja, a sadrži članke iz časopisa ili zbornika radova sa simpozijuma ili naučnih konferencija, knjige, doktorske disertacije i ostale publikacije.

Osnovni predmet istraživanja ove disertacije je združena detekcija i klasifikacija OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) signala na bazi njihovih profila cikličnog spektra i spektralne koherencije u domenu cikličnih frekvencija, a primenom skrivenih Markovljevih modela. Razmatrane su OFDM/QAM, OFDM/OQAM i SC-FDMA interesantne i kompleksne klase signala, a sve u kontekstu aktuelne primene opažanja spektra u kognitivnom radiju.

Disertacija je obrađena kroz sledeća poglavlja:

Uvod

1. Ciklična spektralna analiza
 2. OFDM signali
 3. Skriveni Markovljevi modeli
 4. Združena detekcija i klasifikacija OFDM signala na bazi cikličnih obeležja i skrivenih Markovljevih modela
 5. Estimacija dužine i reda polinomijalnih filtara implementiranih u formi Farovljeve strukture
- Zaključak

U *uvodnom* poglavlju je data motivacija za istraživanjem i uvodna analiza problema koji su predmet istraživanja ove disertacije.

U *poglavlju 1* su izložene osnove ciklične spektralne analize signala u vremenskom i frekvencijskom domenu. Razmatran je nestohastički i stohastički pristup. Definisana je ciklična autokorelaciona funkcija, ciklični spektar i ciklična spektralna koherencija ciklostacionarnih signala. Posebno su razmatrani profili cikličnog spektra i spektralne koherencije koji se, u ovoj disertaciji, koriste za detekciju i klasifikaciju OFDM signala.

U *poglavlju 2* su analizirane klase OFDM signala i to OFDM/QAM, OFDM/OQAM i SC-FDMA, čija je združena detekcija i klasifikacija predmet istraživanja u ovoj disertaciji. Razmatrana je struktura ovih signala u kontinualnom i diskretnom vremenu. Posebno je razmatrana efikasna implementacija OFDM/OQAM modulatora u MATLAB-u. Analizirana su ciklična obeležja ovih klasa signala, a posebno ciklični spektar i spektralna koherencija, kao i njihovi profili (tzv. α -profili) u domenu ciklične frekvencije (*CDP- Cycle frequency Domain Profile*).

U *poglavlju 3* su razmatrani skriveni Markovljevi modeli (HMM - *Hidden Markov Models*). Izložene su terorijske osnove i objašnjeni parametri koji u potpunosti definišu HMM, a takođe je opisan i postupak klasifikacije signala pomoću HMM, što je korišćeno u ovoj disertaciji.

U *poglavlju 4* je razmatrana primena HMM u združenoj detekciji i klasifikaciji OFDM signala na bazi njihovih α -profila spektralne koherencije ili cikličnog spektra. Ispitana su dva pristupa, gde je u jednom detekcija zasnovana na pragu, a klasifikacija na HMM, dok su u drugom i detekcija i klasifikacija zasnovani na HMM. Analizirane su performanse predloženih metoda združene detekcije i



klasifikacije OFDM signala u odnosu na SNR (*Signal-to-Noise ratio*) i veličinu opservacionog segmenta.

U poglavlju 5 su razmatrani digitalni interpolacioni filtri bazirani na polinomima (*digital polynomial-based interpolation filters*), koji se mogu koristiti kao prototip filtri, a sve u kontekstu aktuelnih istraživanja u realizaciji OFDM sistema na bazi filtarskih banaka.

Zaključak sadrži rezime najvažnijih naučnih doprinosa koji su rezultat istraživanja u ovoj disertaciji, kao i neke buduće pravce istraživanja u ovoj oblasti.

Komisija smatra da su najvažniji naučni doprinosi postignuti izradom ove disertacije sledeći:

- Analizirana su ciklična obeležja OFDM signala, posebno OFDM/OQAM. Pokazano je analitički i simulacijom da OFDM/OQAM signali sa uobličavanjem impulsa sadrže karakteristična i izražena konjugovana ciklična obeležja na cikličnim frekvencijama koje se pridružuju dvostrukoj frekvenciji nosioca, a što znatno poboljšava performanse detekcije i klasifikacije ovakih signala bez uvođenja signalizacione redundanse (*overhead*) kao što su ciklostacionarne signature.
- Primenjeni su skriveni Markovljevi modeli u združenoj detekciji i klasifikaciji vrlo interesantnih klasa OFDM signala (OFDM/QAM, OFDM/OQAM i SC-FDMA). I pored njihove vrlo slične i složene strukture, mogućnost združene detekcije i klasifikacije ovih signala na bazi njihovih α -profila ciklične spektralne koherencije i cikličnog spektra, čak i pri vrlo malom SNR, verifikovana je simulacijom u MATLAB-u.
- Predložena je implementacija OFDM/OQAM modulatora u MATLAB-u, koji se bazira na računski efikasnoj implementacionoj šemi, dobijenoj na osnovu teorije o filtarskim bankama i polifazne dekompozicije prototip filtra. Takođe je opisan metod, i dat kod u MATLAB-u, za projektovanje filtera za uobličavanje impulsa koji ispunjavaju uslove diskretne ortogonalnosti u vremenu i dobre vremensko-frekvencijske lokalizacije.
- Izvedene su formule za procenu reda polinoma i broja polinomijalnih segmenata interpolacionih filtera baziranih na polinomima, a koji se mogu koristiti kao prototip filtri za projektovanje filtarske banke.

Rezultati istraživanja koji su prikazani u ovoj disertaciji, s obzirom na pokazane prednosti, pružaju nove mogućnosti u analizi i proceni cikličnih obeležja OFDM signala, posebno OFDM/OQAM, kao i u primeni HMM u klasifikaciji profila cikličnih obeležja (spektralne koherencije i cikličnog spektra) razmatranih OFDM klasa signala.

Najvažniji rezultati istraživanja prikazani u ovoj disertaciji su, takođe, verifikovani objavljivanjem u 2 međunarodna časopisa sa SCI liste ([1], [2]) i na 7 međunarodnih konferencija, gde je Selena Vukotić autor ili koautor:

- [1] Desimir Vučić, Selena Vukotić, and Miljko Erić, Cyclic Spectral Analysis of OFDM/OQAM Signals, International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), Volume 73, March 2017, Pages 139–143.
- [2] Selena Vukotić, Đorđe Babić, “Estimation of Length and Order of Polynomial-based Filter Implemented in the Form of Farrow Structure”, Engineering, Technology & Applied Science Research, VOL. 6, NO. 4, August 2016, Pages 1099-1102.



- [3] Selena Vukotić, Jovana Božić, Desimir Vučić, "Ciklična detekcija i klasifikacija signala primenom skrivenih Markovljevih modela", Zbornik radova, 20. telekomunikacioni forum-TELFOR 2012, Beograd, 20-22 novembra 2012., ISBN: 978-1-4673-2984-2, str. 362-365.
- [4] Selena Vukotić, Desimir Vučić, "Detekcija i klasifikacija OFDMA i SC-FDMA signala na bazi ciklostacionarnih obeležja", Zbornik 57. konferencije ETRAN, Zlatibor, 3-6. juna 2013, str. EK1.5.1-5.
- [5] Selena Vukotić, Desimir Vučić, "An efficient MATLAB implementation of OFDM/OQAM modulator", IcETAN, Zlatibor, 2-5. juna 2014, EK123, ISBN: 978-86-80509-70-9.
- [6] Đorđe Babić, Selena Vukotić, "Estimation of the number of polynomial segments and the polynomial order of prolonged Farrow structure", TELFOR, Beograd, 25.-27. novembra 2014, ISBN: 978-147996190-0.
- [7] Selena Vukotić, Desimir Vučić, "An Efficient MATLAB Implementation of OFDM/OQAM Modulator with Orthogonal Pulse Shaping Filters", ICIST 2015, ISSN/ISBN 978-86-85525-16-2, Vol. 2, Kopaonik, 8-11 mart 2015.
- [8] Selena Vukotić, Desimir Vučić, "Detekcija i klasifikacija OFDM/QAM i OFDM/OQAM signala na bazi ciklostacionarnih obeležja", TELFOR 2015, ISSN/ISBN 978-1-5090-0054-8, Beograd, 24-26 novembra 2015.
- [9] Selena Vukotić, Desimir Vučić, Zdržena detekcija i klasifikacija OFDM/QAM, OFDM/OQAM i SC-FDMA signala na bazi cikličnih obeležja, TELFOR 2016, ISBN: 978-1-5090-4085-8, Beograd, 22-23 novembra, 2016.

Disertacija je pisana u skladu sa standardnom metodologijom pisanja naučnih radova. Obrada teme i predmet istraživanja doktorske disertacije su obavljani odgovarajućim naučnom metodom. Dobijeni rezultati i zaključci su naučno zasnovani, pravilno iskazani i argumentovani.

Na osnovu svega iznetog, komisija smatra da je kandidat, mast. inž. elektr. i računar. Selena Vukotić, dipl. inž. u potpunosti i korektno obradila problem istraživanja, ispunila cilj istraživanja postavljen u disertaciji i da se njena doktorska disertacija pod nazivom


„ZDRUŽENA DETEKCIJA I KLASIFIKACIJA OFDM SIGNALA NA BAZI CIKLIČNIH
OBELEŽJA I SKRIVENIH MARKOVLJEVIH MODELA“

prihvata u predatom obliku i ispunjava sve potrebne uslove za usmenu javnu odbranu.

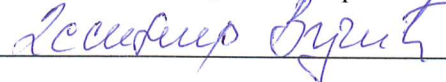
Beograd, 23.04.2018.

KOMISIJA

Dr Đorđe Babić, vanredni profesor, predsednik komisije



Dr Desimir Vučić, vanredni profesor, mentor



Dr Mirjana Radivojević, vanredni profesor, član

