

VEĆU DEPARTMANA ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE I MEĐUNARODNU SARADNJU UNIVERZITETA SINGIDUNUM

Odlukom Veća Departmana za poslediplomske studije i međunarodnu saradnju Univerziteta Singidunum, broj: 4-112/2015 od 30.03.2015.godine, određeni smo za članove Komisije za pregled, ocenu i usmenu odbranu doktorske disertacije mr. ing. Pavla D. Kostića, pod nazivom: "*Novi model analogije veštačkih i bioloških kognitivnih struktura baziran na svojstvima fraktalne modularizacije celularnih neuralnih mreža*".

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala, Komisija je sačinila sledeći

REFERAT

1. UVOD

1.1 Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Pavle Kostić je 26.12.2014. godine podneo molbu za odobrenje teze i izradu doktorske disertacije Veću Departmana za poslediplomske studije i međunarodnu saradnju Univerziteta Singidunum. Odlukom Veća Departmana za poslediplomske studije i međunarodnu saradnju Univerziteta Singidunum, broj: 4-112/2015 od 23.01.2015. godine, formirana je Komisijau sastavu:

1. dr Miroslav Lutovac, redovni profesor, Univerzitet Singidunum, Beograd
2. dr Mladen Veinović, redovni profesor, Univerzitet Singidunum, Beograd
3. dr Vladimir Mladenović, docent, Univerzitet u Kragujevcu, TF Čačak

za ocenu teme i podobnosti kandidata za izradu doktorske disertacije pod nazivom: "*Novi model analogije veštačkih i bioloških kognitivnih struktura baziran na svojstvima fraktalne modularizacije celularnih neuralnih mreža*". Na osnovu pozitivnog izveštaja Komisije Senat Univerziteta Singidunum je 2015. godine odobrio rad na izradi doktorske disertacije. Za mentora je imenovan prof. dr Miroslav Lutovac. Određena je komisija za ocenu disertacije u istom sastavu 27.01.2015. godine. Završnu verzija doktorske disertacije u elektronskom i štampanom obliku Pavle Kostić je predao Univerzitetu 15. 05. 2015. godine.

1.2 Naučna oblast disertacije

Tema disertacije kandidata je u oblasti tehničkih nauka, za koju je Tehnički Fakultet Univerziteta Singidunum matičan.

1.3 Biografski podaci o kandidatu

Pavle Kostić je rođen 17.11.1971. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu je upisao 1989. godine. Diplomirao je 1995. godine na Odseku za Računarsku tehniku i informatiku sa prosečnom ocenom u toku studija 9.01 i ocenom na diplomskom ispitu 10.

Poslediplomske studije je upisao na Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu na smeru za Teoriju električnih kola i sistema. Ispite na poslediplomskim studijama je položio sa prosečnom ocenom 10. Magistarski rad pod nazivom: "Rešavanje nekih optimizacionih problema pomoću celularnih neuralnih mreža primenom fraktalne modularizacije" je odbranio 2000. godine.

Na Elektrotehničkom fakultetu je radio kao asistent-pripravnik na katedri za Opštu elektrotehniku u periodu od 1995. do 2000. god. a do 2004. god. je bio angažovan u organizaciji i izvođenju nastave kao spoljni saradnik - predavač. Od 2000. god. je radio kao tehnički direktor u firmama "D&P" (2000. – 2003.), "Visaris" (2003. – 2005.) i "OmniLogika" (2005. – 2011.). Od oktobra 2011. godine je zaposlen u Institutu "Mihajlo Pupin".

Pavle Kostić ima dugogodišnje radno iskustvo u razvoju i implementaciji informacionih sistema i tehnologija, a u naučnom i stručnom domenu se bavi istraživanjima iz oblasti softverskog inženjerstva, bioinženjeringa i telemedicine, digitalne obrade slike i veštačkih neuralnih mreža. U dosadašnjem radu je objavio preko 80 naučnih i stručnih radova, na domaćim i međunarodnim skupovima i u domaćim i međunarodnim časopisima i publikacijama, i bio koautor na većem broju tehničkih rešenja i softverskih aplikacija.

Kandidat je koautor tri monografske studije kategorije M14 - poglavlje u knjizi M12 ili rad u tematskom zborniku međunarodnog značaja, dva rada u časopisu međunarodnog značaja (jedan M21, i jedan M23), imao je dva predavanja po pozivu na međunarodnom skupu štampano u celini (M31), jedno predavanje po pozivu na međunarodnom skupu štampano u izvodu (M32), 31 rad na međunarodnom skupu štampanih u celini (M33), 5 radova saopštenih na međunarodnom skupu štampano u izvodu, jedno poglavlje u knjizi kategorije M42, jedan rad u časopisu nacionalnog značaja kategorije M52, šest radova u naučnim časopisima, 34 radova na nacionalnim skupovima štampanih u celini (M63), dva rada na nacionalnim skupovima štampanih u izvodu (M64). Kandidat ima realizovano pet tehničkih rešenja kategorije M81, jedno tehničko rešenje kategorije M83, dva tehnička rešenja kategorije M84. Učestvovao je u u tri naučna-stručna projektima u periodu od 2008 do danas. U skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, Sl. glasnik RS 38/2008, kandidat je u ovom periodu stekao 143 poena.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1 Sadržaj disertacije

Doktorska disertacijapod naslovom: *"Novi model analogije veštačkih i bioloških kognitivnih struktura baziran na svojstvima fraktalne modularizacije celularnih neuralnih*

mreža” ima ukupno 180 strana. Disertacija ima šest poglavlja, spisak literature i tri priloga. Poglavlja su:

1. Uvod, 9 strana
2. Fraktalna modularizacija u veštačkim Celularnim neuralnim mrežama (CNM), 13 strana
3. Pregled savremenih istraživanja iz oblasti neuronauka, 34 strane
4. Identifikacija bitnih karakteristika sličnosti bioloških neurostrukura sa fraktalno-modularnim CNM, 33 strane
5. Analogije na nižim nivoima kognitivnih procesa (sličnost fizičkih odnosno funkcionalnih modela nekih klasa fraktalno-modularnih CNM sa identifikovanim biološkim strukturama), 10 strana
6. Analogije na višim nivoima kognitivnih procesa (bihevioralna sličnost višeslojnih fraktalno-modularnih CNM i hijerarhijske anatomije viših kognitivnih nivoa mozga), 13 strana
7. Zaključak i završna razmatranja, 12 strana
8. Prilozi, 18 strana

U disertaciji ima ukupno 32 slike, 7 tabela i 57 numerisanih izraza. Literatura sadrži 216 bibliografskih jedinica.

2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodu su prikazane ideje vodilje koje su motivisale istraživački rad na temi disertacije. Istaknuta je aktuelnost teme i dat presek do sada objavljenih rezultata u ovoj oblasti. Ukazano je na nedostatke postojećih modela kao i nova saznanja i rezultate u oblasti neuronauka koji daju osnove za izradu novog modela analogije. Navedeni su originalni naučni doprinosi teze i kratak pregled preostalih poglavlja kao i opsi metodologije, osnovnih ciljeva i rezultata.

Drugo poglavlje je organizovano u četiri dela. U prvom, uvodnom delu, dat je pregled tumačenja i formulisane su utemeljene definicije ključnih pojmova (modularnosti i fraktalnosti) koji se pojavljuju u kontekstu ove disertacije. Zatim su opisane veštačke celularne neuralne mreže (CNM), njihove osnovne karakteristike i modeli. U trećem delu uvedene su i same fraktalno-modularne CNM, i metoda fraktalne modularizacije kojima se one sintetišu, kao i njihove osnovne karakteristike koje ih čine specifičnim u odnosu na klasične CNM. U četvrtoj sekciji prvog poglavlja je dat pregled spektra primena fraktalno-modularnih CNM u neurokognitivnim i srodnim procesima od interesa za temu ove disertacije.

U trećem poglavlju je izvršena meta-analiza savremenih istraživanja iz oblasti neuronauka, a posebno u vezi strukturalnih, funkcionalnih i bihevioralnih modela bioloških neurokognitivnih struktura, od interesa za uspostavljanje kriterijuma i model analogije sa fraktalno-modularnim CNM. Opisana je metodologija sistematskog pregleda i meta-analize naučnih rezultata, koja je primenjena na istraživanje dostupne literature i sistematizaciju najnovijih saznanja iz oblasti od interesa za uspostavljanje novog modela analogije. U posebnim sekcijama posebno su istražene i sistematizavani modeli koji se odnose na strukturalne karakteristike, topologiju i modularnost, u biološkim neurostrukturama, kao i neurodinamičke modele nižih i viših kognitivnih slojeva bioloških neurosistema. Akcenat je na praćenju progressa u sagledavanju topoloških i funkcionalnih svojstava na različitim nivoima korteksa i neurofizioloških struktura, identifikaciji

funkcionalnih i procesnih modela, kao i interpretaciji tih rezultata u smislu približavanja matematičkom modelovanju kao osnovi za egzaktno posmatranje i razumevanje bihevioralnih svojstava kognitivnih procesa.

Originalni naučni doprinos kandidata izložen je u poglavljima tri, četiri i pet.

U četvrtom poglavlju je, na osnovu rezultata meta-analize i sistematizacije postojećih modela, izvršena prvo domenska klasifikacija a zatim i identifikacija bitnih karakteristika po svakom od ovih domena (strukturalnom – neuroanatomskom, funkcionalnom - neurofiziološkom i bihevioralnom - neuropsihološkom). Za svaku od identifikovanih bitnih karakteristika dodatno su određeni parametri odnosno osobenosti koje ih determinišu, tako da je formiran model meta-svojstava koji je baziran na utemeljenim i priznatim modelima bioloških neurokognitivnih struktura. Na osnovu identifikovanih ključnih karakteristika u strukturalnom odnosno topološkom domenu, formulisan je model analogije i pokazano je da ovakav novi model može da se primeni na usostavljanje visoke korelacije bitnih karakteristika fraktalno-modularnih CNM sa biološkim neurokognitivnim strukturama na različitim kortikalnim nivoima.

U petom poglavlju je formulisan model funkcionalne analogije odnosno model analogije u kojem se posmatraju neurodinamičke karakteristike i svojstva, posebno na nižim kognitivnim nivoima (pojedinačni neuroni i manji kolektiviteti). Ovde je poseban akcenat stavljen na matematičku ekvivalenciju dinamičkih modela, uz pogodnu homogenizaciju prostora stanja sistema koji se posmatra (prevođenje u informatički domen, posmatranje dinamike učestanosti okidanja odnosno aktivacije neurona). Ovako homogenizovan model, uz opravdane linearizacije, omogućava egzaktno uspostavljanje ekvivalencije a samim tim i visoke korelacije ključnih neurodinamičkih karakteristika bioloških i veštačkih fraktalno-modularnih sistema.

U šestom poglavlju je formulisan i evaluiran model analogije na višim kognitivnim nivoima, gde se posmatraju veće neurostrukture i ponašanja većih kolektiviteta neurona koji se teže modeluju pouzdanim matematičkim modelima. I na ovom novu je pokazano da identifikovane bitne karakteristike, posebno neurodinamike i bihevioralnih karakteristika energetske dinamike, mogu da uspostave snažnu korelaciju i visok nivo analogije između bioloških i fraktalno-modularnih CNM, uz određene pretpostavke i apstrakcije koje su posebno istaknute.

U zaključku su navedeni osnovni doprinosi disertacije i date su smernice za moguća dalja istraživanja u ovoj oblasti.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1 Savremenost i originalnost

Razvoj novih biomedicinskih tehnologija u skorije vreme doprineo je naglom progresu u neuronaukama posebno u oblastima koje se bave fiziologijom i kognitivnim svojstvima neuralnih sistema (moždanih struktura poput vizuelnog korteksa i sl.). Kvantifikacija, merenje i napredno eksperimentalno sagledavanje fizioloških procesa dovelo je do dubinskog razumevanja

mnogih segmenata ovih fizioloških procesa (senzorskih stimulusa, prenosa tih stimulusa kroz neuronske strukture, reakcije i ponašanja kako pojedinačnih tako i grupnih struktur i sl.) na raznim nivoima nerufizioloških struktura.

Sistemske posmatrano, fiziološki procesi na nižim nivoima korteksa i kognitivni procesi na višim nivoima su međusobno povezani i uslovljeni. To dovodi do problema u ne samo posmatranju i analizi već i u modelovanju tih procesa u terminima koji bi omogućili njihovu egzaktniju analizu i sintezu. Trenutno se veliki napori ulažu u matematičko odnosno „inženjersko“ modelovanje tih procesa na svim nivoima. Jedan od najvećih naučno-istraživačkih projekata u Evropskoj Uniji pod naslovom „*Human Brain Project*“ je upravo posvećen i ovoj temi. U okviru ovog projekta, posebna oblast se bavi upravo razvojem sveobuhvatne teorije funkcionisanja mozga.

Ipak, iako su na rapsolaganju obilje novih podataka i mogućnosti za eksperimentalne analize, sistemsko modelovanje je vrlo složeno jer se radi o *de facto* reverznom inženjeringu - biološki sistemi se analiziraju „spolja“ (jer bi interferencija „unutar“ njih mogla dovesti do nepredvidivih poremećaja koji onda remete ili potpuno obespredmećuju eksperiment) odnosno inženjerski gledano predstavljaju „crne kutije“. Takve „komponente“ se sada zahvaljujući novim tehnologijama lakše identifikuju i mere se signali na njima, ali je njihova unutrašnja struktura i matematičko modelovanje još uvek veoma kompleksno. Dakle, savremena biomedicinska tehnologija je doprinela da se sada lakše uočava i identifikuje topološka struktura (fizička povezanost) u neuroanatomskim sistemima, da se preciznije i pouzdanije mere signali i posmatra vremensko-prostorna dinamika neurofizioloških signala, ali je i dalje vrlo aktuelno i otvoreno pitanje razmevanja unutrašnjih procesa, funkcionalnih i procesnih modela kako struktura na nižim nivoima (od pojedinačnih neuron, manjih grupa i struktura primarnih nivoa korteksa) tako i ukupnog funkcionalnog modela ka srednjim i višim strukturama gde se već govori o kognitivnim procesima odnosno svesnoj inteligenciji.

U ovoj disertaciji je kao osnovna teza postavljena pretpostavka da fraktalno-modularne CNM imaju analogiju odnosno značajne sličnosti u bitnim karakteristikama sa biološkim neurokognitivnim strukturama. Metodom meta-analize savremenih istraživanja i saznanja iz ključnih oblasti neuronauka (neuroanatomije, neurofiziologije i neuropsihologije u biomedicinskom domenu i komputacione neuronauke i teorije električnih kola, u inženjerskom domenu) identifikovane su ključne karakteristike i analogna svojstva, detaljnije definisane nizom odlika koje određuju svaku od njih, koje se mogu smatrati da su potvrđene kao bitne i široko prisutne u različitim neurokognitivnim strukturama (slojevima i kolektivitetima neurona različitih bioloških vrsta, od neuroloških sistema primitivnih organizama do ljudskog mozga). Time je formulisan meta-model analogije odnosno korelacije (sličnosti) koji omogućava da se na sistematizovan i naučno utemeljen način može povući paralela odnosno izvršiti validacija i kvalifikacija (vrednovanje nivoa korelacije odnosno sličnosti) po svakom od ovih kriterijuma, u svakom od ključnih domena (strukturalnom – neuroanatomskom, funkcionalnom – neurofiziološkom i biheviralnom - neuropsihološkom).

Važno je naglasiti da je koncept fraktalne modularnosti odnosno fraktalno-modularnih CNM, koji su osnova teze ove disertacije, upravo originalni rezultat autora ove disertacije koji je on izneo u svojoj magistarskoj tezi i brojnim radovima u kojima je autor ili koautor. U ovom kontekstu, kandidat je svoju originalnost potvrdio na korektan i uverljiv način objavljivanjem radova u međunarodnim monografijama i naučnim časopisima (kandidat je koautor tri

monografske studije kategorije M14 - poglavlje u knjizi M12 ili rad u tematskom zborniku međunarodnog značaja, dva rada u časopisu međunarodnog značaja - jedan M21, i jedan M23, kao i veći broj radovana međunarodnim i domaćim naučnim skupovima).

3.2 Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U izradi disertacije korišćena je obimna literatura iz oblasti neuronauka, modelovanja biloških neurokognitivnih struktura, polazeći od najnižih nivoa, pojedinačnih neurona i manjih kolektiviteta (*bottom-up* modeli) do najviših nivoa (*top-down* modeli). Takođe, značajna literatura je korišćena iz oblasti veštačkih neuralnih mreža, posebno celularnih neuralnih mreža kao i srodnih klasa rekurentnih mreža. Na osnovu tih referenci, originalni naučni rezultati do kojih je kandidat došao u disertaciji su stavljeni u korektan kontekst.

3.3 Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Kandidat je u svom istraživačkom radu koristio više različitih postupaka. Najpre je uvidom u literaturu, zajedno sa mentorom došao do zaključka o potrebi za razvojem novih modela analogije odnosno uspostavljanja egzaktnijih kriterijuma identifikacije i utvrđivanja bliskosti biloških neurostruktura i fraktalno-modularnih CNM. Detaljnom analizom raspoloživih rezultata i pristupa uočeni su nedostaci, sagledane su potencijalne mogućnosti i formulisan je cilj istraživanja: razvoj i promocija novog modela analogije veštačkih fraktalno-modularnih CNM i biloških neurokognitivnih struktura koji bi omogućio efikasnije i kvalitetnije sagledavanje veze strukturalnih, funkcionalnih i bihevioralnih svojstava odnosno sintezu novih klasa veštačkih neurokognitivnih sistema po ugledu na biološke.

U postupku razvoja novog modela, kandidat je pokazao samostalnost i inventivnost u izboru kriterijuma analogije, određivanju uslova i ograničenja pod kojima se analogija može uspostaviti (razvoj novog matematičkog modela neurodinamike baziran na analogiji informacionih a ne fizičkih modela stanja neurosistema), pokazao je da se model može uspešno primeniti u sva tri ključna domena karakterizacije (strukturalnom – neuroanatomskom, funkcionalnom - neurofiziološkom i bihevioralnom – neuropsihološkom) kao i da je model dovoljno robusan i održiv za primenu i u uslovima promena naučnih shvatanja i saznanja o prirodi biloških neurokognitivnih struktura i procesa u njima.

Prednosti i nedostaci predloženog pristupa i izvedenog modela analogije su kritički sagledani i na kraju disertacije su date smernice za moguća dalja istraživanja.

3.4 Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati do kojih je kandidat došao u svojoj disertaciji mogu imati neposrednu primenu u oblastianalizi (reverznog inženjeringa) i modelovanja biloških neurokognitivnih sistema, posebno u domenu veze funkcionalnih („kako radi“) i bihevioralnih svojstava („šta radi“) na srednjim i višim neurokognitivnim nivoima gde postoji jaz između većine postojećih modela (*bottom-up* i *top-down*). Takođe, novi model analogije omogućava i da se sintetišu nove klase

vštačkih fraktalno-modularnih CNM za konkretne kognitivne funkcije i aplikacije, po uzoru na biološke modele.

3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je u svom dosadašnjem radu pokazao kvalitete presudne za uspešan istraživački rad: sposobnost uočavanja problema i postavljanje korektnog cilja istraživanja, shvatanje i proširivanje teorijskih koncepata, originalnost, sposobnost da teorijske metode pretoči u sistematizovane logičke, matematičke i informatičke modele i algoritme, kao i da kritički analizira dobijene rezultate.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1 Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Originalni naučni doprinosi disertacije se mogu formulisati na sledeći način:

- Sistematizacija bitnih zajedničkih karakteristika fraktalno-modularnih CNM i bioloških neurokognitivnih struktura prema meta-analizi i sistematizaciji savrmenih saznanja i shvatanja u ovoj oblasti,
- Razvoj novog modela analogije fraktalno-modularnih CNM i bioloških neurokognitivnih struktura koji pokriva sva tri ključna domena karakterizacije (strukturalni – neuroanatomski, funkcionalni - neurofiziološki i bihevioralni – neuropsihološkom),
- Detaljna identifikacija i sistematizovana definicija (određivanje bitnih svojstava) svih bitnih karakteristika modela u sva tri domena karakterizacije,
- Pokazivanje visoke analogije strukturalnih, topoloških i organizacionih svojstava fraktalno-modularnih CNM i bioloških neurostruktura na različitim nivoima,
- Dokazivanje visoke funkcionalne analogije i posebno ekvivalencije neurodinamičkih informacionih modela fraktalno-modularnih CNM i bioloških neurona, primenom analize u režimu malih signala,
- Pokazivanje bliskosti bihevioralnih karakteristika odnosno bihevioralne analogije fraktalno-modularnih CNM i bioloških neurostruktura viših kognitivnih nivoa, posebno u domenu oscilatorne i talasne propagacije energije koja je posledica prethodno izvedene analogije na funkcionalnom neurodinamičkom nivou,
- Doprinos razvoju novog metodološkog pristupa identifikaciji i funkcionalnoj analizi (reverznom inženjeringu i modelovanju) bioloških neurokognitivnih struktura srednjih i viših nivoa, posebno transpozicijom posmatranja slojevitih struktura u fraktalno-modularne (vertikalna dekompozicija i posmatranje kroz module umesto slojeve).
- Približavanje *bottom-up* i *top-down* modela bioloških neurostruktura kroz novi, energetski fokusirani, analogni funkcionalni model koji stvara bližu vezu između strukture i kognitivne funkcije.

4.2 Kritička analiza rezultata istraživanja

U sklopu sistematskog pregleda i meta-analize aktuelnih saznanja i rezultata u ovoj oblasti, kandidat je razmatrajući raspoloživu literaturu u oblasti teme disertacije, izvršio kritičku analizu dostupnih informacija i korektno definisao cilj istraživanja. U istraživačkom radu

koristio je mogućnost kritičkog preispitivanja i pogodne načine verifikacije dobijenih rezultata, uključujući i formulisanje matematičkih i fizičkih ograničenja pod kojima se navedeni modeli mogu smatrati validnim. Svi razvijeni modeli analogije verifikovani su u odnosu na sistematizovane poznate modele (posebno *bottom-up* i *top-down* funkcionalne i dinamičke modele bioloških neurostrukture). Uočene su i prikazane prednosti i nedostaci predloženog pristupa i ukazano na smernice mogućih daljih istraživanja.

4.3 Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat je autor i koautor većeg broja radova u publikacijama i časopisima na SCI listi a koji su direktno vezani za temu ove disertacije:

M14:

B. Reljin, I. Krstić, P. Kostić, I. Reljin, D. Kandić, "CNN applications in modeling and solving non-electrical problems", Cellular Neural Networks: Theory and Applications, (A. Slavova and V. Mladenov, Editors), Chapter 7, pp. 135-172, Nova Science Publishers, USA, 2004., https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=362, ISBN: 1-59454-040-3

M21:

P. Bakić, N. Vujović, D. Brzaković, P. Kostić, B. Reljin, "CNN Paradigm Based Multilevel Halftoning of Digital Images", IEEE Trans. on Circ. and Sys., Vol. 44, No. 1, pp. 50-53, 1997. ISSN: 1549-8328 (ISI Rank: 2013: 46/248)

M23:

B. Reljin, P. Kostić, T. Serdar, and A. Pavasović, "Single-amplifier CNN cell suitable for VLSI CMOS implementation", Int. J. Circuit Theory & Applications, Vol. 24, pp. 649-655, 1996. ISSN: 0098-9886 (ISI Rank: 2013: 126/248)

M31:

B. Reljin, P. Kostić, "Cellular neural networks: Really 'Neural' or only 'Networks'?", Proc. 4th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Eng. (NEUREL97), pp. 72-77, Belgrade, Yugoslavia, 1997.

M33:

P. Kostić, B. Reljin, I. Reljin, "Cellular neural network for trajectory tracking and predicting", Proc. European Conference on Circ. Th. and Design (ECCTD99), pp. 956-959, Stresa, Italy, 1999.

B. Reljin, P. Kostić, "Novel Analogic Algorithm for Finding the Shortest-Path using Simple CNN Structure", Proc. 4th IEEE Int. Workshop on CNN and App. (CNNA96), pp. 423-426, Seville, Spain, 1996.

P. Bakić, B. Reljin, N. Vujović, D. Brzaković, P. Kostić, "Multilayer Transient-Mode CNN for Solving Optimization Problems", Proc. 4th IEEE Int. Workshop on CNN and App. (CNNA96), pp. 25-30, Seville, Spain, 1996.

B. Reljin, P. Bakić, P. Kostić, D. Brzaković, N. Vujović, "Local Enhancement of Images Using Cellular Neural Networks", Proc. 8th Inter. Symp. on Theoret. Elect. Engr. (ISTET95), pp. 642-645, Thessaloniki, Greece, 1995.

M. Milić and P. Kostić, "Solving Systems of Linear Algebraic Equations Using Cellular Neural Networks", Proc. European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD93), pp. 774-777, Davos, Switzerland, 1993.

Takođe, kandidat je autor i koautor i niza durgih radova i publikacija koje su indirektno povezane sa ovom temom, a spadaju u oblasti telemedicine, biomedicinskog inženjeringa, inteligentnih softverskih sistema itd. što sve ukazuje na dugogodišnji aktivan naučni doprinos kandidata u srodnim oblastima sa temom disertacije.

5. MIŠLJENJE KOMISIJE I PREDLOG

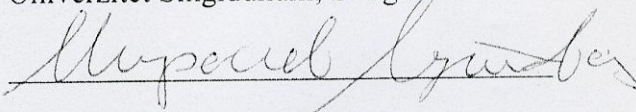
Na osnovu izloženog, komisija konstatuje da doktorska disertacija Pavla D. Kostića, magistra elektrotehnike, pod naslovom "*Novi model analogije veštačkih i bioloških kognitivnih struktura baziran na svojstvima fraktalne modularizacije celularnih neuralnih mreža*" ispunjava sve formalne i suštinske uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, kao i propisima univerziteta Singidunum u Beogradu. Doktorska disertacija Pavle Kostića sadrži naučne doprinose koji se sastoje u razvoju novih modela analogijeveštačkih fraktalno-modularnih celularnih neuralnih mreža i bioloških neurokognitivnih struktura, koji se može primeniti u modelovanju i funkcionalnoj analizi bioloških kao i u sintezi novih veštačkih neurostruktura.

Tokom celokupne izrade doktorske disertacije, kao i u prethodnom naučnoistraživačkom radu, kandidat je pokazao nesumnjivu sposobnost za samostalni naučnoistraživački rad. Stoga članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Veću departmana za poslediplomske studije i međunarodnu saradnju da se doktorska disertacija pod naslovom "*Novi model analogije veštačkih i bioloških kognitivnih struktura baziran na svojstvima fraktalne modularizacije celularnih neuralnih mreža*" kandidata Pavla D. Kostića, magistra elektrotehnike, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Senatu univerziteta Singidunuma u Beogradu.

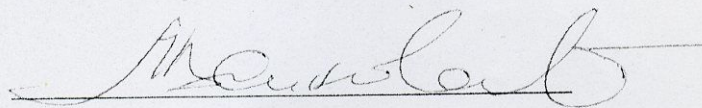
Beograd, 01. 06. 2015. Godine

Članovi komisije:

Prof. dr Miroslav Lutovac,
Univerzitet Singidunum, Beograd



Prof. dr Mladen Veinović,
Univerzitet Singidunum, Beograd



Doc. dr Vladimir Mladenović,
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet Tehn. Nauka Čačak

