

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Gorana Rakočevića

Odlukom br. 5001/08-3 14. 07. 2014. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Gorana Rakočevića pod naslovom

Mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama.

Posle pregleda dostavljenje disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija je sačinila sledeći:

### REFERAT

#### 1. UVOD

##### 1.1 Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Odlukom br. 2008/5001/1 Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta 12. 02. 2013. imenovana je Komisija za ocenu podobnosti teme i kandidata u sastavu prof. dr Veljko Milutinović, prof. dr Miroslav Bojović i prof. dr Miloš Kovačević. Komisija je u izveštaju sastavljenom 18. 03. 2013. ustanovila da je tema adekvatna i da je kandidat sposoban za izradu disertacije. Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta je 11. 06. 2013. donelo odluku o prihvatanju teme doktorske disertacije. Za mentora je imenovan prof. dr Veljko Milutinović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka je na sednici 08. 07. 2013. godine donelo odluku o davanju saglasnosti na predlog teme doktorske disertacije. Kandidat je na doktorske studije upisan 07. 11. 2008. godine. Po isteku zakonskog roka za završetak doktorskih akademskih studija, na zahtev studenta, odobreno je produženje roka za završetak ovih studija za još dva semestra, saglasno članu članu 92. stav 4 Statuta Univerziteta u Beogradu.

##### 1.2 Naučna oblast disertacije

Disertacija pripada naučnoj oblasti Računarske tehnike i informatike, za koju je Elektrotehnički fakultet matičan. Mentor prof. dr Veljko Milutinović je kompetentan za vođenje disertacije.

### 1.3 Biografski podaci o kandidatu

Goran Rakočević je rođen 30. 05. 1983. godine u Beogradu (Srbija). Diplomirao je 2007. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u oblasti Računarske tehnike i informatike. Od 2008. godine upisan je na doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na modulu za Računarsku tehniku i informatiku.

Od 2011. do 2013. godine je bio zaposlen na Matematičkom institutu Srpske akademije nauka i umetnosti, najpre u zvanju istraživača-pripravnika, a kasnije kao istraživač-saradnik. Angažovan je na projektu III44006: *Razvoj novih informaciono-komunikacionih tehnologija, korišćenjem naprednih matematičkih metoda, sa primenama u medicini, energetici, e-upravi, telekomunikacijama i zaštiti nacionalne baštine*, kao rukovodilac potprojekta *Razvoj inteligentih sistema baziranih na Data Mining strategijama*.

Počevši od 2007. godine Goran Rakočević je stekao značajno iskustvo u radu na međunarodnim projektima. Od 2011. godine angažovan je na Univerzitetu u Beogradu, u okviru projekta *BALCON: Boosting EU-Western Balkan Countries research collaboration in the Monitoring and Control area*, GA: 288076, finansiranom od strane Evropske komisije kroz Sedmi okvirni program. U periodu 2009–2011. godine bio je angažovan na Univerzitetu u Kragujevcu, u okviru projekta *ARTREAT: Multi-level patient-specific artery and atherogenesis model for outcome prediction, decision support treatment, and virtual hand-on training*, GA: 224297, takođe finansiranom od strane Evropske komisije kroz Sedmi okvirni program. U periodu 2007–2010. godine bio je angažovan na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u okviru projekta *ProSense: Promote, Mobilize, Reinforce and Integrate Wireless Sensor Networking Research and Researchers: Towards Pervasive Networking of West Balkan Countries and the EU*, GA: 205494, takođe finansiranom od strane Evropske komisije kroz Sedmi okvirni program.

Goran Rakočević je koautor pet radova objavljenih u časopisima sa ISI lista. Takođe je koautor 12 radova objavljenih na međunarodnim konferencijama. Autor i koautor je tri poglavlja u monografijama.

## **2. OPIS DISERTACIJE**

### 2.1 Sadržaj disertacije

Disertacija sadrži 116 strana i sastoji se iz 5 poglavlja. Tema disertacije su algoritmi za distribuirano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama. Disertacija daje uvod u problematiku oblasti, uz pregled postojećih rešenja, koja su uređenja prema originalnoj klasifikaciji. Na osnovu detaljne analize uočene su prednosti i nedostaci pojedinih kategorija rešenja. Potom su opisana dva nova algoritma za mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama.

## 2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodno poglavlje sadrži definicije osnovnih pojmova u oblastima bežičnih senzorskih mreža i distribuiranog mašinskog učenja, kojima se teza bavi. Predstavljene su bežične senzorske mreže, delovi od kojih se one sastoje, kao i osnovne oblasti primene ovih sistema. Potom je data definicija mašinskog učenja i opisan koncept distribuiranog mašinskog učenja.

Drugo poglavlje sadrži detaljan pregled stanja u naučnoj oblasti kojom se teza bavi. Navedene su različite kategorije mašinskog učenja, uz njihove osnovne karakteristike i svrhu. Opisani su različiti načini distribucije podataka i problemi koji se pri tome javljaju. Konačno, predstavljena je detaljna analiza i uvedena nova klasifikacija postojećih algoritama mašinskog učenja koji su razvijeni sa ciljem primene u bežičnim senzorskim mrežama.

Poglavlje pod naslovom *Vertikalno distribuirano mašinsko učenje i nove tehnike određivanja težinskih faktora* predstavlja prvu od dve primene mašinskog učenja koje su u fokusu doktorske teze. Opisan je osnovni algoritam, preuzet iz postojeće literature, i identifikovana slabost u pogledu određivanja težinskih faktora u toku rada. Ponuđeno je nekoliko novih rešenja kojima se određuju težinski faktori. Na osnovu simulacione analize pokazuje se da nova rešenja daju bolje rezultate od prethodno postojećih.

Poglavlje pod naslovom *Distribuirane Kohonenove neuralne mreže u bežičnim senzorskim mrežama* predstavlja drugu od dve primene mašinskog učenja koje su u fokusu doktorske teze. Data je osnovna šema distribuiranog učenja na osnovu Kohonenovih neuralnih mreža. Prepoznata su dva izvora varijacija u podacima bežičnih senzorskih mreža – u zavisnosti od odstojanja senzorskog čvora od izvora signala i u zavisnosti od samog tipa signala koji je detektovan. Predložena je arhitektura Kohonenove neuralne mreže koja odgovara radu sa ovako nastalim podacima. Simulacionom analizom pokazuje se da algoritam radi kako je predviđeno.

Poslednje poglavlje teze sadrži osvrt na rezultate predstavljene u tezi i zaključke do kojih je autor došao u toku istraživanja. Konačno, data su predviđanja u pogledu daljeg razvoja oblasti i primene bežičnih senzorskih mreža i algoritama za mašinsko učenje.

## **3. OCENA DISERTACIJE**

### 3.1 Savremenost i originalnost

Tema kojom se disertacija bavi se zasniva na skorašnjim naučnim dostignućima u oblastima računarstva i informatike i usmerena je ka rešavanju trenutno otvorenih problema. Stoga, disertacija je savremena. U sklopu disertacije ponuđeno je nekoliko originalnih rešenja.

### 3.2 Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U sklopu teze posebna pažnja je posvećena analizi i klasifikaciji postojeće literature. U nastavku dajemo izbor najrelevantnijih izvora. U referencama [1] – [7] opisano je nekoliko algoritama za distribuirano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama. U radovima [1], [2], i [7] su prikazani algoritmi za distribuiranu klasifikaciju. Referenca [3] opisuje distribuirani algoritam regresije u bežičnim senzorskim mrežama. Rad pod referencom [4] se bavi distribuiranim pronalaženjem asocijativnih pravila. Reference [5], [6], i [8] opisuju algoritme za distribuirano grupisanje podataka.

- [1] SKILLICORN, D. B. and MCCONNELL, S. M. 2008. Distributed prediction from vertically partitioned data *J. Parallel Distrib. Comput.* 1, 68, 16-36T
- [2] BAHREPOUR, M., MERATNIA, N., POEL, M., TAGHIKHAZI, Z., and HAVINGA, P. J. M. 2010. Distributed event detection in wireless sensor networks for disaster management In: Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCOS), 2010 2nd International Conference on, 507-512
- [3] BANERJEE, T., CHOWDHURY, K. R., and AGRAWAL, D. P. 2007. Using polynomial regression for data representation in wireless sensor networks: Research Articles *Int. J. Commun. Syst.* 7, 20, 829-856
- [4] BOUKERCHE, A. and SAMARAH, S. 2007. An Efficient Data Extraction Mechanism for Mining Association Rules from Wireless Sensor Networks In: Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on, 3936-3941
- [5] CHEN, W. P., HOU, J. C., and SHA, L. 2004. Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks *Mobile Computing, IEEE Transactions on* 3, 3, 258-271
- [6] CHONG, S. K., GABER, M. M., KRISHNASWAMY, S., and LOKE, S. W. 2008. A rule learning approach to energy efficient clustering in wireless sensor networks In: Sensor Technologies and Applications, 2008. SENSORCOMM'08. Second International Conference on, 329-334
- [7] FLOURI, K., BEFERULLOZANO, B., and TSAKALIDES, P. 2009. Optimal gossip algorithm for distributed consensus SVM training in wireless sensor networks In: Proceedings of the 16th international conference on Digital Signal Processing IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 886-891
- [8] Yun, S. *et. al.*, 2007. Study on the Applicability of Self-Organizing Maps to Sensor Network, In: Proceedings of the 2007 ISIS Symposium

### 3.3 Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U početnoj fazi istraživanja je izvršen detaljan pregled postojećih rešenja iz otvorene literature za distribuirano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama. U sklopu ovog pregleda je napravljena i sistematična klasifikacija kako bi se prepoznale već postojeće mogućnosti ovih algoritama. Matematičkom analizom rezultata i međurezultata koji nastaju u toku rada odabranih algoritama postavljene su hipoteze da bi se postiglo unapređenje rada ovakvih algoritama.

Implementirano simulaciono okruženje, koje na adekvatnom nivou detalja simulira rad sistema. Simulacije su izvršene sa dva tipa podataka. Prvi tip su sintetički podaci koji su opšteprihvaćeno merilo rada algoritama mašinskog učenja. Pomoću njih je ispitana sposobnost algoritama da distribuirano nalaze zakonitosti u podacima. Drugi tip podataka su simulirani podaci iz okruženja senzorske mreže, u kakvome bi sistem radio u realnoj primeni. Simulacijama je utvrđena tačnost pri radu sistema, količina podataka koji bi bili slati i primani u toku rada, kao i potrošnja električne energije.

Opisane naučne metode, način i redosled na koji su primenjene u potpunosti odgovaraju cilju postizanih rezultata u okviru disertacije.

### 3.4 Primenljivost ostvarenih rezultata

Algoritmi za mašinsko učenje, koji su glavni doprinosi disertacije, mogu biti primenjeni u sistemima bežičnih senzorskih mreža. Primenom u sistemima sa velikim brojem čvorova bi bilo moguće ostvariti značajne uštede u pogledu potrošnje energije.

### 3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je dostigao potreban nivo sposobnosti potreban za potpuno samostalno obavljanje naučnog rada.

## **4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS**

### 4.1 Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U sklopu izrade disertacije ostvareno je više rezultata koji predstavljaju unapređenje naučnog znanja u oblasti istraživanja, od kojih su najvažniji:

- Predstavljen je novi algoritam za nadgledano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama, baziran na stabilima odlučivanja i većinskoj logici;
- Predstavljen je novi algoritam za nenadgledano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama, baziran na višeslojnim Kohonenovim neuronskim mrežama;
- Predstvljena je originalna klasifikacija rešenja za distribuirano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama.

### 4.2 Kritička analiza rezultata istraživanja

Navedeni algoritmi koji su razvijeni u sklopu disertacije omogućavaju rad sistema bežičnih senzorskih mreža uz smanjenu potrošnju energije, dok postižu veću preciznost i osetljivost u poređenju sa već postojećim rešenjima. Smanjena potrošnja električne energije je značajna pošto je životni vek senzorske mreže (a time i isplativost razvoja i

upotrebe takvog sistema) ograničen raspoloživom količinom energije u izvorima napajanja (najčešće baterijama). Veća tačnost i osetljivost razvijenih algoritama omogućava širi opseg mogućih primena u odnosu na postojeća rešenja.

Moguće je prepoznati dva tipa bežičnih senzorskih mreža kod kojih prednosti algoritama razvijenih u sklopu disertacije donose najviše prednosti u odnosu na druga postojeća rešenja. Karakteristike takvih mreža su:

- Velike senzorske mreže, kod kojih su pojedini čvorovi međusobno veoma udaljeni. Kod ovakvih mreža vrednosti očitane sa senzora zavise od dva parametra: tipa događaja i odstojanja između mesta događaja i čvora. Algoritmi razvijeni u sklopu disertacije su sposobni da uzmu ovu činjecu u obzir.
- Senzorske mreže kod kojih je za odlučivanje neophodno poznavanje vrednosti koje su očitane sa grupa senzora koji se nalaze na različitim čvorovima. Algoritmi razvijeni u sklopu disertacije su sposobni da funkcionišu u ovakvim mrežama.

#### 4.3 Verifikacija naučnih doprinosa

##### Kategorija M23

1. **Rakocevic, G.**, Tafa, Z., Milutinovic, V.: A Novel Approach to Data Mining in Wireless Sensor Networks, - *AD HOC & Sensor Wireless Networks*, vol. 22, pp. 21-40, 2014 (**IF=0.410**) (ISSN 1552-0633).
2. Vujicic Stankovic, S., Kojic, N., **Rakocevic, G.**, Vitas, D., Milutinovic, V.: A Classification of Data Mining Algorithms for Wireless Sensor Networks, and Classification Extension to Concept Modeling in System of Wireless Sensor Networks Based on Natural Language Processing - *Advances in Computers*, vol. 90, pp. 223-283 (2012) (**IF= 0.389**)(ISSN 0065-2458).

##### Kategorija M33

1. Vujicic Stankovic, S., **Rakocevic, G.**, Kojic, N., Milicev, D.: A Classification and Comparison of Data Mining Algorithms for Wireless Sensor Networks -IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, Athens, Greece, (2012), pp. 265-270
2. Vukasinovic, I., Babovic, Z., **Rakocevic, G.:** A Survey on the Use of Mobile Agents in Wireless Sensor Networks -IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY (2012), Athens, Greece, pp. 271-277

##### Kategorija M14

1. **Rakocevic, G.** Sensors, -Application and Multidisciplinary Aspects of Wireless Sensor Networks, Group of Editors, Springer, 2011 (ISBN 978-1-84996-510-1)

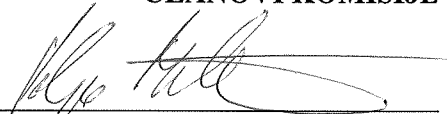
## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Disertacija se bavi primenom tehnika mašinskog učenja u distribuiranim sistemima, specifično bežičnim senzorskim mrežama. U sklopu disertacije razvijena su dva inovativna algoritma mašinskog učenja namenjena radu u bežičnim senzorskim mrežama, dok je ponuđena i nova klasifikacija različitih pristupa ovom problemu. Osnovni doprinos predstavljenih algoritama se ogleda u značajnom smanjenju potrošnje energije pri radu sistema, dok su njihova ispravnost i prednosti analitički i simulacioni pokazani. Dati algoritmi imaju široki potencijal za praktičnu primenu, sa akcentom na velike senzorske mreže (na primer, sistemi za praćenje životne sredine, kompleksni proizvodni sistemi, itd). Kandidat je pokazao sposobnost za samostalno obavljanje naučnog rada.

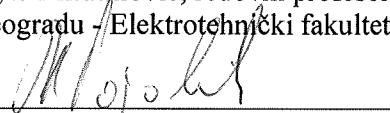
Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću da se doktorska disertacija pod nazivom Mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama, kandidata Gorana Rakočevića prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Beograd, 20.08.2014

### ČLANOVI KOMISIJE



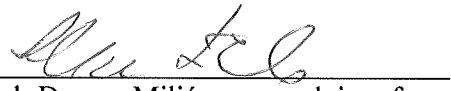
dr Veljko Milutinović, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet



dr Miroslav Bojović, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet



dr Miloš Kovačević, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet



dr Dragan Milićev, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet