

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Gorana Rakočevića za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta br. 2008/5001/1 od 12.02.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Gorana Rakočevića za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme “Mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama”

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

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.

1.2. Stečeno naučnositraživačko iskustvo

Goran Rakočević je od 2011. godine 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 rukovodioc potprojekta *Razvoj inteligentnih sistema baziranih na Data Mining strategijama*.

Počevši od 2007. godine Goran Rakočević je stekao značajno iskustvo u radu na međunarodni 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 na dva rada objavljena u časopisima sa ISI lista, kao i na tri rada koji su (u trenutku pisanja ove biografije, decembra 2012) bezuslovno prihvaćeni za objavljivanje u časopisima sa ISI liste. Takođe je koautor na 12 radova objavljenih na međunarodnim konferencijama. Autor i koautor je u dva poglavlja u monografijama.

Publikacije u naučnim časopisima (sa ISI liste)

1. Tafa Z., Rakocevic G., Mihailovic Dj., Milutinovic V., “Effects of Interdisciplinary Education on Technology-Driven Application Design”, IEEE Transactions On Education, (2011), vol. 54 br. 3, str. 462-470
2. Jovic M., Rakocevic G., Jovic M., Milutinovic V., “A Multi-, Inter-, and Trans-Disciplinary Approach to Teaching Wireless Sensor Networks”, Technics Technologies Education Management, (2011), vol. 6 br. 4, str. 977-984

Radovi bezuslovno prihvaćeni za publikaciju u naučnim časopisima (sa ISI liste)

1. Rakocevic, G., Tafa, Z., Milutinovic, V. “A Novel Approach to Data Mining in Wireless Sensor Networks”, *accepted for publication, Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, June 2012

2. Flynn, M., Mencer, O., Milutinovic, V., Rakocevic, G., Stenstrom, P., Trobec, R., Valero, M. "Moving from petaflops (on simple benchmarks) to petadata per unit of time and power (on sophisticated benchmarks)", accepted for publication, Communications of the ACM, April 2012
3. Stankovic, S., Rakocevic G., Vitas, D., Milutinovic V., "Distributed Data Mining Algorithms for Wireless Sensor Networks", In: Advances on Computers, Accepted for Publication, December 2012

Publikacije na naučnim skupovima

1. Rakocevic, G., Sustran, Z., Milutinovic, V., "A Modified Split Temporal/Spatial Cache," 2012 IEEE Multi- Conference on Systems and Control, October 3-5, 2012, Dubrovnik, Croatia
2. Vukasinovic I., Rakocevic G., Babovic Z., "A Survey on the Use of Mobile Agents in Wireless Sensor Networks." 2012 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Greece, Athens, 19-21 March 2012
3. Sustran Z., Stojanovic S., Valero M., Rakocevic G., "A Survey of Dual Data Cache Systems." 2012 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Greece, Athens, 19-21 March 2012
4. Mihajlovic, A., Rakocevic, G., Babovic, Z., "Overview of Imputation Algorithms that Control Gene Expression and Genotype Data Quality used in Medical Research and the Pharmaceutical Industry", 2012 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Greece, Athens, 19-21 March 2012
5. Vujcic Stankovic, S., Rakocevic, G., Kojic, N., Milicev, D., "A Classification and Comparison of Data Mining Algorithms for Wireless Sensor Networks", 2012 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Greece, Athens, 2012
6. Rakocevic, G., Andric, J., Milutinovic, V., "A Vertically Distributed Data Mining Approach to Event Detection in Wireless Sensor Networks, X International Conference ETAI2011, X International Confernce ETAI 2011, Ohrid, Macedonia, 16-20. September 2011
7. Andric, J., Rakocevic, G., Milutinovic, V. "A Framework For Rapid Development Of WSN Applications", X International Conference ETAI 2011, Ohrid, Macedonia, 16-20. September 2011
8. Vujcic Stanikovic, S., Rakocevic G., Vitas, D., Milutinovic., V., Simulator Za Poređenje Data Mining Algoritama Za Bežične Senzorske Mreže I Concept Modeling Pristupa U Sistemima Bežičnih Senzorskih Mreža, YUINFO2011, Kopaonik, Serbia, March 2011

9. Vujicic Stanikovic, S., Rakocevic G., Vitas, D., Milutinovic, V., Klasifikacija Data Mining Algoritama Za Bežične Senzorske Mreže I Concept Modeling Pristupa U Sistemima Bežičnih Senzorskih Mreža, YUINFO2011, Kopaonik, Serbia, March 2011
10. Savic, E., Potic, J., Babovic, Z., Rakocevic G., Strineka, V., Milutinovic, V., "Sensor Nets and Data Mining in Medical Applications", YUINFO2011, Kopaonik, Serbia, 2011
11. Babovic Z., Crnjin A, Rakocevic G., Stankovic M., Stankovic S., Peric Z., Cirkovic I., Damjanovic I., Milutinovic V., "ProSense Research Activities in Belgrade", TELSIS 2009, VOLS 1 AND 2, pp. 291-294, Nis, Serbia, 2009
12. Crnjin, A., Rakocevic G., "Smart Running Track: A Step Toward Real-life Social Networking Using Wireless Sensor Networks" In: PhD-NOW 2008 Seminar, Sophia Antipolis, France, 2008

Poglavlja u naučnim knjigama

1. G. Rakocevic "Sensors", In: *Application and Multidisciplinary Aspects of Wireless Sensor Networks*, Group of Authors, Springer, 2010
2. Z. Babović, A. Crnjin, G. Rakočević, S. Stanković, and V. Milutinović "Practical Health Enhancing Application of Wireless Sensor Networks" In: *Application and Multidisciplinary Aspects of Wireless Sensor Networks*, Group of Authors, Springer, 2010

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu prethodnog prikaza rezultata dosadašnjeg rada i ostvarenog iskustva kadidat je sposoban za rad na predloženoj temi doktorske disertacije, "Mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama".

2. Predmet i cilj istraživanja

Bežične senzorske mreže su sistemi koji se sastoje od većeg broja elektronskih uređaja malih dimenzija, takozvanih senzorskih čvorova. Tipičan senzorski čvor sadrži mikrokontroler, čip namenjen radio-komunikaciji, kao i jedan ili veći broj senzora. Senzorski čvorovi se najčešće napajaju pomoću baterija. Pri radu mreže svaki senzorski čvor prikuplja informacije iz svog okruženja pomoću senzora koji se na njemu nalaze. Čvorovi unutar jedne mreže komuniciraju preko uspostavljenih radio veza.

Jedan od većih problema sa kojim se susreću bežične senzorske mreže je potrošnja električne energije, pošto se čvorovi napajaju iz baterija. Kako jedna mreža može sadržati nekoliko hiljada, pa i miliona čvorova, zamena baterija na svakom pojedinačnom uređaju je skupa i komplikovana procedura, a može biti dodatno otežana ukoliko su čvorovi razmešteni po teško pristupačnom terenu. Veliki deo energije senzorski čvorovi potroše prilikom komunikacije u mreži, na slanje i prijem poruka putem radio veze. Ukoliko je u pitanju mreža koja pokriva prostran teren problem je još veći, zato što dva udaljena čvora komuniciraju tako što se poruka šalje preko jednog ili više čvorova koji se nalaze između njih. Sa druge strane upotreba mikrokontrolera koji se nalaze u sklopu čvorova za različita izračunavanja je znatno energetski jeftinija. Međutim, ti mikrokontroleri se u mnogim mrežama malo koriste, i jedina im je uloga da očitaju podatke sa senzora i upakuju ih format poruka koje mogu da šalju, dok se celokupna obrada izvršava na serverskom računaru izvan senzorske mreže.

Sa razvojem tehnologije rastu količine podataka koje jedan senzorski čvor može da proizvede, a raste i broj čvorova koji jedna mreža može da sadrži. Ovime se povećava i ukupna količina podataka koji nastaju u toku rada mreže i koje treba obraditi na serverskom računaru. Te količine podataka su toliko velike da već danas počinju da prevazilaze kapacitete i najjačih računara.

Predmet istraživanja u okviru ove doktorske teze predstavlja razvoj i poboljšanje distribuiranih algoritama za mašinsko učenje sa primenom u bežičnim senzorskim mrežama. Mašinsko učenje je oblast koja se bavi metodama za pronalaženje veza i obrazaca u skupovima podataka. Pod pojmom *distribuirani* se podrazumeva da se rad algoritma, ili njegovih delova, odvija na mikrokontrolerima u čvorovima. Podaci sa senzora se na čvorovima propuštaju kroz proceduru mašinskog učenja, čime se određuje međurezultat znatno manjih dimenzija od senzorskih podataka. Potom se samo taj međurezultat šalje kroz mrežu. Na ovaj način se smanjuje količina podataka koji se šalju kroz mrežu, dok se opterećenje serverskog računara takođe smanjuje, pošto su podaci delimično već obrađeni u mreži.

Preciznije, posmatra se senzorska mreža koja koristi algoritam distribuiranog mašinskog učenja, pri čemu su zadovoljene sledeće tvrdnje:

- Veći broj senzorskih čvorova sačinjava jednu senzorsku mrežu. Svaki senzorski čvor sadrži neki broj senzora pomoću koji prikuplja podatke iz okruženja
- Svaki senzorski čvor izvršava deo algoritma mašinskog učenja. Senzorski čvor može raditi samo sa podacima koje dobija od lokalnih senzora koji se fizički nalaze na

njemu, ili može koristiti i podatke sa drugih senzorskih čvorova, koje dobija putem radio veze. Ukoliko čvorovi koriste podatke sa drugih čvorova potrebno je obezbediti da njihova količina bude mala, i da se šalju u što bližoj okolini čvora na kome su nastali.

- Ovako izvučenu informaciju čvor šalje kroz mrežu, do tačke u kojoj ona napušta senzorsku mrežu i postaje dostupna korisnicima. Opciono, izvan mreže može postojati i serverski računar koji prikuplja informacije od većeg broja (ili svih) čvorova u mreži i integriše ih.

Izvestan broj autora se već bavio problemima vezanim za distribuirano mašinsko učenje u senzorskim mrežama, iako je problem relativno skoro prepoznat (prve publikacije na ovu temu koje su poznate autoru su nastale oko 2005. godine). Značajan deo ovih metoda polazi od metoda distribuiranog mašinskog učenja razvijenih za upotrebu sa distribuiranim bazama podataka. Ovakva rešenja često ne uzimaju dovoljno u obzir specifičnosti bežičnih senzorskim mreža. Prilikom izrade teze adekvatna pažnja će biti posvećena detaljnoj analizi postojećih rešenja.

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 pronalaženje 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., TAGHIKHAKI, 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. Polazne hipoteze

Osnovna polazna hipoteza je da postojeći algoritmi koji su namenjeni distribuiranom mašinskom učenju u bežičnih senzorskim mrežama ne uzimaju u potpunosti u obzir specifičnosti bežičnih senzorskih mreža.

Pristupi koji će biti razmatrani kao najrelevantnija postojeća rešenja su dati u referencama [1] i [2]. Detaljnije, hipoteze koje će biti dokazivane su:

- Distribuirana klasifikacija koja se izvršava u bežičnim senzorskim mrežama (na način opisan u [1]) se može učiniti tačnijom ukoliko se koriste drugačiji težinski faktori pri odlučivanju.
- Distribuirana klasifikacija koja se izvršava u bežičnim senzorskim mrežama (na način opisan u [1]) se može, u nekim slučajevima, učiniti tačnijom ukoliko se istovremeno koriste podaci sa većeg broja senzorskih čvorova. Ove slučajeve je moguće prepoznati u toku mašinskog učenja.
- Distribuirano grupisanje koje se izvršava u bežičnim senzorskim mrežama putem Kohonenovih neuralnih mreža (na način opisan u [8]) se može učiniti energetski

efikasnijim uvođenjem heuristika u fazi učenja. Energetska efikasnost se u odnosi na smanjenje potreba za komunikacijom.

- Distribuirano grupisanje koje se izvršava u bežičnim senzorskim mrežama putem Kohonenovih neuralnih mreža (na način opisan u [8]) se može učiniti tačnijim ukoliko se koriste višeslojne arhitekture neuralnih mreža koje su prilagođene prirodi senzorskih čvorova.

4. Naučne metode istraživanja

U početnoj fazi istraživanja će biti izvršen detaljan pregled postojećih rešenja iz otvorene literature za distribuirano mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama. U sklopu ovog pregleda biće napravljena i sistematična klasifikacija kako bi se prepoznale već postojeće različite mogućnosti i odluke u razvoju algoritama. Potom će matematičkom analizom rezultata i međurezultata koji nastaju u toku rada odabranih algoritama biti postavljene hipoteze kojim će se postići opisana unapređenja rada algoritma.

U sledećoj fazi istraživanja biće implementirano simulaciono okruženje, koje će na adekvatnom nivou detalja simulirati rad sistema. Simulacije će biti izvršene sa dva tipa podataka. Prvo će biti korišćeni sintetički podaci koji su opšte-prihvaćeno merilo rada algoritama mašinskog učenja, i ovim će biti ispitana sposobnost algoritma da distribuirano nalazi zakonitosti u podacima. Potom će biti analiziran rad u senzorskoj mreži sa simuliranim okruženjem u kojem bi sistem radio u realnoj primeni. Simulacijama će biti utvrđena tačnost pri radu sistema, količina podataka koji bi bili slati i primani u toku rada, kao i potrošnja električne energije.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da će u sklopu teze biti razvijena rešenja koja će obezbediti veću uštedu u energiji i/ili bolju tačnost dobijenih rezultata u odnosu na odabrana rešenja iz otvorene literature. Poseban akcenat će biti postavljen na prilagođavanje algoritama mašinskog učenja sledećim specifičnostima bežičnih senzorskih mreža:

- U većim senzorskim mrežama, posledice različitih događaja u okruženju će biti različito detektovane na senzorima u zavisnosti od dva parametra: tipa događaja i odstojanja između mesta događaja i čvora.

- U nekim sistemima je neophodno poznavanje vrednosti koje su očitane sa grupa senzora koji se nalaze na različitim čvorovima, dok podaci sa pojedinačnih čvorova nisu dovoljni da bi se mašinsko učenje izvršavalo lokalno.

Prema tome, očekuje se da će u sklopu ove teze biti razvijen algoritam koji je u stanju da u procesu mašinskog učenja i donošenja odluka prepozna koji su podaci bitni za donošenje pojedinih odluka, kao i da prepozna situaciju u kojoj je neophodno sakupiti senzorska očitavanja sa većeg broja senzora, pre nego što se upotrebi algoritam mašinskog učenja. Rezultati istraživanja će biti praktično primenljivi u sistemima bežičnih senzorskih mreža, sa akcentom na velikim mrežama koje su namenjene za rad na velikim geografskim terenima.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Planirano je da se istraživanje izvrši u 4 faze:

- Prva faza predviđa detaljnu analizu postojećih algoritama i mehanizama njihovog rada.
- Druga faza predviđa precizno postavljanje hipoteza na osnovu kojih se žele postići unapređenja u radu pojedinih algoritama
- Treća faza predviđa izradu simulacionog okruženja i sprovođenje simulacija. Simulaciono okruženje će biti realizovano u programskom jeziku Java, upotrebom Weka biblioteka za mašinsko učenje.
- Četvrta faza predviđa analizu dobijenih rezultata i donošenje zaključaka.

Po potrebi, druga, treća i četvrta faza će biti ponavljane, pri čemu će nove hipoteze biti formirane uzimajući u obzir saznanja dobijena na kraju prethodne četvrte faze istraživanja.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu uvida u sadržaj koji je predložen za izradu doktorske disertacije, kao i biografije i spiska publikacija kandidata, komisija je zaključila da je tema adekvatna i da je kandidat sposoban da realizuje predviđene rezultate.

Ovim se predlaže izrada doktorske teze pod naslovom "Mašinsko učenje u bežičnim senzorskim mrežama", u naučnoj oblasti Računarska tehnika i informatika. Za mentora se predlaže Prof. Dr Veljko Milutinović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Prof. Dr Veljko Milutinović, redovni profesor,
Elektrotehnički fakultet Univerzitet u Beogradu

Prof. Dr Miroslav Bojović vanredni profesor,
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. Dr Miloš Kovačević vanredni profesor,
Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu