

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU MATEMATIČKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 300. sednici Nastavno-naučnog veća Matematičkog fakulteta u Beogradu, održanoj 10. juna 2011. godine, određeni smo u komisiju za pregled i ocenu doktorske disertacije

**POBOLJŠANJE METODA MRAVLJIH KOLONIJA ZA REŠAVANJE
NP-KOMPLETNIH OPTIMIZACIONIH ZADATAKA NA GRAFOVIMA**

koju je mr **Raka Jovanović** podneo za sticanje naučnog stepena doktora računarskih nauka. Pregledavši rad, Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

Biografija kandidata. Raka Jovanović je rođen 10. 09. 1978 godine u Beogradu. Osnovnu školu završio je u Beogradu, a srednje obrazovanje stekao je u *Matematičkoj gimnaziji* u Beogradu. Studije *Računarstva i informatike* je završio na *Matematičkom fakultetu* u Beogradu. Magistarske studije na smeru *Računarstvo* završio je na *Matematičkom fakultetu* u Beogradu. Magistarsku tezu pod nazivom *Softverska implementacija opšteg simulatora* odbranio je 28. 12. 2007. godine (mentor prof. Milan Tuba). Od 01. 01. 2007 godine zaposlen je Institutu za fiziku, Centar za teorijsku fiziku, u Beogradu. Od septembra 2009. radi na Teksas AM univerzitetu u Dohi, Katar. Autor je i koautor velikog broja naučnih radova koji su objavljeni u časopisima na SCI listi ili časopisima i konferencijama referisanim u Scopusu, WOS-u, ACM portalu itd.

Časopisi na SCI listi:

Raka Jovanovic and Milan Tuba: An ant colony optimization algorithm with improved pheromone correction strategy for the minimum weight vertex cover problem, *Applied Soft Computing*, Vol. 11, Issue 8, Dec. 2011, ISSN 1568-4946, pp. 5360–5366

Raka Jovanovic and Milan Tuba: Improved ant colony optimization algorithm with pheromone correction strategy for the traveling salesman problem, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, submittet for publishing

Raka Jovanovic and Milan Tuba: Ant Colony Optimization Algorithm with Pheromone Correction Strategy for Minimum Connected Dominating Set Problem, *ComSIS*, submitted for publishing

Dragana Jović, Yuri S. Kivshar, Raka Jovanović and Milivoj Belić, Counterpropagating surface solitons in two-dimensional photorefractive lattices, *Optics Express*, Vol. 17, No.24, 21515-21521 (2009)

S. Prvanović, D. Jović, R. Jovanović, A. Strinić, and M. Belić, Counterpropagating matter waves in optical lattices, *Acta Physica Polonica A*, Vol 116, No.45, 507-509 (2009)

D. Jović, R. Jovanović, S. Prvanović, M. Petrović, and M. Belić, Counterpropagating beams in rotationally symmetric photonic lattices, *Optical Materials*, Vol 30, No 7, pp. 1173-1176 , (2008)

D. M. Jović, S. Prvanović, R. D. Jovanović, and M. S. Petrović, Gaussian induced rotation in periodic photonic lattices, *Optics Letters*, Vol. 32, No. 13, pp. 1857-1859 (2007)

D. Jovic, S.Prvanović, R. Jovanović and M. Petrović, Gaussian-Induced Rotation in Triangular Photonic Lattices, *Acta Physica Polonica A*, Vol.112, No. 5, 1067-1072, (2007)

M. R. Belić, M. S. Petrović, D. M Jović, A. I. Strinić, D. D. Arsenović, S. Prvanović, R. D. Jovanović, and N. Z. Petrović, Dancing Light: Counterpropagating Beams in Photorefractive Crystals, *Acta Physica Polonica A*, Vol.112, No. 5, 729-736, (2007)

Ostali časopisi i konferencije:

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Ant Colony Optimization Applied to Minimum Weight Dominating Set Problem, *New Aspects of Automatic Control, Modelling & Simulation*, Electrical and Computer Engineering Series, A Series of Reference Books and Textbooks, ISBN 978-954-92600-1-4, Europment Press 2010, pp. 322-326, Catania, Italy, May 2010

Raka Jovanovic, Milan Tuba: Optimized Algorithm for Petviashvili's Method for Finding Solitons in Photonic Lattices, chapter in book *Aproximation and Computation* (In Honor of Gradimir V. Milovanović) Walter Gautschi, Giuseppe Mastroianni, Themistocles M. Rassias, Eds., ISBN: 978-1-4419-6593-6, Series: Springer Optimization and Its Applications, Vol. 42, 1st Edition., 2011, XXII, 484 p., pp. 395-402

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Comparison of Different Topologies for Island-Based Multi-Colony Ant Algorithms for the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *WSEAS Transactions on Computers*, ISSN: 1109-2750, Issue 1, Volume 9, January 2010, pp. 83-92

Raka Jovanovic: Centralized Ant Colony Optimization Algorithm for Solving the Minimum Dominating Set Problem, *Pioneer Journal of Computer Science and Engineering Technology*, accepted for publishing Ref. No. CSE 17-201112017, ISSN: 2231-184X

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Analysis of Parallel Implementations of the Ant Colony Optimization Applied to the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *Simulation, Modelling & Optimization*, A Series of Reference Books and Textbooks, Mathematics and Computers in Science and Engineering, ISBN 978-960-474-113-7, Budapest, Hungary, September 2009, pp. 254-259

Milan Tuba, Raka Jovanovic: An Analysis of Different Variations of Ant Colony Optimization to the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, ISSN: 1790-0832, Issue 6, Volume 6, June 2009, pp. 936-945

Raka Jovanovic: Optimized Algorithm for Multi Resolution Grid Creation and Use With an Explicit 2+1 Finite Difference Scheme, Proceedings of the PAMM (Pannonian Applied Mathematical Meetings) Conference, (2008, Balatonalmádi, Hungary)

Raka Jovanovic, Milan Tuba: A Comparative Assesment of Ant Colony Optimization Algorithms for the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *Recent Advances in Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases*, A Series of Reference Books and Textbooks, Artificial Intelligence Series, ISBN 978-960-474-051-2, Cambridge, United Kingdom, February 2009, pp. 490-494

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: An Object-Oriented Framework with Corresponding Graphical User Interface for Developing Ant Colony Optimization Based Algorithms, *WSEAS Transactions on Computers*, ISSN: 1109-2750, Issue 12, Volume 7, December 2008, pp. 1948-1957

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Developing an Object-Oriented Framework for Solving Problems Using Ant Colony Optimization, *Computers and Simulation in Modern Science*, Volume II, A Series of Reference Books and Textbooks, Mathematics and Computers in Science and Engineering, ISBN 978-960-474-032-1, Bucharest, Romania, November 2008, selected papers, pp. 94-99

Raka Jovanovic: Two Approaches to Numerical Simulation of Counter Propagating Matter Waves In Optical Lattices, *KAUST-IAMCS Workshop on Multiscale Modeling, Advanced Discretization Techniques, and Simulation of Wave Propagation*, published online, May 2011, Thuwal, Saudi Arabia

Raka Jovanovic, Dragana Jovic, Slobodan Prvanovic, Aleksandra Strinic, Milivoj Belic, Milan Tuba: Two Algorithms for Numerical Simulation of Counter Propagating Matter Waves in Optical Lattices, *Recent Advances in Applied Mathematics*, Mathematics and Computers in Science and Engineering, A Series of Reference Books and Textbooks, ISBN 978-960-474-150-2, 2010, pp. 212-216, Harvard University, Cambridge, USA, January 2010

Raka Jovanovic: An Easy Way Of Solving Complex Mathematical Models: The Finite Difference Scheme, *Gamasutra*, 2008, published online

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: A New Visualization Algorithm for the Mandelbrot Set, *Recent Advances in Mathematics and Computers in Biology and Chemistry*, A Series of Reference Books and Textbooks, Recent Advances in Biology and Biomedicine, ISBN 978-960-474-062-8, Prague, March 2009, pp. 162-166

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: An Algorithm for Creation of an Optimized Adaptive Grid for Improved Explicit Finite Difference Scheme, *WSEAS Transactions on Mathematics*, ISSN 1109-2769, Issue 9, Volume 7, September 2008, pp 549-558

Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: An Algorithm for Multi-Resolution Grid Creation Applied to Explicit Finite Difference Scheme, *New Aspects of Computers*, A Series of Reference Books and Textbooks, Recent Advances in Biology and Computer Engineering, ISBN 978-960-6766-85-5, Heraklion, Greece, July 2008, pp. 1123-1128

Raka Jovanovic, Milan Tuba, M. Petrovic: Software Simulation of Petviashvili's Method for Finding Solitonic Solutions in Photonic Lattices, *Bulletins for Applied Mathematics (BAM)*, ISSN 0133-3526, CX, Nr 2307, pp. 87-94, Budapest, 2007.

Raka Jovanovic, Milan Tuba: A Visual Analysis of Calculation-Paths of the Mandelbrot Set, *WSEAS Transactions on Computers*, ISSN: 1109-2750, Issue 7, Volume 8, July 2009, pp. 1205-1214

Raka Jovanovic, Rudolph A. Lorentz, Compression of Volumetric Data Using Delaunay Triangulation, *Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO-2011)*, Kuala Lumpur, Malaysia, April 2011, pp. 128-135

Raka Jovanovic, Dragana Jovic, Slobodan Prvanovic, Aleksandra Strinic, Milivoj Belic, Milan Tuba: Two Algorithms for Numerical Simulation of Counter Propagating Matter Waves In Optical Lattices, *Recent Advances in Applied Mathematics, Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (American-Math '10)*, Harvard University, Cambridge, USA, January 2010, pp. 212-216

Raka Jovanovic, Rudolph A. Lorentz, RDIF a preprocessing Filter for HDF5, Recent Advances in Applied Mathematics, *Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (American-Math '10)*, Harvard University, Cambridge, USA, January 2010, pp. 222-227

Tema disertacije. Ova teza pripada istraživački interesantnoj oblasti optimizacije meta-heuristikama inspirisanim prirodnim procesima, uže inteligencijom rojeva, poput optimizacije pčelinjim kolonijama, rojevima čestica ili mravljim kolonijama. Ovakve optimizacione metode primenjuju se na NP-teške kombinatorne probleme. Fokus se stavlja na korišćenje tehnike optimizacije mravljim kolonijama (OMK) za rešavanje NP-kompletnih problema iz oblasti grafova uz naglasak na rešavanje problema trgovačkog putnika, problema minimalnog težinskog čvornog prekrivača grafa, problema minimalnog težinskog dominirajućeg skupa i problema minimalnog povezanog dominirajućeg skupa.

Struktura disertacije. Podneta doktorska disertacija sadrži 5+115 stranica. Podeljena je u 9 poglavlja i spisak literature od 92 bibliografske jedinice.

U *Uvodu* se daje pojam NP-teških problema, nemogućnost njihovog rešavanja bez obzira na ubrzanje računara i pregled heurističkih metoda za nalaženje suboptimalnih rešenja koji uključuje iscrpnu pretragu, gramzive algoritme, Monte Karlo metodu, metode lokalne pretrage kao što su tabu pretraga i simulirano kaljenje, genetske algoritme i inteligenciju rojeva kao što su optimizacija rojevima čestica, optimizacija pčelinjim kolonijama i optimizacija mravljim kolonijama.

U poglavlju *Optimizacija mravljim kolonijama* objašnjava se Dorigova ideja i osnovni algoritam optimizacije mravljim kolonijama sa globalnim i lokalnim ažuriranjem feromonskog traga. Nakon toga se klasifikuju varijacije osnovnog algoritma optimizacije mravljim kolonijama: početni Dorigovi mravlji ciklus, kvantitativni mravi i mravlja gustina i kasniji rangirni mravlji sistem, sistem mravlje kolonije, elitistička strategija i min-maks mravlji sistem. Na kraju se navode dva najčešće korišćena tipa hibridizacije MKO algoritma: kombinovanje sa lokalnom pretragom ili sa nekim drugim kompleksnijim algoritmom.

U poglavlju *Poboljšanje metoda mravljih kolonija za rešavanje problema putujućeg trgovca (PTP) metodom korekcije feromonskog traga* iznosi se osnovna ideja novog tipa hibridizacije zasnovana na uvođenju metode koja omogućava OMK da napusti zarobljavanje u lokalnim optimalnim rešenjima, odnosno sprečava stagnaciju u potrazi za globalnim optimumom. Ova metoda vrši korekciju feromonskog traga pri čemu se kalkulacija korekcije zasniva na analizi osobina do sada najboljeg nađenog rešenja. Ideja ove metode je da se smanji verovatnoća nalaženja ivica sa nepoželjnim osobinama u optimalnom rešenju. U daljem delu ove sekcije je pokazano da ovakva metoda može na jednostavan način da se implementira, nije skupa što se tiče procesorskog vremena i unapređuje performanse MMAS verzije OMK, a postiže i bolje rezultate od optimizacije rojevima čestica. Dokazano je da ovom hibridizacijom ne povećava kompleksnost osnovnog algoritma i dati su rezultati iz rada Raka Jovanovic and Milan Tuba: Improved ant colony optimization algorithm with pheromone correction strategy for the traveling salesman problem, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, submitted for publishing, koji pokazuju unapređenje.

U četvrtom poglavlju *Poboljšanje rešavanje problema minimalnog težinskog čvornog pokrivača korišćenjem optimizacije mravljim kolonijama* opisuje se prilagođavanje metoda OMK problemu minimalnog težinskog čvornog pokrivača

(PMTČP). Primena OMK na PMTČP ima dve značajne razlike u odnosu na njenu primenu na PTP. U slučaju PTP rešenje je permutacija skupa gradova. Kod PMTČP rešenje je podskup skupa čvorova grafa u kom je redosled nevažan. U PTP heuristička funkcija je konstantna, predstavlja razdaljinu između gradova i ne menja se tokom kreiranja putanje. Suprotno, u slučaju PMTČP heuristička funkcija predstavlja odnos težine čvora i trenutnog stepena čvora (broj ivica koje sadrže čvor a nisu već pokrivene čvorovima koji su već u konstituisanom delu rešenja), ona je dinamična jer kako se novi čvorovi dodaju rešenju sve veći broj ivica biva pokriven. Ove dve razlike utiču na osnovni algoritam u dva pravca: mravi ostavljaju feromon na čvorovima a ne na ivicama, a heuristička funkcija se koriguje tokom kreiranja rešenja. Primenom originalne hibridizacije metodom korekcije feromonskog traga za izbegavanje stagnacije pretrage OMK postignuti su najbolji dosada poznati rezultati koji su i objavljeni u časopisu kategorije M21: Raka Jovanovic and Milan Tuba: An ant colony optimization algorithm with improved pheromone correction strategy for the minimum weight vertex cover problem, *Applied Soft Computing*, Vol. 11, Issue 8, Dec. 2011 kao i u radovima Milan Tuba, Raka Jovanovic: An Analysis of Different Variations of Ant Colony Optimization to the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, ISSN: 1790-0832, Issue 6, Volume 6, June 2009, pp. 936-945 i Raka Jovanovic, Milan Tuba: A Comparative Assessment of Ant Colony Optimization Algorithms for the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *Recent Advances in Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases*, A Series of Reference Books and Textbooks, Artificial Intelligence Series, ISBN 978-960-474-051-2, Cambridge, United Kingdom, February 2009, pp. 490-494.

U petom poglavlju *Rešavanje problema minimalnog težinskog dominirajućeg skupa upotrebom OMK* opisano je prilagođavanje i hibridizacija OMK algoritma problemu minimalnog težinskog dominirajućeg skupa. PMDS je rešavan ranije i korišćenjem algoritama baziranih na populaciji poput optimizacije mravljim kolonijama i genetskih algoritama pri čemu je OMK dala bolje rezultate. U originalnom algoritmu razvijenom za ovaj problem prvo se daje predstavljanje problema na način koji omogućuje da se računanje dinamične heuristike i praćenje pokrivenosti čvorova radi na jednostavan način. Na generisanim testovima pokazuje se superiornost dobijenog algoritma. Rezultati su objavljeni u radu Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Ant Colony Optimization Applied to Minimum Weight Dominating Set Problem, *New Aspects of Automatic Control, Modelling & Simulation*, Electrical and Computer Engineering Series, A Series of Reference Books and Textbooks, ISBN 978-954-92600-1-4, Europment Press 2010, pp. 322-326, Catania, Italy, May 2010.

U šestom poglavlju *Rešavanje problema minimalnog povezanog dominirajućeg skupa upotrebom OMK* algoritam OMK prilagođava se problemu minimalnog povezanog dominirajućeg skupa (PMPDS) koji je dobio na popularnosti u skorije vreme iz razloga svoje tesne veze sa mobilnim ad hoc mrežama i senzorskim mrežama. Ovaj problem je prethodno bio rešavan i korišćenjem OMK prilikom implementacije klastera u mreži. U metodu predstavljenom u toj primeni je korišćena OMK koja se sastojala iz dva koraka. U prvom koraku se nalazio dominirajući skup za dati graf. U drugom koraku su dodavani novi čvorovi tako da se dobijeni podgraf učini povezanim. Ovakav pristup iz dva koraka nije u potpunosti prirodan za korišćenje OMK. Iz tog razloga u sastavu ove teze je razvijen OMK algoritam koji se sastoji iz jednog koraka za rešavanje ovog problema. U razvijenom jednokoračnom algoritmu OMK, izbegavanje rane stagnacije pretrage se postiže adaptacijom metode sumnjivih elemenata na PMPDS.

Ponašanje OMK je dalje unapređeno razvijanjem efikasne metode za biranje inicijalnih uslova pretrage pojedinačnih mrava. Rezultati su objavljeni u radu Raka Jovanovic and Milan Tuba: Ant Colony Optimization Algorithm with Pheromone Correction Strategy for Minimum Connected Dominating Set Problem, *ComSIS*, submitted for publishing.

U sedmom poglavlju *Paralelizacija OMK* razmatra se problem ubrzanja prethodno opisanih algoritama korištenjem multiprocesorskih sistema. Više različitih pristupa je korišćeno prilikom paralelizacije algoritama OMK. Pokazano je da je paralelizacija korišćenjem većeg broja kolonija efikasnija u odnosu na slučaj kada se ona uvodi dodeljivanjem zasebnih procesa pojedinačnim mravima. Kada se ovakav pristup primeni na algoritme zasnovane na populaciji, često se postiže čak super linearno unapređenje. U slučaju kada se OMK paralelizuje upotrebom multikolonijalnih sistema, tip podataka koji će se koristiti za komunikaciju je od jako velike važnosti. Nađena rešenja, feromonske matrice i razni drugi parametri su bili testirani kao informacija koja će se razmenjivati među kolonijama. Pokazalo se da se dobri rezultati postižu kada se razmenjuje najbolje do tada nađeno rešenje, ovakav pristup je korišćen i u eksperimentima čiji opis je sastavni deo ovog poglavlja. Da bi se paralelizacija OMK definisala, pored informacija koje će kolonije razmenjivati među sobom, potrebno je opisati i metode komunikacije i tačne interakcije među njima. Preciznije, potrebno je opisati moguće topologije, odnosno veze koje postoje među kolonijama i algoritme koji potiču iz ovih veza. Standardne topologije koje se koriste kod paralelnog OMK su: potpuno povezana, zamena najgoreg rešenja, prsten i nezavisna paralelna izvršavanja. U ovom poglavlju opisani su ovakvi algoritmi i njihove performanse su poredene na PMTČP. Rezultati su objavljeni u radu Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Analysis of Parallel Implementations of the Ant Colony Optimization Applied to the Minimum Weight Vertex Cover Problem, published as a chapter in the book (thematic proceedings) *Simulation, Modelling & Optimization, A Series of Reference Books and Textbooks, Mathematics and Computers in Science and Engineering*, ISBN 978-960-474-113-7, Budapest, Hungary, September 2009, pp. 254-259 i Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Comparison of Different Topologies for Island-Based Multi-Colony Ant Algorithms for the Minimum Weight Vertex Cover Problem, *WSEAS Transactions on Computers*, ISSN: 1109-2750, Issue 1, Volume 9, January 2010, pp. 83-92.

U osmom poglavlju *Programsko okruženje za rešavanje problema upotrebom OMK* opisan je originalni softverski okvir na kome su svi prethodni rezultati dobijeni. Postojeći programi uglavnom su orijentisani na specifičan problem i često nisu objektno-orijentisani pa su teži za održavanje. Ovde razvijeni program predstavlja okvir (framework) sa odgovarajućim GUI. Okvir je specifičan tip softverske biblioteke koji je sličan API-ju (Application program interface) u smislu da je to paket koji služi za brzi razvoj novih aplikacija. Osnovna razlika je u tome što je API skup funkcija koje pozivamo, a okvir se sastoji iz hijerarhije abstraktnih klasa. Korisnik okvira kreira programski kod za određene metode ovih klasa. Okvire karakteriše upotreba obrnutog kontrolnog mehanizma koji se zasniva na konceptu da ne poziva korisnik date funkcije već framework poziva funkcije kreirane od strane korisnika. Znači, okvir obezbeđuje celokupnu kontrolnu strukturu, a od korisnika traži jedino da implementira detalje specifične za rešavani problem. Ovakav pristup je prirodan za implementaciju OMK. Ovaj sistem opisan je u radovima Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: An Object-Oriented Framework with Corresponding Graphical User Interface for Developing Ant Colony Optimization Based Algorithms, *WSEAS Transactions on*

Computers, ISSN: 1109-2750, Issue 12, Volume 7, December 2008, pp. 1948-1957 i
Raka Jovanovic, Milan Tuba, Dana Simian: Developing an Object-Oriented Framework
for Solving Problems Using Ant Colony Optimization, *Computers and Simulation in
Modern Science*, Volume II, A Series of Reference Books and Textbooks, Mathematics
and Computers in Science and Engineering, ISBN 978-960-474-032-1, Bucharest,
Romania, November 2008, selected papers, pp. 94-99.

ZAKLJUČAK I PREDLOG

Rukopis doktorske disertacije mr Rake Jovanovića *Poboljšanje metoda mravljih kolonija za rešavanje NP-kompletnih optimizacionih zadataka na grafovima* rezultat je samostalnog i originalnog rada i predstavlja značajan naučni doprinos aktuelnom problemu optimizacije NP-teških problema metaheuristikama zasnovanim na inteligenciji rojeva. U disertaciji je dat niz novih rezultata o primeni optimizacije mravljim kolonijama sa korekcijom feromonskog traga na probleme rešavanje problema trgovačkog putnika, problema minimalnog težinskog čvornog prekrivača grafa, problema minimalnog težinskog dominirajućeg skupa i problema minimalnog povezanog dominirajućeg skupa kao i njihovu paralelizaciju, koji su publikovani u desetak radova od kojih nekoliko u vodećim međunarodnim časopisima sa SCI liste, uključujući i kategoriju M21. Kandidat je pokazao zavidan nivo znanja, originalnost i sistematičnost u naučnom radu, programskoj implementaciji i eksperimentima.

Imajući u vidu sve navedeno, Komisija za pregled i ocenu predlaže Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta da prihvati doktorsku disertaciju *Poboljšanje metoda mravljih kolonija za rešavanje NP-kompletnih optimizacionih zadataka* kandidata mr Rake Jovanovića za sticanje stepena doktora računarskih nauka i odredi komisiju za njenu javnu odbranu.

U Beogradu, 29. 11. 2011.

Komisija

Prof. dr Milan Tuba
redovni profesor Fakulteta za kompjuterske nauke

Prof. dr Đorđe Dugošija
redovni profesor Matematičkog fakulteta

Prof. dr Miodrag Živković
redovni profesor Matematičkog fakulteta