

**Научно-наставном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду**

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду донетој на 340. седници одржаној 24.03.2017. године именовани смо за чланове комисије за преглед и оцену докторске дисертације „Примена фази логике за решавање NP-тешких проблема рутирања возила и локације ресурса методама рачунарске интелигенције” кандидаткиње Нине Радојичић. Након детаљног прегледања рукописа подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Биографија кандидата

Нина Радојичић рођена је 25. октобра 1987. године у Чачку. Основну школу „Вук Караџић” и Гимназију у Чачку завршила је као носилац дипломе „Вук Караџић”. Математички факултет у Београду уписала је 2006. године, смер Рачунарство и информатика. Дипломирала је у јунском испитном року 2010. године са просечном оценом 10,00 као студент генерације. Мастер студије, на студијском програму Математика, модул Рачунарство и информатика, завршила је 2011. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад под називом „Решавање неких NP-тешких проблема дискретне оптимизације” одбранила је под менторством др Мирослава Марића. Докторске академске студије студијског програма Информатика уписала је 2011. године. Све испите предвиђене планом студија положила је са оценом 10.

Добитник је стипендије фонда за младе таленте Републике Србије за студенте завршних година студија 2009. године, као и 2010. године као студент мастер студија. Поред тога, 2009. године јој је уручена похвалница за успех током студија „Удружења универзитетских професора и научника Србије”. Током 2010/11. године била је стипендиста Републичке фондације за развој научног и уметничког подмлатка, а по две године за редом добијала је стипендије Републике Србије и града Чачка. Након завршетка основних студија, током августа и септембара 2010. године је у оквиру праксе радила на пројекту о мрежним симулацијама на Универзитету Fernuni, Hagen (Немачка).

Од октобра 2010. године радила је као сарадник у настави на Математичком факултету у Београду за научну област Рачунарство и информатика, а од школске 2012/2013. године запослена је као асистент на истој Катедри. Држала је вежбе из предмета: Програмирање 1, Програмирање 2, Релационе базе података, Програмирање база података, Базе података 2, Биоинформатика (Мастер студије), Криптографија (Мастер студије), Конструкција и анализа алгоритама (Студијски програм Информатика), Конструкција и анализа алгоритама (Студијски програм Математика, модул Рачунарство и информатика) и Методика наставе рачунарства Ц са практикумом (Мастер студије). Коаутор је збирке задатака из Програмирања 2, као и више научних радова.

Током докторских студија била је на стручном усавршавању у иностранству на следећим факултетима и истраживачким институцијама: CIRM Marseille (Француска) мај 2012. године; ULPGC Las Palmas (Шпанија) јул 2013. године; KTH Stockholm (Шведска) јун 2014. године; JKU Linz (Аустрија) август 2014. године; Zuze Institute Berlin (Немачка) октобар 2014. године и септембар и октобар 2015. године; TU Berlin (Немачка), јун 2017. год.

Од 2011. године до данас ангажована је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом „Дигитализација културног и научног наслеђа са применама у средњошколској и универзитетској настави математике, информатике, астрономије, историје и српског језика“, пројекат III 044006, чији је руководилац др Зоран Огњановић. Од новембра 2011. године до јануара 2013. године била је запослена са делом радног времена као истраживач на Математичком институту САНУ.

Научни и стручни рад

Збирка задатака

- [1] Милена Вујошевић Јаничић, Јелена Граовац, Нина Радојичић, Ана Спасић, Мирко Спасић, Анђелка Зечевић: Програмирање 2 - Збирка задатака са решењима, Издавач: Математички факултет, ИСБН 978-86-7589-107-9, март 2016.

Техничко решење

- [2] Зоран Огњановић, Жарко Мијајловић, Александар Пејовић, Татјана Јакшић, Нина Радојичић, Невена Милојковић, Стефан Мишковић, Милица Кнежевић, Марија Шеган, Милош Миловановић, Бојан Вучковић, Унапређење електронске библиотеке Математичког института САНУ, М84, у оквиру пројекта број 44006, 2011. (<http://elib.mi.sanu.ac.rs>)

Радови у међународним часописима са СЦИ листе

- [3] Z. Stanimirović, M. Marić, N. Radojičić, S. Božović, [Two efficient hybrid metaheuristic methods for solving the load balance problem](#), Applied and Computational Mathematics, Vol. 13, No. 3, pp. 332-349, 2014. (M22, IF2014 = 0.452)

- [4] A. Djenić, N. Radojičić, M. Marić, M. Mladenović, [Parallel VNS for Bus Terminal Location Problem](#), Applied Soft Computing, Vol. 42, pp. 448–458, 2016. (M21, IF2016 = 3.541)

Радови на рецензији у међународним часописима са СЦИ листе

- [5] N. Radojičić, M. Marić, A. Takači, New Fuzzy Version of the Risk-constrained Cash-in-Transit Vehicle Routing Problem.
- [6] N. Radojičić, A. Đenić, M. Marić, Fuzzy GRASP with Path Relinking for the Risk-constrained Cash-in-Transit Vehicle Routing Problem.

Радови у међународним часописима

- [7] N. Radojičić, An approach to solving the Min-Max Diversity Problem using Genetic algorithm with fuzzy decisions, [IPSI BgD Transactions on Internet Research \(TIR\)](#), Special issue - "Special Issue on Solving Some Computationally Hard Problems II", Vol. 13, No. 1, pp. 21-27, 2017, ISSN 1820 - 4503.

Радови у зборницима радова са међународних научних скупова објављени у целини

- [8] N. Radojičić, M. Marić, Z. Stanimirović, S. Božović, An efficient heuristic approach for solving the max-min diversity problem, 5th International Symposium on Industrial Engineering - SIE2012, Proceedings, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade and Steinbeis Advanced Risk Technologies, Stuttgart, Germany, Belgrade, June 14-15, 2012. ISBN 978-86-7083-758-4, pp: 193-196.
- [9] Z. Stanimirović, M. Marić, N. Radojičić, S. Božović, Hibridna metaheuristika za rešavanje problema ravnomernog opterećenja, Zbornik radova sa Druge matematičke konferencije Republike Srpske, Trebinje 8.-9. jun 2012 godine, ISBN 978-99938-47-52-6, str. 167-174.

Радови у зборницима радова са националних научних скупова објављени у целини

- [10] N. Radojičić, Neke mogućnosti primene kompromisnog programiranja, YU INFO 2011, zbornik radova, str. 183-186, Kopaonik 6.-9. mart 2011.

Радови у зборницима радова са националних научних скупова објављени у изводу

- [11] A. Takači, M. Marić, N. Radojičić, T. Došenović, Application of fuzzy logic in modeling of the max-min diversity problem, FSTA 2018, The Fourteenth International Conference On Fuzzy Set Theory And Applications, Liptovský Ján, Slovak Republic, January 28 - February 2, 2018.

Предмет дисертације

У дисертацији „Примена фази логике за решавање NP-тешких проблема рутирања возила и локације ресурса методама рачунарске интелигенције” приказано је решавање три NP-тешка проблема различитим методама рачунарске интелигенције, са посебним акцентом на примене фази логике у циљу побољшања перформанси предложених метода. Поред тога приказана је и примена фази логике приликом креирања модела који боље одговарају проблемима из праксе.

Три разматрана NP-тешка проблема су: проблем рутирања возила са ограниченим ризиком (енгл. *Risk-constrained Cash-in-Transit Vehicle Routing Problem* - RCTVRP), проблем равномерног оптерећења (енгл. *Load Balancing Problem* - LOBA) и проблем максимизације минималног растојања (енгл. *Max-Min Diversity Problem* - MMDP).

У оквиру ове дисертације, проблеми су решавани различитим методама рачунарске интелигенције. Посебан значај приликом решавања NP-тешких проблема математичке оптимизације имају метахеуристике, које представљају генерализоване методе рачунарске интелигенције. Метахеуристике се могу прилагодити великом броју различитих проблема. Ова класа алгоритама има за циљ да се ефикасним претраживањем простора претраге проналазе квалитетна решења. Овакав приступ је погодан приликом решавања проблема из праксе, када је потребно да се у разумном времену добију решења што бољег квалитета. С обзиром на бројне могућности примене проблема који су предмет докторске дисертације, од великог значаја је развијање и усавршавање метода за ефикасно решавање тих проблема.

У оквиру истраживања за потребе ове дисертације, предложене су различите методе рачунарске интелигенције, које су пажљиво имплементирани и унапређене у складу са проблемима који су решавани. Истраживања су била усмерена и у правцу коришћења фази логике у функцији даљих унапређења метода решавања, као и у циљу прецизније формулације проблема из праксе.

Предложена је хибридизација насумично похлепне адаптивне претраге (енгл. *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* - GRASP) са методом поновног повезивања пута (енгл. *Path relinking* - PR), која развијена и примењена на решавање проблема RCTVRP. Предложеној методи је додата и модификација при конструкцији решења, која је заснована на примени фази логике. За решавање проблема LOBA развијене су хибридне методе засноване на комбиновању еволутивног алгорита (енгл. *Evolutionary Algorithm* - EA) и методе променљивих околина (енгл. *Variable neighborhood search* - VNS), као и различитих варијанти методе VNS. Као део ове дисертације изложен је један приступ подешавању параметара на примеру проблема MMDP. Наиме, EA је унапређен додавањем фази правила формулисаних и имплементираних тако да се параметар мутације мења у току извршавања алгорита у циљу спречавања преурањене конвергенције ка локалном максимуму. Приказани су резултати добијени применом свих наведених метода и упоређени са резултатима постигнутим применом других метода из литературе.

Поред тога, у оквиру ове дисертације приказана је и примена фази логике у циљу моделирања проблема на примеру једне варијације проблема RCTVRP. Нови фази модел је представљен и дата је MILP (engl. *mixed integer linear program* - MILP) формулација. Уведени модел је упоређен са основним моделом на адекватном примеру. Експериментални резултати указују да нови модел као оптимална решења даје безбедније руте, што је важно у случају овог проблема.

Приказ дисертације

Рукопис има 156 страна, списак коришћене литературе од 195 библиографских јединица, 18 слика и 18 табела. Састоји се из увода, пет већих поглавља подељених на мање целине и закључка.

У уводном поглављу дати су основни појмови који се користе у оквиру дисертације, као што су математичка оптимизација, NP-тешки проблеми, рачунарска интелигенција и теорија фази логике.

Друго поглавље, под називом „Проблеми рутирања возила”, садржи опис проблема рутирања возила, са посебним акцентом на проблем FRCTVRP.

Проблеми локације ресурса су представљени у трећем поглављу, које носи наслов „Проблеми локације ресурса”. Наведене су основна својства ове класе проблема и приказани проблеми LOBA и MMDP.

У четвртном поглављу, под називом „Решавање проблема рутирања возила”, приказане су методе развијене за решавање проблема RCTVRP, са детаљним описом методе GRASP и методе PR. Такође, четврто поглавље садржи приказе предложене фази модификације методе и структуре података креиране у циљу повећања ефикасности алгорита.

У петом поглављу, које носи наслов „Решавање проблема локације ресурса”, приказани су детаљи метода развијених за решавање два разматрана проблема локације ресурса. Најпре су описана два хибридна приступа која су предложена за решавање проблема LOBA: комбинација редуковане и стандардне методе променљивих околина (RVNS-VNS), као и хибридизација еволутивног алгорита и VNS методе (EA-VNS). Поред тога, пето поглавље садржи и опис предложене EA методе са имплементираним фази правилима за модификацију параметра алгорита.

Шесто поглавље под називом „Фази бројеви у моделирању проблема” садржи опис примене фази логике у моделирању проблема математичке оптимизације и изложен је модел заснован на фази логици за варијанту проблема RCTVRP.

У седмом поглављу дата су закључна разматрања.

Главни научни допринос дисертације

У оквиру тезе, предложене су методе за решавање три проблема LOBA, MMDP и RCTVRP, које су имплементиране и извршено је поређење добијених резултата са

результатима из литературе. Најважнији научни доприноси ове дисертације наведени су у наставку.

- За етапу конструкције решења приликом решавања проблема RCTVRP методом GRASP уведена је модификација заснована на фази логици, која побољшава перформансе алгорита.
- У раду је креирана нова структура података и предложене су нове формуле за ажурирање података о рутама које омогућавају смањење временске сложености локалне претраге за решавање RCTVRP проблема.
- Представљен је нови приступ одређивања трајекторија у методи поновног повезивања пута за решавање проблема рутирања возила.
- Применом предложене и имплементирани хибридне методе добијена су решења на инстанцама проблема великих димензија за проблем LOBA које до сада нису решаване.
- Добијена су решења која су боља од до сада познатих на инстанцама проблема великих димензија за проблем RCTVRP.
- Предложена су фази правила за мењање вредности параметра еволутивног алгорита у току извршавања и експериментима је показано да такав приступ унапређује примену тог алгорита на проблем MMDP.
- Креиран је нов модел за варијацију проблема RCTVRP применом фази логике такав да оптимална решења имају безбедније руте, што су потврдила и одговарајућа експериментална поређења модела.

Из свега претходно наведеног, може се закључити да истраживања реализована у овој дисертацији дају важан научни допринос решавању проблема рутирања возила и локације ресурса методама рачунарске интелигенције, математичком моделирању ових проблема, као и применама фази логике. Резултати ове дисертације отварају нове могућности примене фази логике у циљу повећавања ефикасности и квалитета примењених метода и приликом моделирања реалних проблема. Тиме су испуњени циљеви наведени приликом предлагања теме дисертације, као и сви формални услови.

Закључак и предлог

У дисертацији под насловом „Примена фази логике за решавање NP-тешких проблема рутирања возила и локације ресурса методама рачунарске интелигенције” кандидаткиња Нина Радојичић приказала је широко знање из области рачунарске интелигенције, фази логике, као и решавања проблема рутирања возила и локације ресурса. Разматране методе рачунарске интелигенције укључују методу GRASP, методу поновног повезивања пута, еволутивне алгоритме и методу променљивих околина, а приказане су и хибридизације метода. Значајан аспект тезе представљају и модификације алгорита коришћењем фази логике, као и примена фази логике у моделирању проблема.

Разматрани рукопис садржи важан научни допринос и значајне оригиналне резултате из области решавања NP-тешких проблема рутирања возила и локације

ресурса методама рачунарске интелигенције. Својим радом на дисертацији кандидаткиња Нина Радојичић је показала висок степен научне и истраживачке зрелости, као и оспособљеност за самосталан и тимски рад на решавању теоријских и практичних проблема.

На основу свега наведеног предлажемо Наставно-научном већу Математичког факултета и Већу научних области природно-математичких наука, Универзитета у Београду, да рукопис „Примена фази логике за решавање NP-тешких проблема рутирања возила и локације ресурса методама рачунарске интелигенције” кандидаткиње Нине Радојичић прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду, 19.03.2018. године

Чланови комисије:

др Мирослав Марић, ванредни професор, ментор
Математички факултет, Универзитет у Београду

др Гордана Павловић-Лажетић, редовни професор
Математички факултет, Универзитет у Београду

др Филип Марић, ванредни професор
Математички факултет, Универзитет у Београду

др Зорица Станимировић, ванредни професор
Математички факултет, Универзитет у Београду

др Александар Такачи, редовни професор
Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду