

**Наставно-научном већу  
Математичког факултета  
Универзитета у Београду**

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду донетој на 331. седници одржаној 22.04.2016. године именовани смо за чланове комисије за преглед и оцену докторске дисертације „Решавање дискретних локацијских проблема применом методе променљивих околина“ кандидата Александра Ђенића, мастер математичара. После прегледања поднетог рукописа подносимо следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА**

Александар Ђенић рођен је 12. фебруара 1987. године у Београду, где је завршио основну школу и Математичку гимназију. Дипломирао је 2010. године на Математичком факултету, Универзитета у Београду са просечном оценом 9,74 на смеру Рачунарство и информатика. Мастер академске студије је завршио 2011. године са просечном оценом 10,00 и одбрањеном мастер тезом под називом „Решавање неких проблема задовољења ограничења применом егзактних и хеуристичких метода“ под менторством др Мирослава Марића. По завршетку мастер студија уписао је докторске студије на истом факултету, модул Информатика. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10,00.

Од 2010. до 2012. године, Александар Ђенић био је запослен као сарадник у настави, а 2012. године изабран је у звање асистента за научну област Рачунарство и информатика на Математичком факултету, Универзитета у Београду, где је био запослен до 2016. године. Од 2011. године до 2016. године био је учесник на научном пројекту број 174010 под називом „Математички модели и методе оптимизације великих система“, под руководством др Ненада Младеновића, на Математичком институту САНУ, у оквиру текућег Програма истраживања научног и технолошког развоја, финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

#### **РАДОВИ У МЕЂУНАРОДНИМ ЧАСОПИСИМА СА СЦИ ЛИСТЕ**

- [1] A. Đenić, M. Marić, Z. Stanimirović, P. Stanojević, A variable neighbourhood search method for solving the long-term care facility location problem, *IMA Journal of Management Mathematics*, Volume 28, No 2, pp. 321-338, 2017. (M22, ИФ: 1.488)
- [2] Ђ. Такачи, М. Марић, Г. Станков, А. Ђенић, Efficiency of using VNS algorithm for forming heterogeneous groups for CSCL learning, *Computers & Education*, Volume 109, pp. 98-108, 2017. (M21a, ИФ: 3.771)
- [3] A. Đenić, N. Radojičić, M. Marić, M. Mladenović, Parallel VNS for Bus Terminal Location Problem, *Applied Soft Computing*, Applied Soft Computing, Volume 42, pages 448–458, 2016. (M21, ИФ: 2.810)
- [4] Т. Ракић, З. Станимировић, А. Ђенић, М. Марић, В. Јанчић-Стојановић, М. Меденица, Comparison of interpolation polynomials with divided differences, interpolation polynomials with finite differences, and quadratic functions obtained by the least squares method in modeling of chromatographic responses, *Journal of Chemometrics*, Volume 27, Issue 12, pages 466–474, 2013. (M21, ИФ: 1.803)
- [5] М. Марић, З. Станимировић, А. Ђенић, П. Станојевић, Memetic Algorithm for Solving the Multilevel Uncapacitated Facility Location Problem, *Informatica*, Vol. 25, No. 3, pp. 439–466, 2014. (M21, ИФ:0.873)

#### **РАДОВИ У МЕЂУНАРОДНИМ ЧАСОПИСИМА**

- [6] A. Đenić, Application of exact and heuristic methods to magic square problem, *Mathematica Balkanica*, Vol.25, no. 5, pp 491-498, 2011.
- [7] A. Đenić, M. Marić, M. Mladenović, S. Božović, M. Netković, Implementation of visitor pattern in processing a syntax tree in Qlab project, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 9, no. 1, pp. 29-32, 2012.
- [8] М. Марић, З. Станимировић, Н. Милenkовић, А. Ђенић, Metaheuristic Approaches to Solving Large-Scale Bilevel Uncapacitated Facility Location Problem with Clients Preferences, *Yujor*, Vol. 25, no. 3, pp 361-378, 2015.

#### **РАДОВИ У ЗБОРНИЦИМА РАДОВА СА МЕЂУНАРОДНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА ОБЈАВЉЕНИ У ЦЕЛИНИ**

- [9] A. Đenić, Z. Stanimirović, M. Marić, The Effects of Using a Self-Learning Shake Procedure in the Variable Neighborhood Search, *XI Balcan Conference on Operational Research*, Belgrade, 7-11 September 2013. pp: 265-273, ISBN 978-86-7680-285-2.
- [10] D. Džamić, A. Đenić, M. Marić, Parallel variable neighborhood search algorithm to minimize the makespan on hybrid flow shop problems, *XLII International Symposium on Operations Research*, 2015.

**РАДОВИ У ЗБОРНИЦИМА РАДОВА СА НАЦИОНАЛНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА ОБЈАВЉЕНИ У ЦЕЛИНИ**

- [11] M. Marić, A. Đenić, M. Mladenović, Razvoj aplikacija otvorenog koda na univerzitetima, Qlab projekat Matematičkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, NAUČNO-STRUČNI SKUP INFORMATIKA 2010, „Novi trendovi u razvoju informacionih sistema“, ISSN 978-86-904491-5-6, COBISS.SR-ID 175183629, pp.36-39, 2010. (predavanje po pozivu)
- [12] A. Đenić, M. Marić, M. Mladenović, S. Božović, M. Netković, Implementation of visitor pattern in processing a syntax tree in QLab Project, Proc. 55th Conference ETRAN, 5-9. jun 2011, Banja Vrućica, Teslić, Bosna i Hercegovina, elektronski zbornik radova sa konferencije ETRAN 2011, pp. VI2.5-1-2, ISBN: 978-86-80509-66-02.

**награда за најбољи рад младих истраживача**

- [13] M. Netković, A. Đenić, I. Barišić, N. Milenković, Projekat otvorenog koda - Qlab, Drugi Simpozijum matematika i primene, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2011.
- [14] M. Marić, F. Marić, A. Đenić, Application of exact and heuristic methods to low autocorrelation binary sequences problem, Proc. 56th Conference ETRAN, 11-14. jun 2012, Zlatibor, elektronski zbornik radova sa konferencije ETRAN 2012, pp. VI2.2-1-3, ISBN: 978-86-80509-67-9.
- [15] N. Milenković, M. Marić, A. Đenić, S. Božović, Solving quadratic assignment problem using Simulated annealing metaheuristic, Proc. 56th Conference ETRAN, 11-14. jun 2012, Zlatibor, elektronski zbornik radova sa konferencije ETRAN 2012, pp. VI2.3-1-2, ISBN: 978-86-80509-67-9.
- [16] T. Rakić, A. Đenić, M. Marić, Z. Stanimirović, B. Janičić-Stojanović, Razvoj novih modela predviđanja retencionog ponašanja u tačnoj hromatografiji hidrofилних interakcija, Treći simpozijum „Matematika i primene“, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 25-26. maj 2012, str. 91-96, ISBN 978-86-7589-097.
- [17] M. Jordanović, N. Milenković, M. Marić, A. Đenić, Primena algoritama mašinskog učenja u aplikacijama na mobilnim uređajima sa Android operativnim sistemom, Proc. 57th Conference ETRAN, 3-6. jun 2013, Zlatibor.
- [18] M. Marić, A. Đenić, A. Takači, N. Milenković, Solving hierarchical covering location problem using Variable Neighborhood Search metaheuristic, Proc. 57th Conference ETRAN, 3-6. jun 2013, Zlatibor.
- [19] D. Džamić, M. Marić, Z. Stanimirović, A. Đenić, Solving hybrid flow shop scheduling problem, Proc. 58th Conference ETRAN, 2-5. jun 2014, Vrnjačka banja, pp. VI3.5, 1-4, ISBN 978-86-80509-70-9, COBISS.SR-ID 210242316, UDK: 621.37/.38(082)(0.034.2).

**РАДОВИ У ЗБОРНИЦИМА РАДОВА СА МЕЂУНАРОДНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА ОБЈАВЉЕНИ САМО У ИЗВОДУ**

- [20] A. Đenić, M. Mladenović, D. Urošević, A new parallel variable neighborhood search for large p-median problem, EURO Mini Conference XXVIII on Variable Neighbourhood Search, October 4-7, 2012.

## **РАДОВИ У ЗБОРНИЦИМА РАДОВА СА НАЦИОНАЛНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА ОБЈАВЉЕНИ САМО У ИЗВОДУ**

- [21] A. Đenić, M. Mladenović, Organizacija studentskog projekta, Qlab, Matematički fakultet, Beograd, Prvi Simpozijum matematika i primene, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- [22] A. Đenić, N. Marković, B. Milićević, M. Đurić, I. Pavlović, 3Rs Network, rešenje za zaštitu životne sredine, Prvi Simpozijum matematika i primene, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2010.
- [23] Đ. Takači, M. Marić, G. Stankov, A. Đenić, Kooperativno učenje (u grupama) – grafici funkcija, Simpozijum matematika i primene, Matematički fakultet, Beograd, 25. maj 2013.
- [24] A. Đenić, Rešavanje problema određivanja položaja autobuskih terminala primenom paralelizovane metode promenljivih okolina, Sedmi simpozijum matematika i primene, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.

## **ПРОЈЕКТИ**

- Математички модели и методе оптимизације великих система (2011 – 2016), учесник пројекта Министарства за науку, технологију и развој Републике Србије, Математички институт САНУ, Београд
- Завршни испит – платформа за равномерно укључење ученика у образовни процес (2014 – 2015), учесник пројекта Министарства туризма, трговине и телекомуникација Републике Србије и Друштва математичара Србије
- Платформа еЗбирка као подршка ефикасности настави (2013 – 2014), учесник пројекта Министарства за спољну и унутрашњу трговину и телекомуникације Републике Србије и Друштва математичара Србије
- QLab – пројекат отвореног кода као алтернатива МАТЛАБ-у (2009 – 2016), организатор пројекта, Математички факултет, Универзитет у Београду

## ПРЕДМЕТ ДИСЕРТАЦИЈЕ

У рукопису „Решавање дискретних локацијских проблема применом методе променљивих околина“ представљени су анализа и методе решавања више локацијских проблема. Ови проблеми се односе на одређивање положаја објекта који пружају услуге, у простору у којем се већ налазе други објекти, најчешће клијенти који представљају кориснике услуга центара. Како велики број дискретних локацијских проблема припада класи *NP*-тешких проблема углавном се за њихово решавање користе различите методе рачунарске интелигенције. Предмет ове дисертације је развој и имплементација методе променљивих околина (енгл. *variable neighborhood search* - VNS) за решавање два дискретна локацијска проблема:

- проблем одређивања положаја аутобуских терминала (енгл. *bus terminal location problem* - BTLP) и
- проблем успостављања центара за продужену негу пацијената (енгл. *long-term care facility location problem* - LTCFLP).

BTLP представља дискретни локацијски проблем који за циљ има успостављање великих аутобуских терминала (центара), тако да клијенти буду што квалитетније опслужени. Клијенти представљају аутобуске и метро станице јавног превоза а познат је број дневних корисника за сваког клијента. За решавање BTLP проблема, имплементирана је унапређена локална претрага у оквиру VNS методе, заснована на брзој размени околина. Метода VNS је паралелизована и постигнуто је значајно временско убрзање методе у односу на број језгара процесора на коме се извршава. Алгоритам је тестиран на тест примерима из литературе, као и на новим тест примерима већих димензија заснованим на TSP библиотеци (енгл. *Traveling salesman problem library*). Решења добијена предложеним алгоритмом на познатим тест примерима надмашују сва постојећа решења BTLP проблема у литератури, док на новим тест примерима показују висок ниво стабилности алгоритма.

LTCFLP представља дискретни локацијски проблем који за циљ има да успостављени центри буду што равномерније оптерећени захтевима клијената. Проблем је формулисан приликом истраживања система здравствене заштите у Јужној Кореји. Клијенти представљају локације на којима се налазе групе пацијената којима је потребна продужена нега, док успостављени центри представљају локације на којима би требало да се изграде здравствени центри који ће пружати негу пацијентима. За решавање LTCFLP проблема имплементирана је нова структура података у оквиру VNS методе. Представљена структура података омогућила је брзу размену околина и временска сложеност једне итерације локалне претраге је значајно смањена у односу на временску сложеност једне итерације локалне претраге познате у литератури. Због тога, предложена

локална претрага води ка бољим резултатима јер је омогућено извршавање већег броја итерација VNS алгоритма у краћем временском периоду. Представљени су резултати предложеног алгоритма који надмашују познате резултате из литературе.

## **ПРИКАЗ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Рукопис има 105 страна, 145 библиографских јединица, 20 табела, 18 слика и 24 представљена алгоритма. Састоји се из увода, приказа методе променљивих околина, два већа поглавља са приказом разматраних проблема и методама за њихово решавање и закључка.

У уводу су дефинисани и описани појмови који се користе у дисертацији и описана је област на коју се теза односи. Приказани су проблем математичке оптимизације, основе теорије сложености алгоритама, основа теорије локацијских проблема као и четири репрезентативна локацијска проблема. У наставку увода приказани су основни појмови области рачунарске интелигенције: појам метахеуристике, подела метахеуристике, седам репрезентативних метахеуристике, различити начини тестирања перформанси метахеуристике, као и основни преглед паралелизације метахеуристике.

У другом поглављу представљени су појам околине простора претраге, основна метода променљивих околина, као и неке од основних варијација методе: метода променљивог спуста, редукована метода променљивих околина, општа метода променљивих околина, адаптивна метода променљивих околина и метода променљивих околина са декомпозицијом. На крају другог поглавља дат је преглед примена методе променљивих околина за решавање локацијских проблема.

У трећем и четвртном поглављу приказани су редом проблем одређивања положаја аутобуских терминала и проблем успостављања центра за продужену негу пацијената. За оба проблема представљени су: формулација, преглед значајне литературе, метода променљивих околина за решавање проблема као и резултати опсежних експеримената. За оба проблема предложено је унапређење сложености локалне претраге, временски најзахтевније фазе методе променљивих околина. Резултати приказаних метода су детаљно анализирани и упоређени су са резултатима познатим у литератури.

У закључку дисертације дат је резиме развијених метода, сумиран је значај развијених алгоритама и приказани су основни научни допринос рада и правци даљег рада.

## ГЛАВНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Научни доприноси ове дисертације су:

- дизајнирање стратегије за паралелизацију ниског нивоа VNS методе примењене за решавање VTLP проблема,
- конструкција унапређене локалне претраге за решавање VTLP проблема,
- креирање тест примера великих димензија за VTLP проблем, заснованих на TSPLIB библиотеци,
- примена представљеног алгоритма за решавање VTLP проблема и представљање нових, побољшаних резултата у односу на постојеће резултате из литературе,
- конструкција нове структуре података уз помоћ које је смањена временска сложеност локалне претраге за решавање LTCFLP проблема и
- примена представљеног алгоритма за решавање LTCFLP проблема и представљање нових, побољшаних резултата у односу на постојеће резултате из литературе.

Из свега претходно наведеног, може се закључити да су представљене методе од изузетног значаја за ефикасније решавање разматраних дискретних локацијских проблема. Истраживање приказано у овом раду представља допринос у области рачунарске интелигенције, локацијских проблема, комбинаторне оптимизације, као и у даљем развоју методе променљивих околина.

## ЗАКЉУЧАК

У рукопису „Решавање дискретних локацијских проблема применом методе променљивих околина“ кандидат Александар Ђенић је приказао широко знање у области метода рачунарске интелигенције и дискретних локацијских проблема.

Кандидат је у предложеном рукопису дао значајан допринос развоју метахеуристичких метода вођеним једним решењем за решавање дискретних локацијских проблема, како методолошки, тако и у практичној примени развијених метода.

Стога предлажемо Наставно-научном већу Математичког факултета да рукопис „Решавање дискретних локацијских проблема применом методе променљивих околина“ кандидата Александра Ђенића прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду, 20.04.2018. године

Чланови комисије:

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

др Владимир Филиповић, ванредни 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 Ненад Младеновић, редовни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду