

Наставно-научном већу  
Математичког факултета  
Универзитета у Београду

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду донетој на 361. седници одржаној 19. 4. 2019. године именовани смо за чланове комисије за преглед и оцену докторске дисертације „Нове методе кластеровања на комплексним мрежама” кандидата Душана Џамића. Након детаљног прегледања рукописа подносимо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### Биографија кандидата

Душан Џамић рођен је 28. 7. 1990. године у Крушевцу. Основну школу „Николај Велимировић“ и гимназију „Свети Трифун“ у Александровцу завршио је са одличним успехом. Математички факултет Универзитета у Београду уписао је 2009. године. Дипломирао је у јуну 2013. године на смеру Математика (модул Рачунарство и информатика) са просечном оценом 9,36. Мастер академске студије завршио је 2014. године са просечном оценом 10,00 и одбрањеном мастер тезом под називом „Решавање проблема распоређивања послова у вишефазној производњи применом хибридних метахеуристичких алгоритама“, под менторством др Мирослава Марића. По завршетку мастер студија уписао је докторске студије студијског програма Информатика, на Математичком факултету Универзитета у Београду. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10,00.

Од 2013. до 2014. године радио је на Математичком факултету Универзитета у Београду, као сарадник у настави за ужу научну област Математичка анализа. У зимском семестру школске 2013/14. изводио је практикум/вежбе на предметима Анализа 1А и Математика 1Ц (Физички факултет). Од децембра 2013. године запослен је на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, као сарадник у настави, а од децембра 2015. године као асистент, за ужу научну област Математичке методе у менаџменту и информатици. До сада, изводио је вежбе на предметима Математика 1, Математика 2, Математика 3 и Дискретне математичке структуре.

Од 2015. године члан је пројекта „Математички модели и методе оптимизације великих система“, пројекат бр. 174010, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, на Математичком институту САНУ.

### Списак научних радова

Радови у међународним часописима са SCI листе

- [1] Dušan Džamić, Jun Pei, Miroslav Marić, Nenad Mladenović and Panos Pardalos. „Exponential quality function for community detection in complex networks”, International Transactions in Operational Research 27, no.1 (2020):245-266. (M21, IF2017: 2.400)

- [2] Dušan Džamić, Daniel Aloise and Nenad Mladenović. „Ascent-descent variable neighborhood decomposition search for community detection by modularity maximization”, *Annals of Operations Research* 272, no.1-2 (2019):273-287. (M22, IF2018: 2.284)
- [3] Dušan Džamić, Bojana Ćendić, Miroslav Marić and Aleksandar Đenić. „Solving balanced multi-weighted attribute set partitioning problem with variable neighborhood search”, *Filomat* 33, no.9 (2019):2875-2891. (M22, IF2018: 0.789)
- [4] Andrijana Bačević, Nemanja Vilimonović, Igor Dabić, Jakov Petrović and Dušan Džamić. „Variable neighborhood search heuristic for nonconvex portfolio optimization”, *The Engineering Economist* 64, no.3 (2019):254-274. (M22, IF2018: 2.000)

Радови у међународним часописима

- [5] Dušan Džamić, „Some properties of E-quality function for network clustering”, *Yugoslav Journal of Operations Research* 31, no. 1 (2021) 65–74. (M51)

Радови у зборницима радова са међународних научних скупова објављени у целини

- [6] Dušan Džamić, Miroslav Marić, Aleksandar Đenić and Bojana Ćendić. „A variable neighborhood search for creating student groups with similar characteristics”, *Proceedings of 44th International Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS (2017):152 - 157*, Civil Engineering and Geodesy School of Applied Studies Belgrade, 25. - 28. September, Zlatibor, Serbia. (M33)
- [7] Dušan Džamić, Miroslav Marić and Bojana Ćendić. „A Memetic algorithm for solving Quadratic Assignment Problem”, *Proceedings of 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering - IcETRAN (2015):VII1.4.1 - 3*, Society for Electronics, Telecommunications, Computers, Automatic Control and Nuclear Engineering, 8. - 11. July, Silver Lake, Serbia. (M33)
- [8] Dušan Džamić, Daniel Aloise, Nenad Mladenović and Dragan Urošević. „Improved variable neighborhood search for community detection by modularity maximization”, *Proceedings of 42nd International Symposium on Operations Research - SYM-OP-IS (2015):252 - 255*, Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, 15. - 18. September, Silver Lake, Serbia. (M33)
- [9] Dušan Džamić, Aleksandar Đenić and Miroslav Marić. „Parallel variable neighborhood search algorithm to minimize the makespan on hybrid flow shop problems”, *Proceedings of 42nd International Symposium on Operations Research - SYM-OP-IS (2015):269 - 272*, Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, 15. - 18. September, Silver Lake, Serbia. (M33)

Радови у зборницима радова са међународних научних скупова објављени у изводу

- [10] Nenad Mladenović, Daniel Aloise and Dušan Džamić. „Comparative analysis of some quality functions in detecting community structure on networks”, *Book of abstracts of the 7th International Conference on Optimization Problems and Their Applications - OPTA (2018):97*, Omsk F. M. Dostoevsky State University, 8. - 14. July, Omsk, Russia. (M34)
- [11] Nebojša Nikolić, Mirjana Čangalović and Dušan Džamić. „Exact Values of the Metric Dimension of N-Dimensional Hypercube For Up To N = 13”, *Book of abstracts of the 8th Balkan Conference on Operational Research - BALCOR (2018):8*, The Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts (SANU), 25. - 28. May, Belgrade, Serbian. (M34)

- [12] Dušan Džamić, Miroslav Marić and Nenad Mladenović. „An approach to express the quality of the partitions of a complex network into communities”, Book of abstracts of the 4th International Conference on Variable Neighborhood Search - ICVNS (2016):18-19, Universidad Rey Juan Carlos, 3. - 5. October, Málaga, Spain. (M34)
- [13] Nebojša Nikolić, Dušan Džamić and Dragana Makajić-Nikolić. „A new variable neighborhood search heuristic for covering design problem”, Book of abstracts of the 4th International Conference on Variable Neighborhood Search - ICVNS (2016):18-19, Universidad Rey Juan Carlos, 3. - 5. October, Málaga, Spain. (M34)
- [14] Marija Radojičić, Slaviša Radović, Dušan Džamić and Miroslav Marić. „The influence of technology in inclusive learning: Platform "Završni ispit", VI International Conference of Teaching and Learning mathematics”, 6th International Conference of Teaching and Learning mathematics (2015), University of Novi Sad, Faculty of Sciences, 23. - 25. January, Novi Sad, Serbia. (M34)
- [15] Nebojša Nikolić, Mirjana Čangalović and Dušan Džamić. „Variable neighborhood search heuristic for the metric dimension problem on hypercubes”, 3rd International Conference on Variable Neighborhood Search - ICVNS (2014), Modeling and Optimization for Decisional, Industrial and Logistic Systems Laboratory, 8. - 11. October, Djerba, Tunisia. (M34)

Радови у зборницима радова са националних научних скупова објављени у целини

- [16] Dušan Džamić, Miroslav Marić, Zorica Stanimirović and Aleksandar Đenić. „Optimizacija problema raspoređivanja poslova u višefaznoj proizvodnji sa paralelnim mašinama”, Zbornik radova 58. Konferencije za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku - ETRAN (2014): VI3.5.1 - 4, Društvo za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, 2. - 5. Jun, Vrnjačka Banja, Srbija. (M63)

Радови у зборницима радова са националних научних скупова објављени у изводу

- [17] Miroslav Marić, Dušan Džamić and Bojana Ćendić. „Rešavanje problema balansiranog particionisanja skupa primenom metode promenljivih okolina”, Osmi simpozijum Matematika i primene (2017), Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 17. - 18. Novembar, Beograd, Srbija. (M64)
- [18] Ivana Kovačević, Dušan Džamić, Slaviša Radović and Miroslav Marić. „Informaciono-komunikacione tehnologije i obrazovanje učenika sa razvojnim smetnjama”, Šesti simpozijum Matematika i primene (2015), Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, , 16. - 17. Oktobar, Beograd, Srbija. (M64)

## Предмет дисертације

У дисертацији „Нове методе кластеровача на комплексним мрежама“ приказано је решавање проблема кластеровача на комплексним мрежама. Решавање проблема има за циљ проналажење група у којима су елементи међусобно густо повезани, док су истовремено ретко повезани са елементима у другим групама. Групе настале кластеровачем називају се кластери, а њихов број и карактеристике нису познате пре спровођења самог поступка.

Центар за дискретну математику и теоријско рачунарство (енгл. *Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science – DIMACS*), који представља конзорцијум престижних академских институција (*Rutgers University, Princeton University, Columbia University*) и истраживачких лабораторија (*Microsoft, IBM, AT&T, NEC*), сврстао је 2012. године проблем

кластеровања на мрежи на листу најважнијих проблема и изазова у рачунарству за које је неопходно развити и имплементирати ефикасне алгоритме (<http://dimacs.rutgers.edu/programs/challenge/>).

Методе кластеровања на комплексним мрежама су од великог значаја за разумевање динамике и еволуције комплексних мрежа које се појављују у различитим доменима. Идентификовање кластера може послужити за бољу визуализацију, као и за утврђивање особина појединачних чворова, односно њихових улога у мрежи. Приликом креирања метода до сада су у литератури коришћени различити приступи засновани на оптимизацији, спектралној теорији графова, статистичком закључивању и динамичким процесима. Најзаступљенији приступ у литератури подразумева дефинисање мере за одређивање квалитета партиције и конструисање метода за проналажење партиције која има максималну вредност дефинисане мере квалитета. Оваквим приступом проблем кластеровања своди се на проблем комбинаторне оптимизације.

Модуларност представља најчешће коришћену меру у литератури за одређивање квалитета партиције. У оквиру дисертације предложена је нова ADVNDS метода (енгл. *Ascent-Descent Variable Neighborhood Decomposition Search* – ADVNDS) заснована на методи променљивих околина за максимизацију модуларности. У циљу ефикасне примене на комплексним мрежама великих димензија, развијен је механизам за декомпозицију проблема на потпроблеме и побољшан механизам за превазилажење локалних максимума модуларности коришћењем AD критеријума (енгл. *Ascent-Descent* – AD) за повремено прихватање лошијег решења од тренутно разматраног. Резултати добијени експерименталним тестирањем упоређени су са најбољим резултатима презентованим у литератури за разматрани проблем. Анализа резултата је показала да предложена ADVNDS метода надмашује постојеће методе и добија решења која су боља од познатих решења из литературе.

Како кластеровање максимизацијом модуларности није погодно за откривање малих кластера у мрежама великих димензија, чак и када су они очигледни, у оквиру дисертације предложена је нова мера названа Е-функција. Кроз четири тврђења показано је да нова мера превазилази недостатке који карактеришу модуларност и има потенцијал за идентификовање кластера у мрежи. За потребе детаљног тестирања и поређења предложене Е-функције и модуларности развијена је генеричка метода променљивих околина. Експериментално тестирање спроведено је на генерисаним и реалним инстанцама из литературе за које је исправна подела на кластере позната. Резултати потврђују теоријска разматрања и показују да се оптимизацијом Е-функције на свим инстанцама могу идентификовати очекивани кластери.

## Приказ дисертације

Рукопис има 113 страна, списак коришћене литературе од 138 библиографских јединица, 46 слика и 7 табела. Састоји се из увода, три већа поглавља подељених на мање целине и закључка.

У уводном поглављу су дефинисани и описани појмови који се користе у дисертацији. Кроз четири секције приказане су основе теорије графова, теорије сложености алгоритама, математичке оптимизације и метахеуристичких метода.

У другом поглављу описан је проблем кластеровања на комплексним мрежама који се разматра у дисертацији. Најпре су описане комплексне мреже, њихове универзалне карактеристике и структуре података погодне за представљање у рачунару. Затим је формално описан проблем кластеровања на мрежи и дат опсежан приказ литературе и приступа за његово решавање.

У трећем поглављу изложена је нова ADVNDS метода развијена за кластеровање на комплексним мрежама максимизацијом модуларности. Најпре је представљена математичка формулација проблема максимизације модуларности, а затим су детаљно описане све компоненте нове методе. Резултати добијени ADVNDS методом су детаљно анализирани и упоређени са резултатима познатим у литератури.

У четвртом поглављу предложена је нова функција за мерење квалитета партиције графа чијом се оптимизацијом могу идентификовати кластери у комплексној мрежи. Најпре је дефинисана нова мера (E-функција), а затим су анализирана њена својства и потенцијал за идентификовање кластера у мрежи. Након тога изложена је генеричка метода променљивих околина за оптимизацију произвољне функција која мери квалитета партиције графа. Развијеном методом је извршено поређење модуларности и E-функције на генерисаним и реалним инстанцама из литературе.

У закључку дисертације дат је резиме развијених метода и преглед најважнијих резултата који представљају научни допринос дисертације. Такође, наведени су могући правци даљег истраживања.

### Главни научни допринос дисертације

Истраживања спроведена у оквиру ове дисертације дају важан допринос у областима кластеровања, комбинаторне оптимизације, као и даљем развоју методе променљивих околина. Најважнији научни доприноси ове дисертације су:

- У раду је предложена нова метода (ADVNSD) која је заснована на методи променљивих околина за максимизацију модуларности.
- Изложен је нови приступ за превазилажење локалних максимума модуларности који се једноставно може применити приликом решавања других проблема математичке оптимизације.
- Применом предложене ADVNSD методе кластеровања добијена су решења која су боља од познатих решења из литературе.
- За мерење квалитета партиционисања мреже предложена је нова мера (E-функција), која превазилази недостатке који карактеришу модуларност.
- Развијена је генеричка метода променљивих околина за оптимизацију произвољне реалне функције којом се мери квалитет партиције.
- Генеричка метода променљивих околина са E-функцијом је примењена за кластеровање комплексних мрежа и показан је потенцијал предложене E-функције.

Резултати ове дисертације отварају нове могућности за истраживање проблема расплутог кластеровања и кластеровања на вишеслојним мрежама модификацијом ADVNSD методе. Тиме су испуњени циљеви наведени приликом предлагања теме дисертације, као и сви формални услови.

## Закључак и предлог

У рукопису „Нове методе кластеровача на комплексним мрежама“ кандидат Душан Џамић је приказао широко знање у областима метода математичке оптимизације и рачунарске интелигенције и успешно га применио за решавања проблема кластеровача на комплексним мрежама.

Кандидат Душан Џамић је у предложеном рукопису дао значајан допринос развоју метода за кластероваче на комплексним мрежама, како методолошки, тако и у практичној примени развијених метода. Кандидат је кроз рад на дисертацији показао висок степен научне и истраживачке зрелости, као и способност за самосталан и тимски рад на решавању теоријских и практичних проблема.

На основу свега наведеног предлажемо Наставно-научном већу Математичког факултета Универзитета у Београду и Већу научних области природно-математичких наука Универзитета у Београду, да рукопис „Нове методе кластеровача на комплексним мрежама“ кандидата Душана Џамића прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду, 18. 3. 2021.

Чланови комисије:

Проф. др Мирослав Марић, ментор  
ванредни професор, Математички факултет Универзитета у Београду

Проф. др Гордана Павловић-Лажетић  
редовни професор, Математички факултет Универзитета у Београду

Проф. др Зорица Станимировић  
редовни професор, Математички факултет Универзитета у Београду

др Нина Радојичић Матић  
доцент, Математички факултет Универзитета у Београду

Проф. др Ненад Младеновић,  
редовни професор, Khalifa University, Абу Даби, Уједињени Арапски Емирати  
научни саветник (у пензији), Математички институт САНУ, Београд