

Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду, која је донета на 420. седници одржаној 22. 11. 2024. године, именовани смо у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације **„Метахеуристичке методе вишекритеријумске оптимизације и примене на дискретне локацијске проблеме“** кандидата **Лазара Мркела**. Након прегледа предатог рукописа, комисија подноси Наставно - научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

Биографија кандидата

Лазар Мркела рођен је 3. августа 1992. године у Книну, Хрватска. Основну школу и гимназију завршио је у Панчеву. Школске 2011/2012. године уписао је основне академске студије на Математичком факултету у Београду, студијски програм Информатика и дипломирао школске 2013/2014. године. Школске 2014/2015. године уписао је мастер академске студије на Математичком факултету, студијски програм Информатика. Мастер академске студије завршио је 2016. године одбраном мастер рада под насловом „Решавање проблема оптималног планирања бежичних меш мрежа применом метахеуристичких метода“ под руководством проф. др Зорице Станимировић. Школске 2016/2017. године уписао је докторске академске студије на Математичком факултету, смер Информатика. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10.

Од 2016. до 2017. године радио је као софтверски инжењер у Институту „Михајло Пупин“ у Београду на развоју и одржавању софтвера за ЈП Електромрежа Србије. Од 2017. године запослен је на Факултету за информационе технологије, Универзитета Метрополитан у Београду. Као асистент изводио је наставу из више предмета на основним студијама у области рачунарства. Поред наставе, био је ангажован у Лабораторији за софтверско инжењерство Универзитета Метрополитан, где је радио на развоју софтвера за креирање и анализу интерактивних наставних материјала. Од 2022. до 2024. године био је запослен у компанији Hooioooo, где је радио као софтверски инжењер на пројектима за шведску компанију Kindred group.

Као истраживач био је ангажован на пројекту „Математички модели и методе оптимизације великих система“, пројекат бр. 174010 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, чији координатор је био Математички институт САНУ. Учествовао је као предавач на пројекту Преквалификације за ИТ 2018 (Пројекат Владе Републике Србије подржан од UNDP-a). Рецензирао је неколико радова за часописе IEEE Transactions on Medical Imaging, Soft Computing, Nature Scientific Reports и Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. Био је члан Организационог одбора 48. Међународног симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS 2021). Члан је међународних удружења INFORMS и EURO Working Group on Metaheuristics.

Предмет и циљ дисертације

У овој дисертацији разматрана су два НП-тешка дискретна локацијска проблема и њихове двокритеријумске варијанте. Предложене су ефикасне метахеуристичке методе, засноване на методи променљивих околина, за решавање једнокритеријумских и двокритеријумских варијанти ових проблема.

Најпре је разматрана варијанта проблема максималног покривања локација (енгл. Maximal Covering Location Problem, MCLP) која укључује преференције корисника и ограничење буџета за отварање објеката. Ова варијанта проблема максималног покривања није до сада разматрана у литератури. За разлику од класичног проблема максималног покривања, проблем разматран у овој дисертацији укључује преференције корисника ка локацијама, где се корисници додељују локацији коју највише преферирају, а која има отворен објекат. Поред тога, различите локације имају различите цене постављања објеката, а расположиви буџет је ограничен. Овај проблем је решаван методом променљивих околина, а добијени резултати су упоређени са резултатима егзактног решавача на модификованим инстанцама из литературе. Додатно, решавана је и постојећа варијанта проблема максималног покривања која уместо ограниченог буџета укључује ограничења на број објеката које треба отворити.

Затим је разматран проблем постављања регенератора у оптичким мрежама (енгл. Regenerator Location Problem, RLP). Код оптичких мрежа квалитет сигнала опада са растојањем, те је потребно поставити скупе уређаје који ће опоравити сигнал. У овој дисертацији разматран је постојећи модел, где је скуп локација за постављање регенератора различит од скупа корисничких чворова и такав проблем се назива уопштеним. Уопштени проблем постављања регенератора у оптичким мрежама (енгл. Generalized Regenerator Location Problem, GRPL) је такође решаван методом променљивих околина, а резултати су упоређени са најбољим доступним из литературе.

У дисертацији су дефинисане и двокритеријумске варијанте наведених проблема (енгл. Bi-Objective Maximal Covering Location Problem, Bi-Objective Generalized Regenerator Location Problem). Код проблема максималног покривања локација, преференције корисника су укључене као тежински фактори у укупној покривеној потражњи, што чини прву функцију циља. Друга функција представља број непокривених корисника и тежи да оствари правичност у моделу. Код проблема постављања регенератора у оптичким мрежама, претпоставка је да, услед ограниченог буџета, није могуће обезбедити несметану комуникацију између свих парова корисничких чворова. Сваки пар има додељену тежину, а сума тежина повезаних парова чини прву функцију циља. Друга функција циља је цена постављања регенератора. Двокритеријумске варијанте су решаване прилагођеном вишекритеријумском варијантом методе променљивих околина, а приказани су резултати поређења са еволутивним алгоритмима из литературе.

Основне хипотезе од којих се полазило у истраживању

Основне претпоставке од којих се кренуло у истраживању при изради докторске дисертације су следеће:

- Постојећи проблеми MCLP и GRPL се могу проширити тако да боље одсликавају реалне ситуације. У раду где је уведен MCLP са преференцијама корисника користи се фиксиран број

објекта, док у пракси цена постављања објекта може да зависи од локације, а компанија која поставља објекте располаже ограниченим буџетом. Оригинални проблеми MCLP и GRLP оптимизују само једну функцију циља, док се у реалним ситуацијама често мора правити компромис између више критеријума оптимизације.

- Како су наведени проблеми НП-тешки, метахеуристичке методе могу у краћем времену дати боља решења у односу на решења егзактних решавача на инстанцама великих димензија. У случају вишекритеријумске оптимизације, добијање скупа свих Парето оптималних решења је још захтевније. Метахеуристички алгоритми могу у прихватљивом времену генерисати апроскимативни скуп решења који у реалним ситуацијама може бити довољно добар, иако не мора бити оптималан.

- Алгоритми засновани на локалној претрази, као што је метода променљивих околина, могу побољшати решења двокритеријумских варијанти наведених проблема у односу на познате еволутивне алгоритме из литературе.

- Постојећи алгоритми за решавање MCLP са преференцијама корисника нису тестирани на инстанцама великих димензија (преко 200 потенцијалних локација) и инстанцама генерисаним на основу реалних података. Додатно, постоји могућност побољшања стабилности решења, као и могућност скраћивања времена извршавања.

На основу резултата приказаних у докторској дисертацији, може се закључити да су све полазне хипотезе потврђене.

Опис садржаја дисертације

Рукопис има 157 страна и обухвата 5 поглавља, закључак и списак коришћене литературе од 188 референци. Структура рукописа је следећа:

1 Увод

1.1 Математичка оптимизација

1.2 Локацијски проблеми

1.3 Егзактне методе оптимизације

1.4 Метахеуристичке методе

2 Проблем максималног покривања локација са ограниченим буџетом и преференцијама корисника

2.1 Опис проблема и преглед релевантне литературе

2.2 Математичка формулација проблема

2.3 Метода променљивих околина за решавање проблема

2.4 Експериментални резултати

3 Двокритеријумски проблем максималног покривања локација са преференцијама корисника

3.1 Опис проблема и преглед релевантне литературе

3.2 Математичка формулација проблема

3.3 Вишекритеријумска метода променљивих околина

3.4 Експериментални резултати

4 Уопштени проблем постављања регенератора у оптичким мрежама

4.1 Опис проблема и преглед релевантне литературе

4.2 Формулација проблема на графу

4.3 Унапређена метода променљивих околина за WGRLP

4.4 Експериментални резултати

5 Двокритеријумски уопштени проблем постављања регенератора у оптичким мрежама

5.1 Опис проблема и преглед релевантне литературе

5.2 Вишекритеријумска метода променљивих околина

5.3 Експериментални резултати

Закључак

Библиографија

У првом (уводном) поглављу су презентоване основне поставке проблема математичке оптимизације, са посебним освртом на проблеме вишекритеријумске оптимизације и локацијске проблеме. Представљени су концепти егзактних и метахеуристичких метода за решавање проблема једнокритеријумске и вишекритеријумске оптимизације. Представљене су уопштене методе засноване на парадигми еволутивних алгоритама које су коришћене за евалуацију новоразвијених метода предложених за решавање проблема који нису до сада разматрани у литератури.

У другом поглављу је уведена нова варијанта локацијског проблема максималног покривања са преференцијама корисника и ограниченим буџетом, која досада није била разматрана у литератури. Дата је математичка формулација ове нове варијанте MCLP проблема и предложене су варијанте методе променљивих околина за њено решавање. У трећем поглављу уведена је двокритеријумска варијанта MO-MCLP, у циљу постизања баланса између тежинске суме потражње покривених корисника (где тежине одговарају преференцијама) и броја непокривених корисника. Развијене су вишекритеријумске варијанте методе променљивих околина за решавање MO-MCLP које су упоређене са уопшћеним еволутивним алгоритмима.

У четвртом поглављу разматран је уопштени проблем постављања регенератора у оптичким мрежама, као и његова тежинска варијанта WGRLP, која укључује трошкове постављања регенератора на потенцијалним локацијама. Предложена је ефикасна метода променљивих околина за решавање, а резултати имплементираних метода су упоређени са најбољим из литературе. У петом поглављу, уведена је двокритеријумска варијанта MO-GRLP, која до сада није разматрана у литератури. Код предложеног MO-GRLP, једна функција циља је цена постављања регенератора, док другу чини сума тежина повезаних парова крајњих чворова. Циљ проблема је минимизација прве и максимизација друге функције циља. Вишекритеријумска варијанта методе променљивих околина је прилагођена за решавање MO-GRLP и резултати су упоређени са уопшћеним еволутивним алгоритмима.

Закључак садржи кратак преглед научних доприноса докторске дисертације, као и правце будућег рада.

Остварени резултати и научни допринос дисертације

Резултати приказани у дисертацији представљају научни допринос области рачунарске интелигенције, односно развоју метахеуристичких метода за решавање проблема

једнокритеријумске и вишекритеријумске оптимизације. Додатно, у дисертацији су предложени нови проблеми који до сада нису разматрани у литератури и њихове двокритеријумске варијанте, што представља допринос области вишекритеријумске оптимизације. Прецизније, научни доприноси истраживања приказаног у рукопису су следећи:

- Предложен је нови, унапређени начин решавања MCLP са преференцијама корисника у односу на постојеће алгоритме из литературе;
- Дефинисана је нова варијанта проблема MCLP са преференцијама корисника и ограниченим буџетом;
- Предложене су варијанте методе променљивих околина за решавање нове варијанте MCLP и добијени резултати су упоређени са резултатима егзактног решавача;
- Дефинисан је нови двокритеријумски MCLP са преференцијама корисника са циљем остваривања баланса између покривене потражње корисника и броја непокривених корисника;
- У циљу решавања предложеног MO-MCLP развијене су различите варијанте вишекритеријумске методе променљивих околина, чији су резултати упоређени са резултатима уопштених еволутивних алгоритама за вишекритеријумску оптимизацију;
- Генерисане су нове инстанце великих димензија на основу реалних података за MCLP са преференцијама корисника. Ове тест инстанце су коришћене за евалуацију ефикасности метода за решавање једнокритеријумског и двокритеријумског MCLP;
- Унапређен је начин решавања WGRLP у односу на постојећа решења из литературе;
- Уведен је нови ефикасни начина за проверу допустивости решења и ажурирање вредности функције циља приликом локалне претраге код решавања WGRLP;
- Дефинисан је нови двокритеријумски GRP, који је затим решаван уопштеним еволутивним алгоритмима, као и предложеном вишекритеријумском методом променљивих околина.

Научни радови кандидата

Оригинални резултати кандидата који су садржани у докторској дисертацији публиковани су у радовима:

[1] Lazar Mrkela. An efficient variable neighborhood search for generalized regenerator location problems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 31(05):2250033, 2022, <https://doi.org/10.1142/S0218213022500336> (M23)

[2] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. A multi-objective variable neighborhood search for the maximal covering location problem with customer preferences. *Cluster Computing*, 25(3):1677–1693, 2022, <https://doi.org/10.1007/s10586-021-03524-9> (M21)

[3] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. A variable neighborhood search for the budget constrained maximal covering location problem with customer preference ordering. *Operational Research*, 22(5):5913–5951, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12351-021-00652-3> (M22)

[4] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. Skewed variable neighborhood search method for the weighted generalized regenerator location problem. *6th International Conference, ICVNS 2018, Lecture Notes in Computer Science*, 11328:182–201, 2019. (M33)

- [5] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. A bi-objective maximal covering location problem: a service network design application. In: Proceedings of the International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2020), pages 1–7. IEEE, 2020. **(M33)**
- [6] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. A metaheuristic approach to solving the maximal covering location problem. In: Proceedings of the XLVI International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS), Kladovo, Serbia, 2019. Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade. **(M33)**
- [7] Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović. Bi-objective dynamic maximal covering location problem. In Proceedings of the XLVIII International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS), Banja Koviljača, Serbia, 2021. Faculty of Mathematics, University of Belgrade. **(M33)**
- [8] Lazar Mrkela, Filip Vidojević, Zorica Stanimirović. Dvokriterijumski uopšteni problem postavljanja regeneratora u optičkim mrežama, Zbornik radova 50. Međunarodnog simpozijuma o operacionim istraživanjima, Medija centar „Odrana“, 2023. **(M33)**
- [9] Zorica Stanimirović, Lazar Mrkela. Evolutionary algorithm approach to bi-objective maximal covering location problem with customer preferences. In Proceedings of the XLVII International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS 2020), Belgrade, Serbia, 2020. Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade. **(M33)**

Закључак

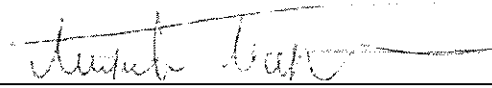
У рукопису „Метахеуристичке методе вишекритеријумске оптимизације и примене на дискретне локацијске проблеме“, кандидат Лазар Мркела је показао систематично познавање области рачунарске интелигенције, као и области математичке оптимизације. Успешно је развио метахеуристичке методе за решавање два НП-тешка дискретна локацијска проблема и њихових вишекритеријумских варијанти. Резултати приказани у дисертацији су публиковани у три рада у часописима на СЦИ листи (један самосталан и два коауторска) и представљени кроз излагања на више националних и међународних конференција и објављени у зборницима радова.

Кандидат је кроз рад на дисертацији дао теоријски и практични допринос решавању једнокритеријумских и вишекритеријумских дискретних локацијских проблема. Резултати истраживања приказани у дисертацији отварају пут ка решавању сродних проблема вишекритеријумске комбинаторне оптимизације применом вишекритеријумске варијанте методе променљивих околина.

Докторска дисертација је урађена према одобреној пријави и представља оригинално и самостално научно дело, те констатујемо да су се стекли услови за њену јавну одбрану. Стога предлагемо Наставно-научном већу Математичког факултета Универзитета у Београду, да рукопис „Метахеуристичке методе вишекритеријумске оптимизације и примене на дискретне локацијске проблеме“, кандидата Лазара Мркеле, прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду,
25. 12. 2024. године

Чланови комисије:



др Мирослав Марић, редовни професор,
Математички факултет-Универзитет у Београду

др Нина Радојичић Матић, доцент
Математички факултет-Универзитет у Београду

др Татјана Давидовић, научни саветник
Математички институт, САНУ