

**Nastavno-naučnom veću
Matematičkog fakulteta
Univerziteta u Beogradu**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Matematičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu donetoj na 322. sednici održanoj 19.06.2015. godine imenovani smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „**Egzaktne i metaheurističke metode za rešavanje NP-teških lokacijskih problema**“ kandidata Predraga Stanojevića, diplomiranog matematičara. Posle pregledanja podnetog rukopisa podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

Biografija kandidata

Predrag Stanojević rođen je 24.07.1976. godine u Beogradu. Završio je prve tri godine Matematičke gimnazije, a četvrtu godinu srednje škole je završio u Ridley Senior High School u Sjedinjenim Američkim Državama. Diplomirao je na Matematičkom fakultetu, smer Računarstvo i informatika. Godine 2008. upisao je doktorske studije na istom smeru. Položio je sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija. Pored kurseva predviđenih programom, pohađao je i položio dva kursa u okviru projekta „SEE Doctoral Studies in Mathematical Sciences“ (144703-TEMPUS-2008-BA-JCPR). Više od 10 godina se profesionalno bavi enigmatikom i autor je više od 100 zbirki enigmatskih problema.

Osnovna oblast naučnog interesovanja mu je optimizacija pomoću genetskih, egzaktnih i hibridnih algoritama. Objavio je veći broj naučnih radova u međunarodnim časopisima, a učestvovao je i na međunarodnim konferencijama.

Naučni radovi u časopisima na SCI listi

- [1] Stanojević P., Marić M., Stanimirović Z., *A hybridization of an evolutionary algorithm and a parallel branch and bound for solving the capacitated single allocation hub location problem*, Applied Soft Computing, Volume 33, pp. 24-36, 2015. (M21, IF2015=2.857)

- [2] Marić M., Stanimirović Z., Djenić A., Stanojević P., *Memetic Algorithm for Solving the Multilevel Uncapacitated Facility Location Problem*, INFORMATICA, Volume 25, No. 3, pp. 439–466, 2014. (M22, IF2014=0.873)
- [3] Marić M., Stanimirović Z., Stanojević P., *An efficient memetic algorithm for the uncapacitated single allocation hub location problem*, Soft Computing, Volume 17, Issue 3, pp. 445-466, 2013. (M22, IF2013=1.304)
- [4] Stanimirović Z., Marić M., Božović S., Stanojević P., *An Efficient Evolutionary Algorithm for Locating Long-Term Care Facilities*, INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL 41 (1), pp. 77-89, 2012. (M23, IF2012=0.667)
- [5] Đenić A., Marić M., Stanimirović Z., Stanojević P., *A variable neighbourhood search method for solving the long-term care facility location problem*, IMA Journal of Management Mathematics, 2016. (doi: 10.1093/imaman/dpw008) (M23, IF2015=0.878)

Naučni rad trenutno na recenziji u časopisu na SCI listi

- [6] Stanojević P., Marić M., *Two algorithms for solving hub location problems by model decomposition.*

Naučni radovi u međunarodnim časopisima

- [7] Stanojević P., Marić M., *Solving Large Scale Instances of Hub Location Problems with a Sub-problem Using an Exact Method*, IPSI Transactions on Internet Research, Volume 11 Number 1 (ISSN 1820-4503), pp.1-6, 2015.
- [8] Stanojević P., *A Parallel Branch-and-Bound Algorithm with Restarts for Solving the Hierarchical Covering Location Problem*, Mathematica Balkanica, Volume 25, pp. 555-567, 2011.
- [9] Stanojević P., Marić M., Kratica J., Bojović N., Milenković M., *Mathematical optimization for the train timetabling problem*, Mathematica Balkanica, Volume 24, Fasc 3-4, pp. 303-312, 2010.

Učešće na međunarodnim konferencijama

- MASSEE International Congress on Mathematics, MICOM 2009, SEE Doctoral Studies in Mathematics, SEE Young Researchers Workshop, September 2009, Ohrid, Macedonia
- ETRAN 53, Jun 2009, Vrnjačka Banja

Projekti

- SEE Doctoral Studies in Mathematical Sciences, 144703-TEMPUS-2008-BA-JCPR
 - PhD Course *Data Structures and High Performance Computing*, Activity II.2.3, Skopje, Macedonia, November 2011, Complete Course Grade A
 - PhD Course *Algebraic Combinatorics, Computability and Complexity*, Activity II.2.6, Sofia, Bulgaria, October 2011, Final Grade A

Predmet disertacije

U rukopisu „Egzaktne i metaheurističke metode za rešavanje NP-teških lokacijskih problema“ predstavljene su metode za rešavanje diskretnih lokacijskih problema. Ovi problemi predstavljaju bitan deo široke oblasti operacionih istraživanja. Pri rešavanju lokacijskih problema, potrebno je odrediti koji čvorovi u mreži će predstavljati centre (habove, uslužne centre, dobavljačke centre, ustanove i sl.), a preostale čvorove-korisnike treba pridružiti uspostavljenim centrima, pri čemu je potrebno minimizovati ili maksimizovati vrednost funkcije cilja. Centri međusobno mogu biti ravnopravni ili među njima može biti uspostavljena određena hijerarhija.

Najveći broj diskretnih lokacijskih problema pripada klasi NP-teških problema, pa je uobičajeno da se za rešavanje problema većih dimenzija koriste metaheurističke metode različitog tipa. U ovom rukopisu su razmatrana tri konkretna lokacijska problema: hab lokacijski problem sa jednostrukom alokacijom i sa ograničenjem kapaciteta (eng. Capacitated Single Allocation Hub Location Problem - CSAHLP), hab lokacijski problem sa jednostrukom alokacijom bez ograničenja kapaciteta (eng. Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem - USAHLP) i lokacijski problem snabdevača neograničenog kapaciteta u više nivoa (eng. Multi Level Uncapacitated Facility Location Problem - MLUFLP). Sva tri navedena problema su NP-teška.

Predmet disertacije je razvoj i implementacija više metoda za rešavanje razmatranih problema, počev od memetskog algoritma, preko hibridne metode do iterativne heurističke metode i egzaktne metode. Dva memetska algoritma, koja su razvijena i primenjena na rešavanje USAHLP i MLUFLP problema, sastoje se od genetskog algoritma (GA) i lokalne pretrage. Hibridna metoda GA-BnB, koja se sastoji od genetskog algoritma i metode grananja i ograničavanja (eng. branch-and-bound, skr. BnB), primenjena je na rešavanje problema CSAHLP. Konačno, predstavljena je i metoda dekompozicije za lokacijske probleme, koja polazi od rastavljanja problema na nadproblem i potproblem. Primena ove metode je realizovana kroz implementaciju dva algoritma: algoritma proste dekompozicije modela (APDM) i egzaktnog kombinatornog algoritma dekompozicije modela (KADM). Svrha APDM je da iterativno popravlja rešenja problema, tako što u svakoj iteraciji traži novo dopustivo rešenje nadproblema i za svako, tako dobijeno rešenje, rešava odgovarajući potproblem. APDM se može koristiti kao heuristika za rešavanje bilo kog problema za koji je moguće definisati

potproblem i nadproblem. APDM je uporediv sa poznatim heurističkim metodama i po kvalitetu rešenja koja pronalazi i po vremenu izvršavanja.

Egzaktni kombinatorni algoritam dekompozicije modela (KADM) polazi od rešenja koje je APDM pronašao i pokušava da ga poboljša. KADM analizira kombinacije za uspostavljanje tačno k centara od n čvorova. Svaka takva kombinacija prolazi kroz „sito“ - skup algoritama koji u polinomskom vremenu izvršavanja određuju neke donje granice ciljne funkcije za zadatak kombinaciju habova. Ukoliko donja granica nije manja od pronađene gornje granice, sito odbacuje tu kombinaciju. Za one kombinacije habova koje prođu kroz sito, rešava se potproblem i eventualno ažurira trenutno najbolje rešenje. Po završetku rada KADM, najbolje pronađeno rešenje je ujedno i optimalno, što je u radu i dokazano.

Prikaz disertacije

Rukopis ima 108 strana i 68 bibliografskih jedinica. Sastoji se iz uvoda, tri veća poglavlja podeljena na manje celine i zaključka. U uvodu su definisani i opisani pojmovi koji se koriste i oblast na koju se teza odnosi. Predstavljeni su lokacijski problemi i data je definicija NP-teških problema. Ukratko su objašnjene različite poznate metaheurističke metode i dati prikazi osnovnih verzija genetskog algoritma GA i algoritma grananja i ograničavanja BnB. U prvom poglavlju su predstavljena tri razmatrana lokacijska problema, USAHLP, MLUFLP i CSAHLP, kao i razvoj potproblema za USAHLP i CSAHLP. U narednom poglavlju su predstavljene razvijene metaheurističke metode: memetski algoritam za rešavanje USAHLP sa dve lokalne pretrage, memetski algoritam za rešavanje MLUFLP sa jednom lokalnom pretragom i hibridna metoda za rešavanje CSAHLP, koja se sastoji od genetskog algoritma za pronalaženje habova i paralelnog BnB algoritma za rešavanje potproblema za dati skup habova. Prikazani su rezultati dobijeni primenom svih navedenih metoda i upoređeni sa rezultatima postignutim primenom drugih metoda iz literature.

U poslednjem poglavlju je predstavljena metoda dekompozicije. Najpre je objašnjen opšti pristup koji pokriva određenu klasu problema koja je formalno definisana u disertaciji. Formalno je objašnjena dekompozicija pomoću nadproblema, potproblema i fragmenta. Formulirana su i dokazana pomoćna tvrđenja kojima se formalno potvrđuje korektnost metode. Zatim su predstavljeni opšti oblici algoritama APDM i KADM. Konačno, prikazana je primena tih algoritama na rešavanje problema USAHLP i CSAHLP, uključujući i konkretne definicije svih činilaca dekompozicije, kao i definiciju nekoliko algoritama koji se koriste za određivanje donje granice vrednosti funkcije cilja u KADM. Na kraju su prikazani opsežni eksperimentalni rezultati implementiranih algoritama i data njihova analiza i poređenje sa postojećim metodama.

U zaključku disertacije dat je rezime razvijenih metoda i sumiran je značaj razvijenih algoritama i naučnog doprinosa rada.

Glavni naučni doprinos disertacije

Sledeći rezultati predstavljaju najvažniji naučni doprinos ove disertacije:

- Razvoj hibridne EA-BnB metode za rešavanje CSAHLP problema, sa naglaskom na BnB metodi koja je primenjena na originalan način i dala kvalitetna rešenja;
- Razvoj algoritama lokalne pretrage, čijom primenom se unapređuje efikasnost evolutivnih algoritama;
- Predlog metode dekompozicije modela jedne klase lokacijskih problema, uključujući definiciju te klase i formulacije i dokaze kojima se postavljaju osnove za razvoj algoritama APDM i KADM;
- Razvoj algoritma proste dekompozicije modela APDM, koji iterativno popravljajući rešenja korišćenjem predložene dekompozicije, a čija je tačnost i efikasnost pri rešavanju problema koji su razmatrani uporediva sa najboljim poznatim metaheurističkim metodama;
- Razvoj kombinatornog algoritma dekompozicije modela KADM koji pronalazi i dokazuje optimalnost rešenja;
- Primena predložene metode dekompozicije i algoritama KADM i APDM na dva poznata lokacijska problema;
- Rešavanje problema USAHLP i CSAHLP čije su instance velikih dimenzija i pronalaženje boljih rešenja od poznatih, uz dokaz optimalnosti tih rešenja.

Iz svega prethodno navedenog, može se zaključiti da su razvijene metode od izuzetnog značaja za bolje i efikasnije rešavanje lokacijskih problema. Istraživanje prikazano u ovom radu predstavlja doprinos u oblasti lokacijskih problema, kombinatorne optimizacije i u razvoju egzaktnih i metaheurističkih metoda. Veći deo rezultata ove disertacije je objavljen u međunarodnim časopisima (radovi [1], [2], [3], [7] i [8]), dok je rad [6] trenutno na recenziji.

Zaključak

U rukopisu „Egzaktne i metaheurističke metode za rešavanje NP-teških lokacijskih problema“ kandidat Predrag Stanojević je prikazao široko znanje iz oblasti lokacijskih problema i optimizacionih metoda za njihovo rešavanje, uključujući memetske algoritme, metodu grananja i ograničavanja, hibridne algoritme i egzaktne algoritme.

Kandidat je u predloženom rukopisu dao značajan doprinos metodama za rešavanje lokacijskih problema, kako metodološki, tako i u praktičnoj primeni razvijenih metoda.

Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću Matematičkog fakulteta da rukopis „Egzaktne i metaheurističke metode za rešavanje NP-teških lokacijskih problema“ kandidata Predraga Stanojevića prihvati kao doktorsku disertaciju i odredi komisiju za javnu odbranu.

U Beogradu, 13.09.2016. godine

Komisija:

dr Miroslav Marić, vanredni profesor, mentor
Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Dušan Tošić, redovni profesor
Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Miodrag Živković, redovni profesor
Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Zorica Stanimirović, vanredni profesor
Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Aleksandar Takači, vanredni profesor
Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu