

Predmet:

Izveštaj o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Dalibora Ristića pod naslovom:

„Implementacija metoda promenljivih okolina za rešavanje p -sledeći problema nad skupom čvorova grafa“

Senat Univerziteta Union, na sednici održanoj 7. jula.2023. godine, obrazovao je komisiju za ocenu doktorske disertacije kandidata Dalibora Ristića u sastavu:

1. Dr Dragan Urošević, redovni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union, naučna oblast Algoritmi i kompleksnost,
2. Dr Milanka Gardašević Filipović, vanredni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union, naučna oblast Matematika,
3. Dr Filip Marić, redovni profesor, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, naučna oblast Računarstvo i informatika.

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

Naučna oblast disertacije

Disertacija kandidata Dalibora Ristića pripada naučnoj oblasti Računarske nauke - Algoritmi i optimizacija, uža naučna oblast Heuristički algoritmi. Za mentora disertacije određen je dr Dragan Urošević, redovni profesor na Univerzitetu Union - Računarski fakultet, na osnovu stručnih i naučnih doprinosa vezanih za naučnu i užu naučnu oblast disertacije.

Podaci o prethodnom školovanju kandidata

Dalibor Ristić je rođen 1981. godine u Nišu. Osnovnu školu je završio u Svrliju kao đak generacije, a gimnaziju prirodno-matematičkog usmerenja u Nišu kao nosilac Vukove diplome. Tokom osnovne i srednje škole je bio učesnik i dobitnik nagrada na mnogim matematičkim takmičenjima u organizaciji Ministarstva prosvete Republike Srbije. Na Elektronskom fakultetu Univerziteta u Nišu, smer za računarsku tehniku i informatiku, diplomirao je 2007. godine. Doktorske studije na Računarskom fakultetu u Beogradu upisao je 2013. godine.

Počev od 2008. godine obavljao je poslove programera i softverskog inženjera u Vojsci Srbije i više softverskih kompanija u Beogradu i Novom Sadu. U zvanju asistenta na Računarskom fakultetu držao je vežbe iz sledećih kurseva: Uvod u programiranje, Objektno orijentisani dizajn i metodologija, Funkcionalno programiranje i Dizajn i analiza algoritama.

Opis disertacije

Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Implementacija metoda promenljivih okolina za rešavanje p -sledeći problema nad skupom čvorova grafa“ napisana je na srpskom jeziku, na 123 strane i sadrži 9 slika i 46 tabela. Podeljena je na 6 poglavlja: 1. Uvod; 2. Problem p -sledećeg centra; 3. Problem p -drugog centra; 4. Problemi p - α -sledećih i p - α -najbližih centara; 5. Problemi p -sledećeg medijana i p - α -sledećeg medijana; 6. Za kraj disertacije; a sadrži i korišćenu literaturu, kratku biografiju autora i priloge.

Literatura sadrži 32 reference koje je kandidat koristio tokom izrade disertacije i koje se odnose na prethodna istraživanja direktno povezana sa ciljem disertacije kao i na teorijske osnove za sprovođenje istraživanja. U prilogima su dati detaljni rezultati dobijeni sprovođenjem istraživanja i testiranja svih u disertaciji predstavljenih algoritama.

Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Poglavlje 1 je uvodnog karaktera i sadrži definicije p -centar i p -medijan problema nad skupom čvorova grafa kao polaznih problema za definisanje svih problema i algoritama kojima se bavi disertacija. Ukratko je opisana i motivacija za proširenje ovih problema, kao i osnovni okvir za izgradnju svih u disertaciji predstavljenih algoritama za rešavanje p -problema. Algoritmi su zasnovani na metodu promenljivih okolina (*eng. variable neighborhood search method*, VNS), koji je poznat kao generički okvir za izgradnju heurističkih algoritama pretrage.

U Poglavlju 2 je razmatran problem p -sledećeg centra. Definisan je problem kao p -sledeći centar problem nad skupom čvorova grafa i predstavljen heuristički algoritam zasnovan na metodu promenljivih okolina koji efikasno rešava ovaj problem. Predložena je i modifikacija algoritma koja u izvesnom kontekstu može prepoznati i globalno optimalna rešenja p -sledeći centar problema. Prezentovani su i rezultati testiranja algoritma nad u literaturi poznatim test skupom podataka, kao i rezultati poređenja sa postojećim algoritmima za rešavanje p -sledeći centar problema. Dati su i rezultati testova nad novo-generisanim test skupovima sa namerom da se oceni primenljivost algoritma i na velike instance problema, kao i na instance različitih gustina grana.

Poglavlje 3 se bavi problemom p -drugog centra. Definisan je p -drugi centar problem u kontekstu p -problema nad čvorovima grafa. Predstavljen je efikasan heuristički algoritam promenljivih okolina za rešavanje problema, kao i modifikacija algoritma sposobna da u nekim slučajevima prepozna i globalno optimalna rešenja problema. Predstavljeni su rezultati testiranja algoritma nad u literaturi poznatim *OR-Library* test skupom podataka. Takođe, algoritam je testiran i nad novim test instancama koje su znatno veće u pogledu broja čvorova i grana. Prezentovani su i rezultati testova u slučaju grafova različitih gustina.

U Poglavlju 4 se razmatraju generalizacije problema iz prethodna dva poglavlja. Definisani su problemi p - α -sledećih i p - α -najbližih centara kao proširenja p -sledeći i p -drugi centar problema većim brojem zamenskih centara. Rešenja ovih problema svakom korisniku dodeljuju α centara koji ih opslužuju, tj. jedan primaran centar i $\alpha - 1$ zamenskih u slučaju ispada primarnog centra. Prezentovani su rezultati izvršenja algoritama nad *OR-Library* test skupom podataka, kao i poređenja sa rezultatima algoritama iz prethodnih poglavlja.

U Poglavlju 5 je definisan novi p -sledeći medijan problem, kao i njegova generalizacija p - α -sledeći medijan problem. Problem p -sledećeg medijana, obezbeđuje jedan zamenski centar u slučaju otkaza primarnog centra u kontekstu p -medijan problema, dok rešenje p - α -sledeći medijan problema nudi $\alpha - 1$ zamenskih centara. Predloženi i opisani su heuristički algoritmi zasnovani na metodu promenljivih okolina za rešavanje ovih problema nad skupom čvorova grafa. Na kraju, predstavljeni su i rezultati testiranja ovih algoritama nad *OR-Library* test podacima. Problem p -sledećeg medijana je ekvivalentan p -2-sledeći medijan problemu, tako da su prezentovani i rezultati međusobnog poređenje ovih algoritama.

Poglavlje 6 je završnog karaktera i sadrži kratak osvrt na novo-definisane probleme i predložene heurističke algoritme za rešavanje posmatranih problema, kao i na rezultate testiranja, efikasnost i primenljivost ovih algoritama.

U prethodnim poglavljima su u cilju jednostavnosti i preglednosti dati sumarni rezultati testiranja predloženih algoritama za rešavanje p -problema nad skupom čvorova grafa. U Dodatku A, Dodatku B.1, Dodatku C i Dodatku D su tabelarno predstavljeni detaljni rezultati za svaku od test instanci nad kojom su respektivno testirani algoritmi za probleme p -sledećeg centra, p -drugog centra, p - α -sledećih centara, p - α -najbližih centara i p -sledećeg i p - α -sledećeg medijana. U Dodatku B.2 su upoređeni problemi p -centra, p -sledećeg centra i p -medijana sa problemom p -drugog centra i tabelarno predstavljeni rezultati poređenja algoritama za rešavanje ovih problema.

Ocena disertacije

Savremenost i originalnost

Doktorska disertacija predstavlja originalni naučno-istraživački rad u oblasti primene metoda promenljivih okolina na više srodnih „ p -problema“, i to sa aspekta osiguranja u slučaju otkaza primarnih centara. Problem p -centra je već dugo predmet interesovanja operacionih istraživanja. Predstavlja identifikaciju lokacija za postavljanje p centara, kao i njihovu dodelu korisnicima, na takav način da je maksimalna udaljenost korisnika od dodeljenog centra minimizovana. Postoji mnogo, kako egzaktnih matematičkih modela, tako i heurističkih algoritama koji uspešno

rešavaju problem p -centra. Međutim, vremenom se postavilo pitanje šta u slučaju otkaza dodeljenog centra. U prethodnoj dekadi, kao potencijalni odgovor na ovo pitanje, predstavljeno je proširenje problema p -centra poznato kao problem p -sledećeg centra. Sem toga, da je problematika rada veoma aktuelna potvrđuju i savremena dešavanja na globalnom nivou u smislu čestih migracija ljudi usled regionalnih sukoba, a i skorašnja COVID pandemija, kao neposredni uzroci otkaza zdravstvenih i drugih centara. Problem p -sledećeg centra predstavlja identifikaciju lokacija za postavljanje i dodelu p centara, ali na takav način da je minimizovana maksimalna suma rastojanja korisnika do najbližeg centra i rastojanja između tog i njemu najbližeg centra.

Poseban tip, poznat kao problemi nad skupom čvorova grafa, čine problemi optimalne selekcije centara iz skupa čvorova grafa koji predstavljaju sve korisnike i potencijalne centre. Postoji mali broj članaka i algoritama koji se bave problemom otkaza centra i stoga je u disertaciji definisano nekoliko problema i rešenja upravo iz klase problema ograničenih izborom centara iz skupa čvorova grafa. Posmatrani su problemi p -sledećeg, kao i p -drugog centra koji predstavlja identifikaciju p od potencijalnih n centara na takav način da je minimizovana maksimalna suma rastojanja korisnika do najbližeg i drugog najbližeg centra.

U disertaciji je definisan i p -sledeći medijan problem koji se bavi otkazom centara u kontekstu poznatog p -medijana problema. Problem p -sledećeg medijana se definiše kao identifikacija lokacija p centara sa ciljem minimizacije ukupne sume rastojanja od svih n korisnika do najbližih centara plus rastojanja između tih centara i njima najbližih centara. Problem p -medijana se definiše kao izbor p centara sa ciljem minimizacije sume rastojanja svih korisnika do najbližih centara.

Na problem otkaza centra se može posmatrati i kao na mogućnost otkaza ne samo jednog dodeljenog centra, već i više njih. Stoga su u disertaciji definisani i problemi p - α -sledećih centara, p - α -najbližih centara i p - α -sledeći medijan kao uopštenja prethodno pomenutih problema, tako da rešenja problema svakom od n korisnika dodeljuju više zamenskih centara, tj. jedan primarni i $\alpha - 1$ zamenskih sa ciljem minimizacije rastojanja među njima u kontekstu proširenja p -centar, odnosno p -medijan problema.

Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U disertaciji je citirano 32 reference iz predmetne oblasti koje je kandidat koristio i koje su neposredno vezana za prikazane rezultate u disertaciji. Zato se može smatrati da disertacija sadrži detaljan i aktuelan pregled adekvatne literature. U slučaju određenih referenci date su i pojedinosti koje referisani radovi donose i iznesena je paralela sa pristupom koji je predstavljen u ovoj disertaciji. U spisak literature je uključena i jedna od referenci na kojoj je kandidat autor, a na osnovu koje su zasnovani neki od u disertaciji predstavljenih rezultata.

Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Diskusija i u disertaciji predstavljeni rezultati istraživanja dobijeni su primenom kako teorijskih tako i empirijskih metoda. Predloženi algoritmi su delom oslonjeni na postojeći kvantum teorijskih razmatranja, ali i već postojeće algoritme za rešavanje sličnih problema. Polazeći od deskripcije postojećih rešenja, primenom metoda kompilacije u disertaciji se dolazi do algoritamskih rešenja koja se komparativnom metodom generalizuju i distanciraju od polaznih rešenja. Statistički obrađeni rezultati testiranja nekih od predloženih algoritama su upoređeni sa u literaturi poznatim rešenjima i rezultatima. Dakle, u svrhu provere ispravnosti i efikasnosti predloženih algoritama i ostvarenja cilja istraživanja, korišćene su sve uobičajene istraživačke metode u oblasti heurističkih algoritama:

- pregled dostupne relevantne naučno-stručne literature;
- proučavanje aktuelne problematike u oblasti ispitivanja i unapređenja heurističkih algoritama primenjenih na rešavanje „ p -problema“;
- izdvajanje i definisanje konkretnog dela iz aktuelne problematike kao osnove za naučnu diskusiju i algoritamska rešenja predstavljena u disertaciji;
- koncipiranje primenjenog eksperimentalnog postupka u smislu testiranja algoritama i upoređivanja dobijenih i postojećih rezultata i
- davanje sugestija za buduća istraživanja u oblasti primene heurističkih algoritama za rešavanje „ p -sledeći-problema“.

Primenljivost ostvarenih rezultata

Problematika obrađena u disertaciji je definisana na osnovu aktuelne situacije na globalnom nivou uzrokovane masovnim migracijama ljudi, sukobima i COVID pandemijom, a usled čega prihvatni centri i privremene bolnice brzo ostaju bez svojih kapaciteta. Da bi se ublažio problem ispada primarnih centara definisani su „ p -sledeći problemi“, a u disertaciji su predloženi algoritmi koji nude njihova rešenja. Implementacijom ovih algoritama dobijeni su premijerni ili rezultati koji prevazilaze rezultate postojećih algoritama, tako da se mogu praktično primeniti kao optimalni u procesu dizajniranja rešenja, tj. određivanja lokacija za izgradnju novih ili remont postojećih centara bilo kog tipa.

Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Dalibor Ristić je tokom naučnog rada prikazanog u doktorskoj disertaciji pokazao da suvereno vlada svim metodama karakterističnim za naučno-istraživački rad u oblasti računarskih nauka. Naučno istraživanje sprovedeno u okviru ove teze zahtevalo je kako teorijski uvid u razmatranu temu, tako i praktičnu realizaciju i proveru postavljenih pretpostavki kroz analiziranje, dizajn, implementaciju i testiranje algoritama i evaluaciju predloženih rešenja. Na osnovu toga, može se zaključiti da je kandidat pokazao veoma zadovoljavajući stepen sposobnosti za samostalni naučni rad i realizaciju praktičnih zadataka iz oblasti računarskih nauka i algoritama.

Ostvareni naučni doprinos

Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati istraživanja predstavljaju naučni doprinos u oblasti operacionih istraživanja i kombinatorne optimizacije. Pored teorijskog, disertacija nudi i praktičan doprinos u smislu optimalnih ili skoro-optimalnih rešenja postojećih „ p -problema“ koji mogu predstavljati različite realne probleme. Primera radi, ovim problemima se mogu modelovati određivanje lokacija p ambulanti (centara) koje će opsluživati n naselja (korisnika) sa ciljem da se minimizuju odgovarajuća rastojanja. Dalje, rešenja problema mogu predstavljati: određivanje lokacija za izgradnju bolnica i prihvatnih centara, postavljanje benzinskih pumpi, trafo stanica, stanica javnog prevoza, itd.

Doprinos se prvenstveno vidi u rešavanju problema koji podrazumevaju da dodeljeni centri mogu zakazati usled humanitarnih ili prirodnih katastrofa. Na primer, zemljotresi mogu onesposobiti najbližu ambulantu, ili recimo tokom masovnih migracija, često dolazi do preopterećenja prihvatnih centara. Tokom pandemija kao što je COVID-19, privremene bolnice i karantini se veoma brzo pune tako da ostaju bez kapaciteta da prihvataju nove pacijente. Stoga, važno je imati rezervnu strategiju, tj. zamenski ili sledeći-najbliži centar spreman da prihvati korisnike u slučaju otkaza primarnog centra.

U postojećim rešenjima problema koji uzimaju u obzir i mogućnost otkaza dodeljenih centara, npr., p -sledeći centar problem, uočeno je da nije dovoljno pažnje posvećeno teorijskoj osnovi problema. U disertaciji predložena rešenja ovih problema su osnažena teorijskom potporom i stoga su značajno prevazišla u literaturi postojeće metode i algoritme u smislu kvaliteta rešenja. Sem „state-of-the-art“ rešenja postojećih problema, u disertaciji su predstavljeni i novi problemi, kao što je p -sledeći medijan, tako da se doprinos ogleda i u premijernim rešenjima novih problema.

Pored svega prethodno rečenog, od rezultata istraživačkog rada tokom izrade disertacije očekuje se i naučni doprinos u časopisima međunarodnog značaja u smislu objavljenih članaka koji bi predstavili nova ili „state-of-the-art“ rešenja problema kojima se bavi disertacija.

Kritička analiza rezultata istraživanja

U disertaciji se predlažu efikasni algoritmi za rešavanje „ p -problema“, takvi da rešenje mogu pronaći u razumnom vremenskom intervalu, uzimajući u obzir mogućnost otkaza pojedinih centara. Svi problemi istraživanja su NP-teški problemi i njihovo egzaktno rešavanje iziskuje gotovo neograničene memorijske i procesorske resurse. Stoga, u disertaciji su predložena rešenja kao heuristički algoritmi oslonjeni na metod promenljivih okolina kao generički okvir za implementaciju algoritama pretrage. Predloženi algoritmi daju rešenja postojećih problema, pa su prema tome testirani na u literaturi već poznatom OR-Library test skupu podataka. Takođe, algoritmi su sposobni da pronalaze rešenja i većih instanci problema od onih koji su predstavljeni u literaturi, pa su stoga testirani i na novogenerisanim skupovima koji predstavljaju veće primere problema sa različitim gustinama grafova nad kojima su definisani. Na kraju, implementacije svih predloženih algoritama reprodukuju u literaturi najbolja-poznata rešenja ili pronalaze nova najbolja-poznata rešenja test primera iz disertacije.

Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Dalibor Ristić je objavio sledeće radove koji su u neposrednoj vezi sa doktorskom disertacijom:

1. Dalibor Ristić, Nenad Mladenović, Mustapha Ratli, Raca Todosijević, Dragan Urošević: “Auxiliary data structures and techniques to speed up solving of the p -next center problem: A VNS heuristic”, Applied Soft Computing, Vol. 140, 110276, ISSN 1568-4946, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110276>.
2. Dalibor Ristić, Dragan Urošević, Nenad Mladenović, Raca Todosijević: “Solving the P -Second Center Problem with Variable Neighborhood Search”, Computer Science and Information Systems, Vol. 20, No. 1, 95–115, 2023, <https://doi.org/10.2298/CSIS210804049R>.
3. Dalibor Ristić, Nenad Mladenović, Raca Todosijević, Dragan Urošević: “Filtered variable neighborhood search method for the p -next center problem”, International Journal for Traffic and Transport Engineering, 11(2), 294 - 309, 2021, [doi:10.7708/ijtte.2021.11\(2\).09](https://doi.org/10.7708/ijtte.2021.11(2).09).

Zaključak

Doktorska disertacija „Implementacija metoda promenljivih okolina za rešavanje p -sledeći problema nad skupom čvorova grafa (Variable neighborhood search method implementation for solving the vertex-restricted p -next problems)“ kandidata Dalibora Ristića predstavlja originalni naučni doprinos naučnoj oblasti Računarske nauke - Algoritmi i optimizacija (uža naučna oblast Heuristički algoritmi).

Doktorska disertacija je napisana na srpskom jeziku. Izlaganje je jasno i sistematično. Rezultati prikazani u disertaciji imaju i teorijski i praktični značaj. Kandidat Dalibor Ristić je ovim istraživanjem pokazao naučnu zrelost i inženjersku sposobnost i kreativnost, što potvrđuje spremnost za samostalan naučno-istraživački rad.

Disertacija kandidata Dalibora Ristića sadrži sve elemente navedene u obrazloženju prilikom prijave teme i ispunjava sve suštinske i formalne uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Pravilnikom o doktorskim studijama Univerziteta Union, Statutom i Pravilnikom o doktorskim studijama Računarskog fakulteta Univerziteta Union, kao i sve kriterijume koji se uobičajeno primenjuju prilikom vrednovanja doktorskih disertacija na Računarskom fakultetu u Beogradu.

U skladu sa navedenim, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Računarskog fakulteta Univerziteta Union da se doktorska disertacija pod nazivom „Implementacija metoda promenljivih okolina za rešavanje p -sledeći problema nad skupom čvorova grafa“ kandidata Dalibora Ristića prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Senatu Univerziteta Union.

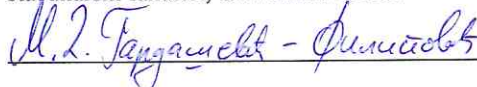
Beograd, 17.7.2023.god.

KOMISIJA

1. Dr Dragan Urošević, redovni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union



2. Dr Milanka Gardašević Filipović, vanredni profesor, Računarski fakultet, Univerzitet Union



3. Dr Filip Marić, redovni profesor, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

