



Heurističko određivanje najkraćih putanja obilaska ramsar zaštićenih prirodnih područja Srbije

Bojan Srđević^{a*}

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: bojans@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Međunarodna Ramsarska konvencija verifikovala je kao 'ramsare' 10 zaštićenih prirodnih područja u Srbiji, od kojih je 8 u Vojvodini. U toku su istraživanja vezana za ova područja u raznim pravcima i od strane raznih institucija. Istraživački, strateški i operativni ciljevi i akcije se postavljaju i realizuju u domenima ekologije, ekonomike, zakonodavstva, upravljanja, turizma, rekreacije, kulturno-umjetničkih akcija itd. Pored ostalog, u toku su analize i vrednovanje eksositemskih usluga koje ova područja mogu da pruže u dugoročnom smislu. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja koji mogu poslužiti kao podloga poslova planiranja i upravljanja ramsarima. Razvijen je genetički algoritam GA-RAMSAR koji koristi podatke sa interneta servisa Google Maps i određuje najmanje dužine i najkraća vremena putovanja između svih ramsar područja Srbije, polazeći iz Novog Sada ili Beograda. Problem je tretiran kao simetrični problem trgovackog putnika (TSP – Travelling Salesman Problem), a više primenjenih heuristika omogućilo je nalaženje najboljih putanja u samo par sekundi na standardnoj PC platformi. Rešenja predstavljaju idealne tačke u prostorima mogućih putanja po dužini i vremenu. Uz dodatak vremena željenih ili procenjenih zadržavanja i/ili privremenih prekida putovanja, rezultati prikazani u radu mogu poslužiti kao referentne vrednosti u poslovima planiranja turističke i druge ponude, upravljanja resursima itd. Algoritam se može primeniti na probleme trgovackog putnika praktično bilo koje dimenzije, što znači da će moći da prihvati i nove ramsare i da pretraživanje proširi na manastire, nacionalne parkove i druge lokacije od interesa za Srbiju.

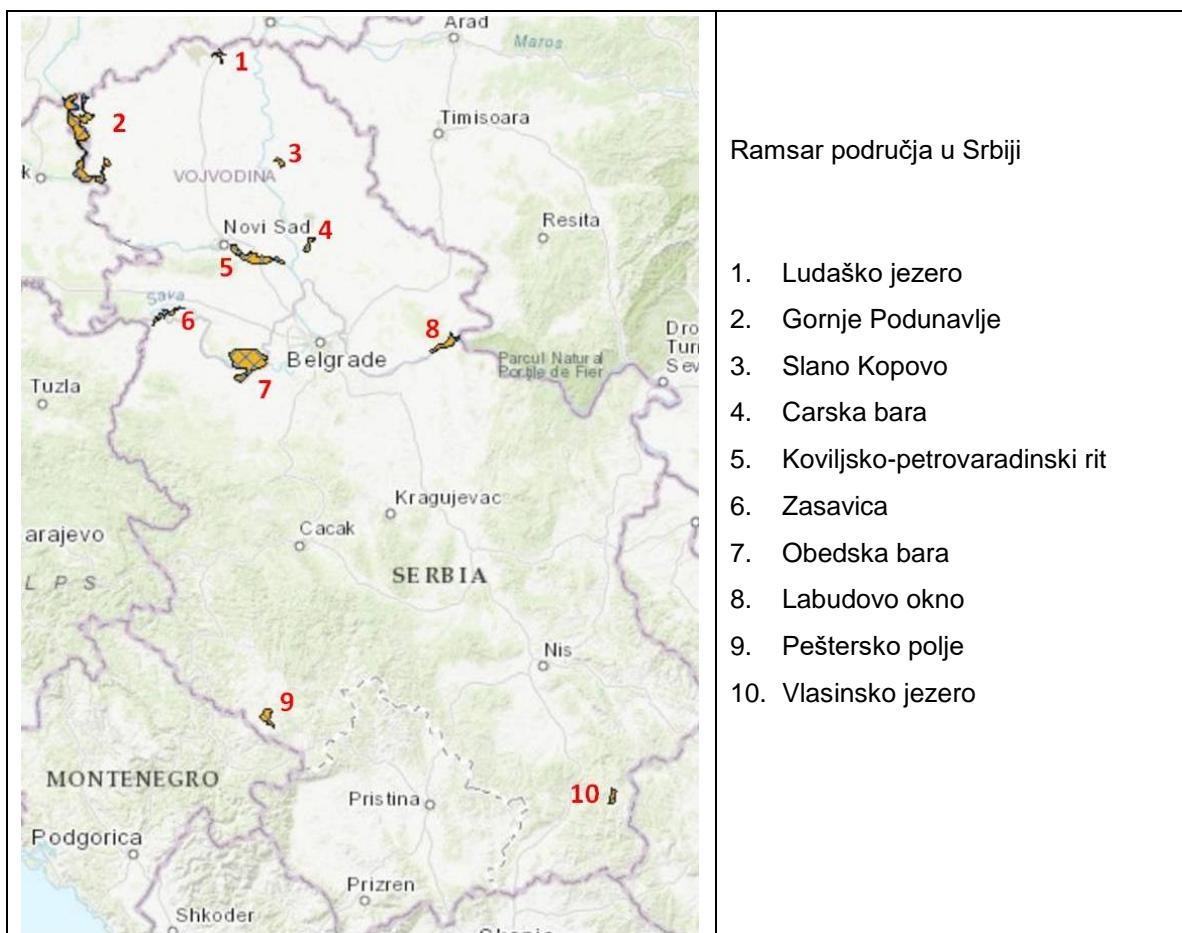
KLJUČNE REČI: Zaštićena prirodna dobra (ramsari), najkraće putanje obilaska, genetički algoritam

Uvod

Na teritoriji Srbije ima 10 tzv. ramsarskih područja od kojih je 8 u Vojvodini. Radi se o zaštićenim prirodnim područjima čiji su značajni delovi vodna tela jezerskog, močvarnog i drugog tipa. Ova područja su verifikovana kao takva prema međunarodnoj Ramsar konvenciji (International Ramsar Conference, 1971), a Srbija je ratifikovala sve odredbe ove konvencije. Prema numeraciji na Slici 1 to su:

- (1) Ludaško jezero
- (2) Gornje Podunavlje,
- (3) Slano Kopovo.
- (4) Carska bara
- (5) Koviljsko-petrovaradinski rit
- (6) Zasavica
- (7) Obedska bara,
- (8) Labudovo okno
- (9) Peštersko polje
- (10) Vlasinsko jezero.

Sva navedena područja su rezervati prirode. To su ritovi, mokra polja, retencione zone uz Dunav, prirodni rezervati i vlažna staništa različitog tipa i sa brojnim karakteristikama. Između ostalog, neki od rezervata su i gnezdišta ugroženih vrsta, hranilišta retkih i zaštićenih vrsta i važne migratorne stанице ptica selica. U većini slučajeva ramsarska područja predstavljaju i turističke destinacije, blizu su istorijskih spomenika, kulturna baština je na razne načine prepoznatljiva u naseljenim mestima u blizini ili unutar samih područja itd. Republika Srbija ima nacionalnu regulativu kojom se štite ova i druga prirodna dobra. Treba podsetiti da osim ramsara, neka područja su uvrštena i u međunarodne sisteme zaštite, na primer u okviru organizacije UNESCO, programa za zaštitu područja od značaja za ptice - International Bird Area (IBA) i leptire - Prime Butterfly Area (PBA), programa za područja značajna za biljne vrste - International Plant Area (IPA), ili programa zaštite za područja zavisna od vode i značajna za basen Dunava - International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) (Bubulj et al., 2019).



Slika 1. Ramsarska zaštićena područja u Srbiji

Figure 1. Ramsar protected areas in Serbia

Prema (Puzović et al., 2015), zaštićena prirodna dobra na teritoriji Srbije su zakonski definisana kao očuvani delovi prirode posebnih prirodnih vrednosti i odlika ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004, 36/2009, 36/2009). To su najčešće vlažna područja sa bogatim ekosistemima i potencijalom za pružanje ekosistemskih usluga (Galambos et al., 2019). Kao prirodna staništa biljaka, životinja i mikroorganizama, vlažna područja su prirodno okruženje dinamičnih procesa karakterističnih za živi svet i ukupnu ekologiju. Specifična močvarna vegetacija je posebno važna za održavanje ekoloških i ekonomskih vrednosti oblasti u kojima se vlažna područja nalaze. Razumevanje interakcije ovih područja sa okolinom zahteva da se prepoznaju i uvažavaju specifičnosti njihovog geografskog položaja i okruženja koje čine urbane sredine, lokalne samouprave, privreda, ekonomija i stanovništvo.

Sa pozicije planiranja i upravljanja ramsarima, pored ostalog treba imati u vidu potrebu obilaska ovih područja na ekonomičan i efikasan način. Na primer, samo da bi se obišla sva ramsar područja u Srbiji ako se podje iz Novog Sada ili Beograda moguće je za svaki ova dva slučaja odrediti najkraću putanju koja povezuje 11 geografskih lokaliteta (10 ramsar područja + grad, Novi Sad ili Beograd). Mnoštvo mogućih putanja kroz mrežu ramsara i gradova može se posmatrati kao simetrična varijanta problema trgovackog putnika (*TSP-Travelling Salesman Problem*). Interpretacija problema u kontekstu TSP je da između svih lokaliteta (tačaka u mreži) postoji direktna putanja određene dužine, da je dužina ista bez obzira na smer kretanja putnika, da se putnik ne sme vraćati u tačke kroz koje je prošao, osim što se konačno vraća tamo odakle je krenuo.

Problem obilaska svih ramsar područja u Srbiji ako se podje iz Novog Sada ili Beograda i vrati se u polazni grad može se definisati na dva načina: (1) koja je najkraća putanja obilaska i (2) koje je najkraće vreme obilaska. Rešenja (redosled, rastojanja i vremena) u navedena dva slučaja (Novi Sad i Beograd) mogu se razlikovati u pogledu redosleda ramsar područja, jer rastojanja ne moraju nužno korespondirati vremenima putovanja obzirom na vrste puteva (lokalni, regionalni, ili magistralni).

Pošto ima mnogo mogućih rešenja, odnosno putanja po dužini i vremenu za četiri slučaja (po dva za Novi Sad i Beograd), za pretraživanje prostora rešenja, svaki put približno 40 miliona, usvojena je heuristika kao prilaz, razvijen je namenski genetički algoritam (u daljem tekstu GA-RAMSAR) koji je implementiran na PC platformi. Četiri navedena problema rešavana su sa podacima o rastojanjima i

vremenima putovanja između svih ramsarskih područja u Srbiji, za polaske posebno iz Novog Sada i Beograda. Svi podaci su preuzeti sa internet servisa Google Maps. Rešenja dobijena algoritmom su optimalna u svim slučajevima jer prostori pretraživanja nisu bili preveliki. Inače, algoritam je dovoljno fleksibilan da prihvati mnogo veće prostore pretraživanja, npr. ako se uključe nova ramsar područja ili dodaju drugi lokaliteti kao što su nacionalni parkovi, manastiri, više gradova iz koji se kreće itd.

Genetički algoritam GA-RAMSAR

Poznato je da se svaki genetički algoritam (GA) zasniva na Darvinovoj teoriji evolucije i genetici (Goldberg, 1989). Među inteligentnim stohastičkim procedurama za traženje optimalnih rešenja u velikim ili beskonačnim kontinualnim ili diskretnim prostorima, ovi algoritmi su najpoznatiji i najčešće korišćeni. Drugi poznati algoritmi, takođe evolucijom inspirisani, jesu mravlje kolonije i sistemi, rojevi čestica i kolonije pčela. Klasu inteligentnih algoritama dopunjaju i simulirano kaljenje i tabu pretraživanje (Srđević i Srđević, 2016).

U novijim implementacijama genetičkih algoritama kao globalnih pretraživačkih tehnika ide se na implementaciju istog algoritma na više procesora (na istom ili više računara) i paralelno pretraživanje ogromnih prostora rešenja. Pretraživanje se diversifikuje migracijama generacija i kopiranjem najboljeg nađenog rešenja na bilo kom procesoru u sve tekuće generacije na drugim procesorima (*multiple elitist reproduction*). Time se enormno povećava efikasnost potrage za optimumom datog problema (Srđević i Srđević, 2016).

Ne postoji opšti genetički algoritam, već se prema vrsti problema koji se rešava algoritam piše kao specijalno namenjen kod na nekom od programskega jezika poštujući određena pravila i heuristike i koristeći tzv. 'ljuske' (*shells*) u vidu manjih programske rutina. Početni korak u razvoju GA za određenu namenu jeste kodiranje problema, odnosno reprezentacija osobina prostora mogućih rešenja problema i jedinici koje ga čine. Algoritam GA-RAMSAR o kome je ovde reč pretražuje moguća rešenja (putanje u mreži sa 11 tačaka) u prostoru od $P_{11}=11! = 39.916.800$ potencijalnih kandidata. Prostor pretrage su sve putanje, a kandidati su putanje predstavljene redosledom obilaska ramsar područja sa polascima iz Novog Sada ili Beograda. U dva slučaja to su putanje sa dužinama merenim u kilometrima između svih ramsar područja i Novog Sada i Beograda, odnosno to su putanje (merene u minutima) između ramsar područja i ova dva grada. Svaki od četiri prostora pretraživanja čini 11! različitih putanja, a algoritam u svakom pojedinačnom prostoru paralelno tretira više kandidata za rešenje. Ova osobina GA se često poredi sa paralelnim procesingom u oblasti računarstva.

Elementi prostora (putanje) su moguća rešenja i u terminologiji GA se označavaju kao jedinke ili hromozomi. Svaki element putanje je gen, a niz gena je hromozom; drugim rečima, gen je jedno ramsar područje ili grad (Novi Sad ili Beograd), a hromozom je niz gena u datom redosledu (putanja).

Analogno biološkom nasleđivanju, GA-RAMSAR realizuje dve evolucione operacije: (a) ukrštanje gena (*crossover* ili *recombination*) sa datom verovatnoćom i (b) povremenu nasumičnu promenu jednog gena (*mutation*) sa vrlo malom verovatnoćom. Operatori deluju na hromozomima, odnosno na njihovim genima unutar date generacije hromozoma. U razvijenom algoritmu korišćena je uniformna rekombinacija tako što se geni hromozoma potomaka dobijaju od roditelja sa iste pozicije sa verovatnoćom pola-pola od svakog od dva roditelja. Inače, u implementacijama GA operatori ukrštanja i mutacije se mogu podešavati na razne načine, a lokalna pretraživanja su obično heuristike da bi se postigla konvergencija postupka. Kodiranje prostora rešenja u obliku hromozoma (jedinki), veličina generacije (broj jedinki u jednoj iteraciji rada algoritma) i verovatnoće ukrštanja gena roditelja i mutacije gena nastalih hromozoma samo su neki od parametara koji se razlikuju u zavisnosti od konkretne implementacije ovakvih algoritama (Srđević i Srđević, 2016).

Generisanje početne i svih narednih generacija vrši se tako što se prvo definiše broj jedinki u generaciji i obično je to manji broj, npr. 4, 5 ili 6. Računar na osnovu pogodnog kodiranja i pomoću generatora uniformno raspodeljenih slučajnih brojeva u opsegu (0,1) na slučajan način kreira hromozome (ovde putanje) koji čine početnu generaciju mogućih rešenja. Generacija je svojevrsno 'mrestilište' u kome će računar pod programiranom strategijom vršiti odabiranje (selekciju) po dva hromozoma ('otac' i 'majka'), primeniti na njih evolucione operacije sa definisanim verovatnoćom i kreirati jedan ili dva nova hromozoma ('deca' ili 'naslednici'), a zatim postupati u skladu sa principima selekcije između roditelja i dece da bi se dobila nova generacija hromozoma. Osnov za selekciju je tzv. 'dobrota' (*fitness*) hromozoma. Ovde je fitness hromozoma dužina putanje za dati redosled gena (lokacija koje putnik obilazi). Hromozomi sa većim fitnessom će sa većom verovatnoćom biti selektovani za primenu evolucionih operatora. Algoritam na taj način imitira prirodnu pojavu po kojoj jedinice sa boljim osobinama imaju veću verovatnoću reprodukcije. Drugim rečima, algoritam počinje sa polaznom generacijom slučajno izabranih hromozoma. Posle toga se utvrđuje fitness hromozoma i na osnovu toga

utvrđuje reproduktivna sposobnost svakog pojedinog hromozoma. Istovremeno se računa prosečni fitnes cele generacije i to je mera da li će tekuća generacija 'preživeti', ili biti zamenjena novom. Hromozomi koji imaju bolji fitnes unutar tekuće generacije sa većom verovatnoćom će preživeti i biti eventualno uključeniu u sledeću generaciju.

Selekcija kandidata unutar tekuće generacije za primenu evolutivnih operacija vrši se na više mogućih načina, a u GA-RAMSAR je implementirana takmičarska selekcija (*tournament selection*); inače, algoritam omogućava i selekcije na bazi ruleta (*roulette wheel*) ili redosleda (*rank based*), ali ove opcije nisu korišćene. Takmičarska selekcija se sastoji u tome da se u nekoliko prolaza proverava fitnes nekoliko slučajno selektovanih jedinki unutar tekuće generacije. Pobednik u svakom *tournament-u* se odabira za primenu operatora rekombinacije. Verovatnoća da će bilo koja jedinka biti selektovana u jednom *tournament-u* zavisi od broja jedinki u generaciji. Ako je taj broj veći, jedinke sa slabijim fitnesom će imati manje šanse da budu izabrane za rekombinaciju zato što i ako je izabrana, veća je verovatnoća da će i jedinka sa većim fitnesom biti takođe izabrana. Proces se kontroliše dužinom *tournament-a* d i verovatnoćom p na način da se prvo odabere d slučajnih jedinki iz date generacije, zatim se sa verovatnoćom p izdvaja jedinka sa najvećim fitnesom, zatim sledeća najbolja jedinka sa verovatnoćom $p(1-p)$, treća najbolja sa verovatnoćom $p(1-p)(1-p)$ i tako redom dok se ne popuni generacija. U primenama GA-RAMSAR usvojen je jedan *tournament* kroz generaciju sa verovatnoćom 0,7 ($d = 1$; $p = 0,7$). Selekcija je na taj način ekvivalentna tzv. slučajnom kretanju (*random walk*) a, pored ostalog, izbegnut je tzv. stohastički šum ubičajan u primenama inteligentnih stohastičkih pretraživača.

Reprodukcijske stvaranje nove generacije hromozoma čiji osnov čine potomci iz prethodne generacije. Nova generacija se u svakoj etapi rada algoritma formira na osnovu novih jedinki generisanih u toku tekuće generacije i jedinki iz stare generacije. Jedna od mogućnosti je da generacija roditelja iz prethodne iteracije u novoj iteraciji (generaciji) bude u potpunosti zamenjena potomcima. Da bi se sačuvala najbolja jedinka, kao dopuna se najčešće primenjuje tzv. elitistička reprodukcija (*elitist reproduction*, ili skraćeno – *elitism*). U novu generaciju se prenosi jedinka sa do tada najboljim, a iz generacije se izbacuje jedinka sa najgorim fitnesom.

GA-RAMSAR se zasniva na sledećem kodiranju problema i parametrima pretraživanja:

- (1) *Individue*. Individua je hromozom koji predstavlja permutacija jedanaest celih brojeva (1, 2, ..., 11) asociranih ramsar područjima u Srbiji (1, 2, ..., 10) i gradu Novom Sadu. odnosno Beogradu (11). Zbog lakše identifikacije u prikazu rezultata, za Novi Sad se koristi oznaka 11a, a za Beograd 11b. Jeden gen je ceo broj u permutaciji.
- (2) *Fitnes*. Dobrota individue (permucacije) je zbir rastojanja između gena u permutaciji. U zbir je uključeno i rastojanje od poslednjeg do prvog gena; ovo zato jer je putanja zatvorena kao kod trgovackog putnika koji polazi iz date lokacije i vraća se u nju pošto obide sve druge i pri tome svaku obide samo jedanput.
- (3) *Kodiranje*. Koristi se direktno kodiranje tako da je permutacija predstavljena nizom celih brojeva iz opsega (1, 2, ..., 11a), odnosno (1, 2, ..., 11b).
- (4) *Formiranje generacije*. Individue koje predstavljaju moguće putanje se generišu slučajno. Broj individua u generaciji obično varira od 4 do 6. Ovde je korišćen broj 4.
- (5) *Mrestilište, selekcija i ukrštanje*. Početna i sve sledeće generacije predstavljaju mrestilišta iz kojih se selektuju jedinke za ukrštanje. Ukrštanje se uvek vrši između dva roditelja (izabrana *tournament* selekcijom) jednostrukim sečenjem njihovih hromozoma na slučajnom genu. Od prvog roditelja se uzimaju svi geni do presečnog gena, a od drugog roditelja svi geni od presečnog gena do kraja hromozoma. Obrnuta operacija se izvodi kod drugog roditelja, proces se naziva *swaping*, a rezultat su dve nove jedinke – 'deca' ili 'naslednici'. U slučaju da se neki gen u novoj jedinki ponovi dva puta, kružnom pretragom sa leva na desno po genima jedinke duplirani gen se zamenjuje nedostajućim. Od dve nove jedinke bira se ona sa većim fitnesom. Drugim rečima, jedno ukrštanje roditelja proizvodi jednog naslednika.
- (6) *Mutacija*. Pošto se problem kodira sa celim brojevima, sa veoma malom zadatom verovatnoćom se u datoj generaciji na slučajno odabranoj jedinki slučajno odabralju dva gena koji zamene mesta. Mutacija se ne vrši na najboljoj jedinki koja obično dospeva u generaciju preko elitizma.
- (7) *Elitizam*. Najbolja jedinka identifikovana u datoj generaciji obavezno se prenosi u sledeću, a ostale jedinke iz tekuće generacije se eliminisu. Na taj način sprečava se gubljenje 'najbolje do tada' (*best-so-far*) jedinke. Tranzitivni princip je sačuvan sve do trenutka kada se pronađe individua sa boljim fitnesom koja tada postaje elitna i propagira se dalje kroz nove generacije.
- (8) *Konvergencija*. Završetkom rada algoritma upravlja kriterijum izlaska definisan jednostavnim prekidom pretraživanja posle zadatog broja generacija ili povremenim poništavanjem cele tekuće generacije, osim elitne jedinke. Ovaj drugi slučaj nastupa ako disperzija jedinki padne ispod zadate vrednosti što može da znači da je cela generacija koncentrisana u određenu zonu

prostora pretraživanja i da algoritam treba da se 'prebaci' u drugu zonu i nastavi pretraživanje. Radi se o izbegavanju konvergencije ka lokalnom ekstremumu (ovde minimalnoj dužini putanje koja nije najkraća). Ovo rešenje za konvergenciju dalo je dobre rezultate u primeni opisanoj u sledećoj sekciji.

Pseudo-kod algoritma GA-RAMSAR prikazan je na Slici 2 i dat je na enleskom jeziku zbog međunarodne transparentnosti. Na isti način je postupljeno i u pisanju programskog koda na proceduranom jeziku Fortran. Programski kod ima glavni i 10 potprograma sa ukupno 2.467 linija. Instaliran na PC platformi standardne konfiguracije, a izvršni fajl rešava svaki od problema opisanih u sledećem poglavљу za 2 do 3 sekunde.

Podaci i rešenje

Parameter setting:

- Search space for loops = indefinite
- Problem size = 11
- Encoding = real-valued scheme, floating point distances between genes (locations); each individual length is 11; real values of genes in one individual sum to length of the loop.
- Population size = 4
- Number of offspring per pair of parents = 2
- Crossover = used (probability 0,7)
- Mutation probability = uaed (0.004)
- Elitist reproduction = yes
- Selection = tournament
- Perturbation = shuffle
- Number of generations (k) = 5000

Pseudo Code:

```

BEGIN      [ EVOLUTION STRATEGY. An algorithm]
            [ Input and parameter setting]
    c := 0; [ Initialization. Start with an initial value of counter and
              initialize a random population of individuals. ]
    Init population P (c);
    Eval population P (c);

    WHILE NOT finished DO
        BEGIN
            c := c + 1;
            P' := select parents P(c);

            mutate P'(c);

            perturb P'(c);
            evaluate P'(c);

            P := survive P, P'(c);
        END
    END

```

[Test for termination criterion (Max. no. of generations)]

[Population counter. Increase generation counter]

['Mating'. Select stochastically two parents for two offspring production.]

[Mutation. For randomly selected individual in generation, two different genes are selected at random. These genes change places to generate mutated individual.]

[Perturbation. Shuffle stochastically individuals in the population.]

[Evaluation. Compute fitness of all individuals in the generation (including offspring).]

[New generation. Select the survivors by using actual fitness, and do Elitism, i.e. copy the best individual into the next generation.]

Output:

The best individual, i.e. the shortest distance between all genes.

Slika 2. Pseudo kod za genetički algoritam GA-RAMSAR
Figure 2. Pseudo code for GA-RAMSAR genetic algorithm

Podaci

Kao merodavna bazna metrika korišćene su mape i podaci iz baza podataka internet servisa Google Maps. Rastojanja i vremena putovanja od Novog Sada i Beograda do svakog ramsar područja data su u Tabeli 1, a rastojanja i vremena putovanja tizmedu svaka dva ramsar područja u Tabelama 2 i 3. U Tabelama 2 i 3 poslednje dve vrste su podaci iz Tabele 1 da bi se naznačio skup ulaznih podataka za svaku od četiri primene genetičkog algoritma.

Tabela 1.

Rastojanja ramsar područja od Novog Sada i Beograda (Google Maps)

Table 1.

Distances of ramsar areas and cities of Novi Sad and Belgrade (Google Maps)

Ramsar područja u Srbiji	Od NS do ... /km/	Od NS do ./min/	Od BG do.../km/	Od BG do .../min/
1. Ludaško jezero	102	63	189	130
2. Gornje Podunavlje	117	119	198	153
3. Slano Kopovo	63	61	129	119
4. Koviljsko-petrovaradinski rit	26	33	75	70
5. Carska bara	72	69	73	68
6. Zasavica	66	79	87	66
7. Obedska bara	78	80	60	59
8. Labudovo okno	174	179	89	104
9. Peštersko polje	381	320	305	279
10. Vlasinsko jezero	438	277	348	224

Tabela 2.

Međusobna rastojanja ramsar područja i rastojanja od Novog Sada i Beograda (Google Maps)

Table 2.

Distances between ramsar areas and from cities of Novi Sad and Belgrade (Google Maps)

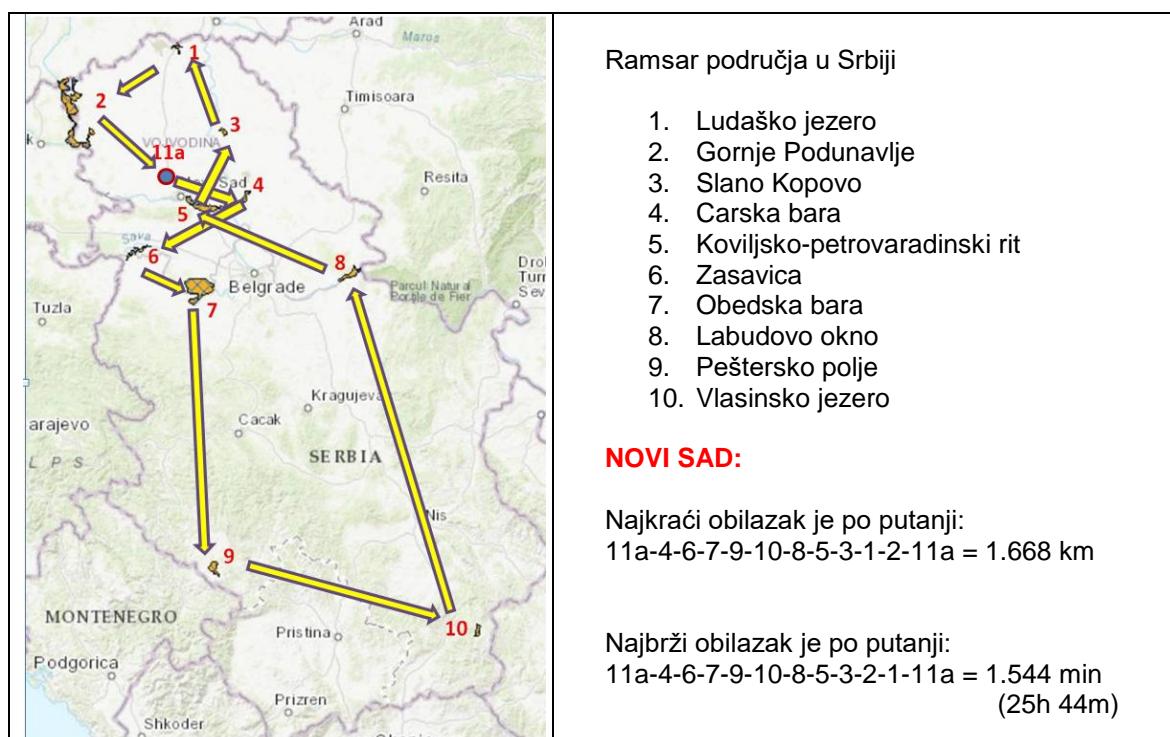
Ramsar	Ramsar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Ludaško jezero	--									
2 Gornje Podunavlje	96	--								
3 Slano Kopovo	100	126	--							
4 Carska bara	167	176	68	--						
5 Koviljsko-Petrovaradinski rit	139	149	89	75	--					
6 Zasavica	170	159	130	143	62	--				
7 Obedska bara	196	206	146	114	73	87	--			
8 Labudovo okno	269	280	174	137	151	183	145	--		
9 Peštersko polje	476	492	426	379	358	375	317	328	--	
10 Vlasinsko jezero	533	548	484	419	417	434	399	346	312	--
11a NOVI SAD (grad)	102	117	63	72	26	66	78	174	381	438
11b BEOGRAD (grad)	189	198	129	75	73	87	60	89	305	348

Tabela 3.Potrebna vremena putovanja između ramsara i od Novog Sada i Beograda (*Google Maps*)**Table 3.**Required travel durations between ramsar areas and from cities of Novi Sad and Belgrade (*Google Maps*)

Ramsar	Ramsar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Ludaško jezero	--									
2 Gornje Podunavlje	86	--								
3 Slano Kopovo	81	119	--							
4 Carska bara	117	161	66	--						
5 Koviljsko-Petrovaradinski rit	87	131	83	75	--					
6 Zasavica	141	184	139	117	74	--				
7 Obedska bara	145	182	140	107	87	84	--			
8 Labudovo okno	198	242	160	137	142	163	139	--		
9 Peštersko polje	487	424	367	344	313	323	294	330	--	
10 Vlasinsko jezero	321	378	333	298	280	283	262	257	331	--
11a NOVI SAD (grad)	63	119	61	69	33	79	80	153	330	277
11b BEOGRAD (grad)	130	153	119	70	68	66	59	194	279	224

Rešenje

Prvo je rešavan TSP sa 11 tačaka (svih 10 ramsara + Novi Sad) i određena je najkraća putanja po dužini u kilometrima sa podacima iz Tabele 2. Zatim je sa podacima iz Tabele 3 određena i najkraća putanja između istih tačaka po vremenu u minutima. Rezultati su prikazani na desnoj strani Slike 3, a strelicama na mapi na levoj strani označeni su smerovi kretanja putnika po kilometarski najkraćoj putanji: Novi Sad → Carska bara → Zasavica → Obedska bara → Peštersko polje → Vlasinsko jezero → Labudovo okno → Koviljsko-petrovaradinski rit → Slano Kopovo → Ludaško jezero → Gornje podunavlje → Novi Sad.



Slika 3. Najkraće dužinske i vremenske putanje obilaska ramsar područja Srbije (polazak Novi Sad)
Figure 3. Shortest paths (distances and durations) between all ramsar areas and a city of Novi Sad

Najkraća dužina puta je 1.668 km, a najkraće vreme je 1.544 min (25h 44min). Sa desne strane Slike 3 lako je videti da su putanje skoro idealno poklopljene. Razlika je samo na kraju puta. U slučaju da želi najkraću kilometražu, putnik treba da vozi iz Slanog Kopova (3) do Ludaškog jezera (1) na severu, zatim da nastavi u Gornje Podunavlje (2) i da se vrati u Novi Sad (11a). Ako želi da se najbrže vrati u Novi Sad, onda iz Slanog Kopova prvo treba da putuje u Gornje Podunavlje, a zatim preko Ludaškog jezera da se vrati u Novi Sad. U oba slučaja nisu uračunata zadržavanja, tako da dobijena rešenja predstavljaju tzv. idealni minimum i mogu poslužiti kao *benchmark* vrednosti za dalje analize i planiranja putovanja.

U Tabeli 4 ilustrovano je kako je algoritam u karakterističnim generacijama pronalazio kraće dužinske putanje dok u 259-toj nije našao najkraću. Konvergencija ka najboljem rešenju desila se za manje od 2 sekunde, a poslednjih 110 generacija bilo je potrebno da se odredi najkraća putanja zamenom obilaska samo dva ramsar područja: 1- Ludaško jezero i 2 – Gornje Podunavlje (videti poslednje dve vrste u Tabeli 4).

Zatim je rešavan TSP sa 11 tačaka (svih 10 ramsara + Beograd). Najkraća putanja po dužini u kilometrima dobijena je na osnovu podataka iz Tabele 2, a najkraća putanja po vremenu izražena u minutima dobijena je na osnovu podataka iz Tabele 3. Rezultati su prikazani na desnoj strani Slike 4. Strelicama na mapi na levoj strani označeni su smerovi kretanja putnika po kilometarski najkraćoj putanji: Beograd → Carska bara → Slano Kopovo → Ludaško jezero → Gornje Podunavlje → Zasavica → Koviljsko –petrovaradinski rit → Obreška bara → Peštersko polje → Vlasinsko jezero → Labudovo okno → Beograd. Najkraća dužina puta je 1.697 km, a najkraće vreme je 1.602 min (26h 42min). Obe putanje su nešto duže od putanja dobijenih za polaske iz Novog Sada što je geografski logično. Lako se uočava da se za Beograd kilometarska i minutna putanja međusobno razlikuju (videti Sliku 3). U prvom slučaju (kilometarskom) prvo se obilaze ramsar područja u Vojvodini, a zatim put ide prema jugu Srbije. U drugom slučaju (minutnom) je obrnuto.

Tabela 4.

Propagacija rešenja iz GA-RAMSAR za polazak iz Novog Sada

Table 4.

Propagation of paths generated by the GA-RAMSAR (with start in Novi Sad)

Generacija	Putanja	Dužina (km)
1	11a 6 7 10 1 3 9 8 4 2 5 11a	2487
2	11a 1 7 8 6 5 3 2 9 10 4 11a	2210
3	11a 6 1 7 8 5 3 2 9 10 4 11a	2155
12	11a 1 7 8 5 3 2 9 10 4 6 11a	2123
17	11a 1 2 8 7 5 3 9 10 4 6 11a	2088
25	11a 4 8 7 5 3 1 2 9 10 6 11a	2004
72	11a 4 6 7 2 1 10 9 8 5 3 11a	1918
85	11a 4 6 7 2 1 9 10 8 5 3 11a	1879
90	11a 1 2 4 7 6 9 10 8 5 3 11a	1808
115	11a 6 4 7 9 10 8 5 3 2 1 11a	1705
149	11a 4 6 7 9 10 8 5 3 2 1 11a	1679
259	11a 4 6 7 9 10 8 5 3 1 2 11a	1668



Slika 4. Najkraće dužinske i vremenske putanje obilaska ramsar područja Srbije sa polaskom iz Beograda

Figure 4. Shortest paths (distances and durations) between all ramsar areas and a city of Belgrade

Tabela 5 sadrži informaciju o propagaciji rešenja za dužinske putanje iz Beograda. Najkraća putanja dobijena je u 1015-toj generaciji. Konvergencija je ovoga puta postignuta posle tri sekunde. Pregled međurešenja po generacijama pokazuje da je bilo i sličnih i nesličnih rešenja i da je algoritam pretraživao više različitih delova prostora sa, podsetimo, oko 40 miliona mogućih rešenja. Ovog puta potpuno je bio prisutan efekat diversifikacije i elitističke reprodukcije.

Prikaz propagacije rešenja kroz generacije putanja po vremenu za oba slučaja (Novi Sad i Beograd) izostavljaju se jer ne nose bitno različitu informaciju od one sadržane u Tabelama 4 i 5. Važna napomena je da su sva dobijena rešenja takva da su putanje zatvorene, što znači da se po datoj putanji može krenuti iz bilo koje lokacije u jednom od dva moguća smera i obići sve ostale lokacije uz sačuvani minimum dužine puta, odnosno minimum potrebnog vremena da se put pređe. Druga važna napomena je da su sa web servisa Google Maps uzimana rastojanja i pripadajuća vremena putovanja za što je moguće kvalitetnije puteve u Srbiji, po rangu od autoputeva, preko regionalnih, do lokalnih.

Tabela 5.

Propagacija rešenja iz GA-RAMSAR za polazak iz Beograda

Table 5.

Propagation of paths generated by the GA-RAMSAR (with start in Belgrade)

Generacija	Putanja											Dužina (km)	
1	11b	2	5	8	7	4	1	9	10	6	3	11b	2405
4	11b	2	8	7	4	9	10	6	3	1	5	11b	2304
7	11b	6	7	5	2	3	4	1	9	10	8	11b	1980
17	11b	7	6	5	2	3	4	1	9	10	8	11b	1942
20	11b	7	5	6	2	3	4	1	9	10	8	11b	1938
30	11b	7	5	6	2	4	3	1	9	10	8	11b	1921
52	11b	9	10	8	5	3	2	1	6	7	4	11b	1871
103	11b	9	10	8	3	1	2	6	7	5	4	11b	1802
831	11b	7	9	10	8	3	1	2	6	5	4	11b	1776
934	11b	5	4	3	1	2	6	7	9	10	8	11b	1722
1015	11b	4	3	1	2	6	5	7	9	10	8	11b	1697

Zaključci

Rastojanja između ramsar područja u Srbiji ako se pođe iz Novog Sada ili Beograda su 1.668, odnosno 1.697 kilometara. Ako se pođe iz Novog Sada, putovanje bi u idealnom slučaju (bez zadržavanja) trajalo 25h 44m, a ako se pođe iz Beograda oko sat duže 26h 42m. Redosled obilaska ramsar područja se razlikuje što je ilustrovano na slikama u prethodnoj sekciji.

Razrađeni heuristički pristup i razvijeni genetički algoritam GA-RAMSAR dovoljno su opšti i mogu se primeniti na TSP probleme praktično bilo kojih dimenzija. To znači da se mogu tražiti i analizirati optimalne putanje obilaska najznačajnijih manastira, ramsara, nacionalnih parkova i drugih lokaliteta u Srbiji iz raznih pravaca. Na primer, za izradu turističke ponude obilaska 17 fruškogorskih manastira i 8 ramsara na teritoriji Vojvodine iz pravca Novog Sada, Beograda ili Sremske Mitrovice, algoritam bi pretraživao ogromne prostore mogućih rešenja, čak do veličine $P_{28}=28!=1x2x3 \dots 27x28$, što je broj sa oko 25 nula.

Fleksibilnost genetičkog algoritma postignuta je direktnim kodiranjem raznih heuristika kao što su rekombinacije sa dva sečenja hromozoma, više verovatnoća izbora i kombinovanja gena roditelja, zadavanje različitog broja jedinki u mrestilištu (generaciji), tri načina izbora jedinki za rekombinaciju (*tournament, roulette wheel, rank*) itd. Imo mogućnosti unošenja i drugih heuristika, što će zavisiti od pravaca daljih istraživanja.

Zahvalnica

Rad je deo istraživanja na naučnom projektu ON174003: Teorija i primena Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) za višekriterijumsko odlučivanje u uslovima rizika i neizvesnosti (individualni i grupni kontekst). Projekat finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Bubulj S., Srđević Z., Ilić M., Srđević B., 2019. Izbor i vrednovanje kriterijuma za ocenu ranjivosti Ramsar vlažnih područja u Vojvodini na pojavu sušnih perioda. Prijavljeno za časopis Letopis naučnih radova.
- Galamboš L., Srdjević Z., Srdjević B., 2019. Stakeholders participation in the process of development of protected area management plan using the Analytic hierarchy process (AHP) and the concept of ecosystem services. Presented at the 6th Biennial Symposium of the International Society for river science, 8-13 Sept. 2019, Vienna Austria
- Goldberg D. E., 1989. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley.
- International Conference on the Conservation of Wetlands and Waterfowl. 1971. Annex I: Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat. Ramsar, Iran.
http://archive.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-cops-1971-convention-on-20708/main/ramsar/1-31-58-136%5E20708_4000_0.

Heuristic approach in determining shortest routes to ramsar protected natural reserve areas in Serbia

Bojan Srđević^{a*}

^a University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: bojans@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

International Ramsar Convention has already verified 10 protected natural areas in Republic of Serbia as 'ramsars', out of that 8 in Vojvodina Province. Ramsar related research is dispersed in different directions and is undertaken by different institutions. Research, strategic and operational goals and actions are stated or realized in domains such as ecology, economy, legislation, management, tourism, recreation, cultural initiatives etc. Ecosystem services that can be provided by ramsar areas on a long term basis represent an important part of ongoing research. In this paper we present results that can serve as a base in planning and management of ramsar areas. Developed genetic algorithm GA-RAMSAR uses data from the web service Google Maps to search feasible paths between all ramsars and cities of Novi Sad and Belgrade and to identify shortest paths expressed as distances and time durations. The problem is treated as the symmetric TSP (Travelling Salesman Problem), and several applied heuristics enabled extremely fast solving procedure lasting in only few seconds at standard PC platform. Solutions represent ideal points in search spaces regarding distances and times. With addition of extra time required for visiting ramsars, pauses for driver(s) to rest, unexpected failures of transportation mean etc. – the results shown in this paper can be used as reference in planning of tourist arrangements and offers, managing all kinds of resources etc. The algorithm can solve TSP problems of any dimension, for instance after inclusion of more ramsars, extension of the search space with monasteries, national parks and other locations of interest for Serbia.

KEY WORDS: Protected natural areas (ramsars), shortest paths, genetic algorithm

Primljen: 22.09.2019.

Prihvaćen: 15.11.2019.