

Dr Radomir S. Gordić,
pukovnik, dipl. inž.,
Boriša Jovanović,
student,
Đuro Alfirević,
student
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

IZBOR OPTIMALNOG PUTA ZA KRETANJE ORGANIZOVANOG KOLONSKOG SAOBRAĆAJNOG TOKA NA OSNOVU REZULTATA MODELIRANJA

UDC: 656.1 : 519.863

Rezime:

U toku planiranja i praktične realizacije zadataka jedinica Vojske SCG često se javlja problem izbora optimalnog puta između dva mesta (čvora) na putnoj mreži. Kriterijumi optimizacije mogu biti različiti. Ovaj projekat treba da omogući brzo i lako određivanje optimalnog puta, primenom dinamičkog programiranja (DP), uz korišćenje Belmanovog (Bellman), algoritma u zavisnosti od izabranog kriterijuma – parametra. Kriterijum optimizacije je minimalno vreme kretanja (putovanja), koje je dobijeno imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka. Razrađeni algoritam omogućuje izbor optimalnog puta, za bilo koja dva čvora na mreži.

Ključne reči: dinamičko programiranje, optimalni put, Belmanov algoritam.

CHOOSING AN OPTIMAL ROUTE FOR ORGANIZED VEHICLE MOVEMENT BASED ON MODELING RESULTS

Summary:

During the planing and practical realization of Serbian & Montenegro units' tasks a problem which often occurs is choosing an optimal transport route between two places (nodes). Optimization criterias can be various. This project should enable quick and easy defining of an optimal route, applying dynamic programing (DP) using Bellman's alghorithm depending on choosen criteria – parameter. Optimization criteria represent minimum movement time (traveling), which are taken from imitational modeling of a traffics queue flow. Operating alghorithm enable choosing an optimal transport route, for any two nodes on a road map.

Key words: Dynamic programing, optimal route, Bellman's alghorithm.

Uvod

U realizaciji zadataka saobraćajne podrške (SbP) jedinica Vojske SCG, često se javlja problem određivanja optimalnog puta između dva mesta na putnoj mreži. Kriterijumi optimizacije su različiti. Oni se, u principu, razlikuju u ratnim i mirnodopskim uslovima funkcionisanja SbP.

Poseban problem izbora puta na određenoj mreži javlja se pri kretanju kolo-

ne, zbog interakcija između vozila u koloni i delovanja različitih parametara sistema: vozač – vozilo – put – okolina – organizacija (V–V–P–O–O), koji su promenljivi u prostoru i vremenu, pa utiču na efikasnost kretanja, a time i SbP.

Postojeća rešenja izbora puta nisu efikasna. U praksi se, pri različitim poremećajima, javlja problem realnosti usvojenih planova, jer se vreme kretanja kolone određuje prostom analitičkom vezom

između puta i brzine. Takvi planovi predstavljaju idealizovan model saobraćajnog toka, pa se u praksi ne ostvaruju [1].

Ovaj problem spada u klasu zadataka „optimalnog upravljanja“, a realizuje se u okviru funkcije „planiranje“. Može se rešiti primenom različitih algoritama dinamičkog programiranja. Neki od postojećih algoritama pogodni su i efikasni u računskom smislu, samo za posebne slučajeve izbora najkraćeg puta na odabranoj mreži. Zbog toga, s obzirom na značaj ovog problema sa aspekta realizacije zadataka jedinica Vojske i mogućnosti savremene računarske tehnike, ovaj rad predstavlja korak ka usavršavanju postojećih i razvoju novih metoda optimizacije. Pored toga, učinjen je pokušaj da se izabere optimalan put primenom dinamičkog programiranja, uz korišćenje Belmanovog algoritma. Najkraći put, između izabranih čvorova na putnoj mreži, određuje se na osnovu vremena putovanja koje je dobijeno imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka [2, 3].

Analiza zahteva saobraćajne podrške

Na teritoriji gde postoji razgranata putna mreža potrebno je pri planiranju zadataka SbP, na osnovu merodavnog parametra, izabrati komunikacije za kretanje jedinica i kolona, tako da se zadatak realizuje za najkraće vreme. U ovom radu su za merodavne parametre sistema V-V-P-O-O, odabrani:

- maksimalno mogući protok na mreži Q [voz/h],
- moguće brzine kretanja na pojedinim deonicama V [km/h],

– uzdužni nagibi puta („+“ i za uspon i „-“ i za pad) u %,

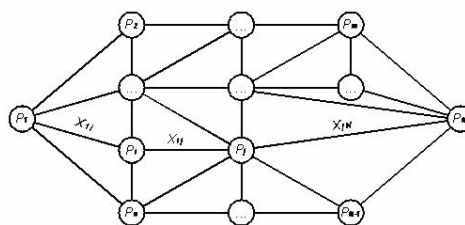
– koeficijent prijanjanja pneumatika sa podlogom μ (sa aspekta kvaliteta i stanja kolovoznog zastora (KZ)).

Pored toga, pri izboru optimalnog puta neophodno je uzeti u obzir specifičnosti saobraćajnog toka i interakcije koje se javljaju između učesnika u saobraćaju i elemenata sistema V-V-P-O-O.

Radi rešenja iznetog problema uočena je neorijentisana mreža sa N čvorova (slika 1). Ovako definisana mreža potpuno je određena matricom X ,

$$X = \|x_{ij}\| \quad (1)$$

gde je X kvadratna matrica dimenzija $(N \times N)$, a element x_{ij} dužina puta od čvora P_i do čvora P_j . Ako takav put ne postoji onda je $x_{ij} = \infty$ (slika 1).



Sl. 1 – Neorijentisana mreža sa N čvorova [1]

Dužina puta između čvora P_m i čvora P_n iznosi:

$$L = \sum_{k=m}^n l_k \text{ [km]} \quad (2)$$

gde je l_k udaljenost između susednih čvorova na izabranom putu.

Vreme putovanja između čvora P_m i čvora P_n iznosi:

$$T = \sum_{k=m}^n t_k \text{ [min]} \quad (3)$$

gde je t_k vreme putovanja između susednih čvorova na izabranom putu, dobijeno imitacionim modeliranjem kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka [2, 3].

Vreme putovanja predstavlja srednje vreme kretanja simulirane kolone na određenoj dužini puta za ukupan broj simulacija. Ono uzima u obzir dubinu i druge specifičnosti kolone [4] i dobija se prema izrazu:

$$\bar{t}_{kk} = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{\bar{D}_k} + \bar{t}_{ok} \text{ [min]} \quad (4)$$

gde je:

\bar{t}_{kk} – srednje vreme kretanja kolone između čvorova P_m i P_n [min],

L – dužina puta između čvorova na mreži [km],

\bar{t}_{ok} – srednje vreme opsluživanja kolone (kretanje na sopstvenoj dubini kolone, \bar{D}_k), dobijeno modeliranjem [min],

\bar{D}_k – srednja dubina kolone [km].

Relacija (3) dobija sledeći oblik:

$$T = \sum_{k=m}^n \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{\bar{D}_k} + \bar{t}_{ok} \text{ [min]} \quad (5)$$

Zadatak određivanja minimalnog puta na mreži, između čvorova P_m i P_n , jeste da se minimizira vreme putovanja

između izabranih čvorova, predstavljeno relacijom (5).

Da bi vreme putovanja T , odnosno t_k , bilo minimalno, vrednost merodavnog parametra mora biti optimalna. Pri određivanju optimalnog puta, u zavisnosti od relevantnog parametra, potrebno je izabrati deonice sa maksimalnim vrednostima: protoka Q , brzine V , koeficijenta prijanjanja pneumatika μ , i vrednostima uzdužnog nagiba puta i što bliže 0.

Matematički model određivanja najkraćeg puta na mreži

Problem određivanja najkraćeg puta na mreži između čvora P_1 i čvora P_N , tj. dva unapred zadata čvora, klasičan je problem dinamičkog programiranja. Jedan od najpoznatijih algoritama za nalaženje najkraćeg puta od zadatog čvora P do ostalih čvorova u mreži jeste Belmanov algoritam [5, 6].

Algoritam se zasniva na uspostavljanju rekurentnih relacija između vrednosti kriterijumske funkcije f_i^k čvora P_i i čvora P_N . Veličina f_i^k predstavlja dužinu najkraćeg puta između čvora P_i i čvora P_N u koraku k . Rekurentna relacija je posledica principa optimalnosti i glasi:

$$f_i^{k+1} = \min_{j \neq i} (x_{ij} + f_j^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$f_n^{k+1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (6)$$

Algoritam spada u grupu iterativnih, relaksacionih algoritama, u kojem se u svakoj iteraciji izračunava kriterijumska funkcija f_i^k za sve čvorove. Tokom itera-

cija veličine f_i^k se menjaju, a proces je završen kada u dve uzastopne iteracije kriterijumska funkcija f_i^k svih čvorova bude ista.

Pri izračunavanju se polazi od puta koji direktno povezuje P_i i P_N , a zatim se traži put od P_i do P_N sa dve grane, pa sa tri, itd.

Početno rešenje definisano je sledećim izrazima:

$$f_i^1 = X_{in}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$f_n^1 = 0. \quad (7)$$

U koraku $k = 2$ vrši se izbor najkraćeg puta od čvora P_i do čvora P_N , koji vodi preko jednog čvora. Tako se dobija novo rešenje:

$$f_i^2 = \min(x_{ij} + f_j^1) \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$f_n^2 = 0, \quad (8)$$

pri čemu je zadovoljena nejednakost:

$$f_i^2 \leq f_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (9)$$

Rešenje problema postiže se u k -toj iteraciji za koju važi relacija:

$$f_i^k = f_i^{k+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

$$f_n^k = f_n^{k+1} = 0. \quad (10)$$

Drugi deo algoritma, ucrtavanje optimalnog puta na mreži, odvija se prema sledećim koracima:

– uočavaju se svi čvorovi direktno povezani sa P_i za koje u poslednjem koraku važi $f_i < f_j$;

– optimalni put prolaziće kroz onaj sledeći čvor za koji važi relacija:

$$f_i = x_{ij} + f_j, \quad (11)$$

gde j dobija vrednosti P_i onih čvorova koji su direktno povezani sa čvorom P_i ;

– prethodni postupak se ponavlja za čvorove za koje je zadovoljena relacija (11) i nastavlja do čvora P_N , tj. dok se ne ucrtava čitav optimalni put. Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne ucrtaju sve varijante optimalnog puta, ukoliko je rešenje višestruko;

– ako se u relacijama (6) i (11) umesto dužine puta x_{ij} između čvora P_i i čvora P_j uvrsti vreme putovanja:

$$t_{ij} = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} \quad (12)$$

dobija se:

$$f_i^{k+1} = \min_{j \neq i} \left(\frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} + f_j^k \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$f_n^{k+1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (13)$$

$$f_i = \frac{L \cdot \bar{t}_{ok}}{D_k} + \bar{t}_{ok} + f_j \quad (14)$$

U prikazanom algoritmu postoji mogućnost izbora najkraćeg puta samo od čvora P_N do ostalih čvorova u mreži. Međutim, mnogo češće se javlja potreba da se u postojećoj mreži odredi najkraći put za bilo koja dva čvora.

Da bi se to omogućilo postojećim modelom, potrebno je matricu rastojanja X transformisati tako da se red i kolona

matrice zadatog početnog čvora P_m prebace na mesto poslednjeg reda i kolone P_N .

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{m1} & \cdots & X_{n1} & \cdots & X_{N1} \\ X_{21} & X_{22} & & X_{m2} & & X_{n2} & & X_{N2} \\ X_{1m} & X_{2m} & & X_{mm} & & X_{nm} & & X_{Nm} \\ \vdots & & & & & & & \\ X_{1n} & X_{2n} & & X_{mn} & & X_{nn} & & X_{Nn} \\ \vdots & & & & & & & \\ X_{1N} & X_{2N} & & X_{mN} & & X_{nN} & & X_{NN} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Nakon transformacije, nova matrica rastojanja X_1 ima oblik:

$$X_1 = \begin{pmatrix} X_{mm} & X_{1m} & X_{2m} & \cdots & X_{Nm} & X_{nm} \\ X_{m1} & X_{11} & X_{21} & & X_{N1} & X_{n1} \\ X_{m2} & X_{12} & X_{22} & & X_{N2} & X_{n2} \\ \vdots & & & & & \\ \vdots & & & & & \\ X_{mN} & X_{1N} & X_{2N} & & X_{NN} & X_{nN} \\ X_{mn} & X_{1n} & X_{2n} & & X_{Nn} & X_{nn} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Nakon transformacije matrice rastojanja, Belmanov algoritam može se primeniti bez ikakvih promena.

Algoritam za određivanje optimalnog puta

Zadatak izbora optimalnog puta na osnovu rezultata imitacionog modeliranja, prema odabranom merodavnom parametru, rešen je u programskom jeziku „C“. Glavni program povezuje četiri potprograma:

– za izbor merodavnog parametra i određivanje optimalnog vremena putova-

nja organizovane kolone, na osnovu rezultata imitacionog modeliranja;

– za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja;

– za određivanje minimalnog puta na mreži primenom dinamičkog programiranja, i

– za unos relevantnih podataka o putnoj mreži.

Algoritam za izbor merodavnog parametra i određivanje optimalnog vremena putovanja

Da bi model dinamičkog programiranja mogao nesmetano da radi, potrebno je za celu mrežu izračunati vremena putovanja u zavisnosti od uslova i stanja sistema V-V-P-O-O, izraženih preko merodavnog parametra. Zbog toga, potprogram za izbor merodavnog parametra i izračunavanje vremena putovanja mora da prethodi potprogramu za izbor optimalnog puta.

Za rad ovog potprograma formirano je šest datoteka podataka:

– „KARTA“ – datoteka podataka o putevima na odabranoj mreži;

– „1DPSMO“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavnog protoka na mreži;

– „DPSMO1“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavne brzine na mreži;

– „DPSMO4“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, zavisno od merodavnih koeficijenata prijanjanja pneumatika i kolovoza;

– „DPSMOI“ – datoteka numeričkih karakteristika sistema V-V-P-O-O, za-

visno od merodavnog uzdužnog nagiba puta na mreži;

– „TMIN“ – datoteka vremena putovanja za sve puteve na mreži, zavisno od odabranog merodavnog parametra.

Datoteke 1DPSMO, DPSMO1, DPSMO4 i DPSMOI formirane su u toku modeliranja kolonskog saobraćajnog toka. U ovom potprogramu se pomoću numeričkih karakteristika sistema V–V–P–O–O*, određuje vreme putovanja za sve puteve na mreži prema izabranom merodavnom parametru.

Vreme putovanja za pojedine deonice puta na mreži pri kretanju saobraćajnog toka ne može se izračunati prostom analitičkom vezom između osnovnih veličina: puta, vremena i brzine, jer predstavlja idealizovan model saobraćaja koji važi samo za kretanje pojedinačnog vozila u idealnim uslovima [7]. Vreme putovanja je promenljiva veličina, koja zavisi od interakcija u sistemu V–V–P–O–O i velikog broja slučajno promenljivih faktora. Za kretanje kolonskih saobraćajnih tokova ono se realno može dobiti imitacionim modeliranjem prema izrazu (4). Zbog toga, iz podataka dobijenih modeliranjem, treba odrediti i uzeti u obzir parametre kolonskog saobraćajnog toka: srednje odstojanje između vozila u koloni, \bar{l}_{ps} ; srednju dubinu kolone \bar{D}_k ; srednju gustinu saobraćaja, \bar{G} i srednje vreme opsluživanja kolone \bar{t}_{ok} [4].

U datoteci „KARTA“, za čvorove koji su direktno povezani, nalaze se sledeći podaci:

*Ove karakteristike dobijene su imitacionim modeliranjem kolonskog saobraćajnog toka [2, 3] i ovde se koriste kao baza podataka. Kretanje kolone posmatra se kao rad „sistema za masovno opsluživanje“ (SMO), pa ove datoteke sadrže podatke tipične za SMO.

– $L(i, j)$ [km] – dužina puta između i-tog i j-tog čvora;

– $Q(i, j)$ [voz/h] – maksimalni mogući protok između i-tog i j-tog čvora na mreži;

– $V(i, j)$ [km/h] – moguća brzina između i-tog i j-tog čvora na mreži, za kolonski tok;

– $\mu(i, j)$ – koeficijent prijanjanja pneumatika sa podlogom na deonici između i-tog i j-tog čvora na mreži;

– $\pm i$ [%] – uzdužni nagib puta, „+“ za uspon, „–“ za pad, na deonici između i-tog i j-tog čvora na mreži.

Za čvorove koji nisu direktno povezani nalazi se podatak o dužini i to: ∞ za $i \neq j$ i 0 za $i = j$.

U datoteci „TMIN“, na osnovu odabranog parametra, za sve direktno povezane čvorove, izračunava se i upisuje vreme putovanja t_{ij} , a za ostale čvorove upisuje se ∞ za $i \neq j$ i 0 za $i = j$.

Na slici 2 prikazan je opšti blok-dijagram potprograma za izbor optimalne brzine kretanja i izračunavanja vremena putovanja.

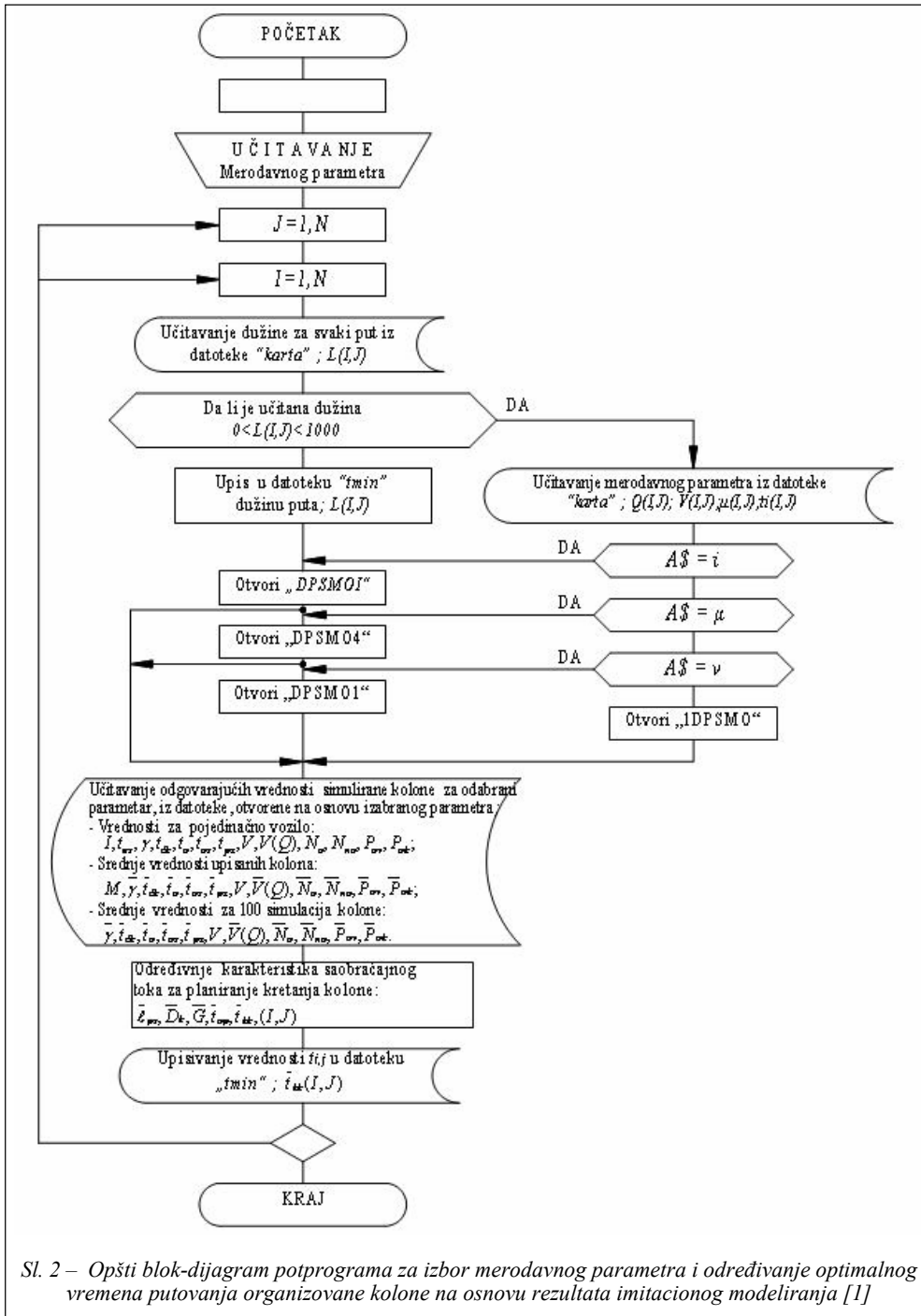
Algoritam za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja

Prema opisu problema, a radi uopštavanja modela tj. izbora puta za kretanje između bilo koja dva čvora na mreži, potrebno je izvršiti transformaciju matrice vremena putovanja $T = [t_{ij}]$.

Za rad ovog potprograma koristi se šest datoteka:

– „MESTA“ – nepromenljiva datoteka naziva čvorova – mesta na mreži;

– „MESTA2“ – promenljiva datoteka naziva čvorova na mreži;



- „KARTA1“ – promenljiva pomoćna datoteka vremena putovanja;
- „KARTA2“ – promenljiva datoteka vremena putovanja;
- „TMIN“ – datoteka vremena putovanja, za sve puteve na mreži;
- „MESTA3“ – promenljiva datoteka za upis maršrute kretanja (početno i krajnje mesto).

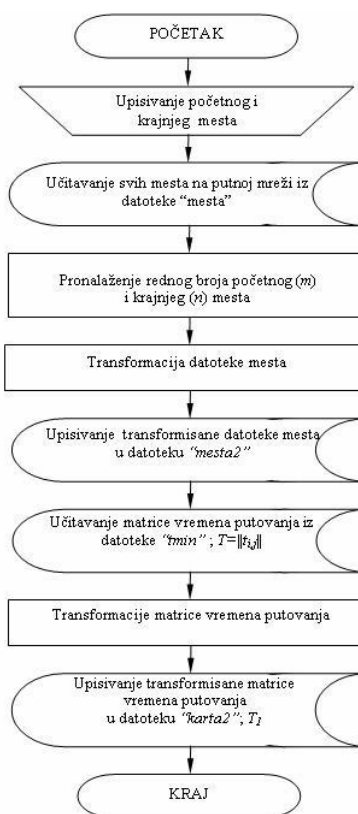
Na osnovu opisanog postupka razrađen je algoritam za preuređenje datoteke mesta (naziva čvorova) i datoteke vremena putovanja.

Nakon upisa početnog i krajnjeg mesta i pronalaženja njihovih rednih brojeva m i n u datoteci „MESTA“, vrši se preuređenje datoteka „MESTA2“ i „KARTA2“. Najpre se preuređuje datoteka „MESTA2“ tako da na prvo mesto dolazi naziv čvora m (početno mesto), a na poslednje naziv čvora n (krajnje mesto). Datoteka „KARTA2“ preuređuje se tako što se m -ti red i kolona prebace na mesto prvog reda i kolone, dok se n -ti red i kolona prebace na mesto N -tog reda i kolone (N je broj mesta na putnoj mreži). Ako se zahteva izbor maršrute za iste čvorove, postupak preuređenja datoteka se preskače i zahteva unos validnih podataka (različito početno i krajnje mesto).

Na slici 3 prikazan je opšti blok-dijagram potprograma za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja.

Algoritam za određivanje najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova – mesta, primenom dinamičkog programiranja

Nakon određivanja optimalne brzine, izračunavanja vremena putovanja i preuređenja datoteka, moguće je primeniti Belmanov algoritam dinamičkog programiranja za izbor najkraćeg puta.

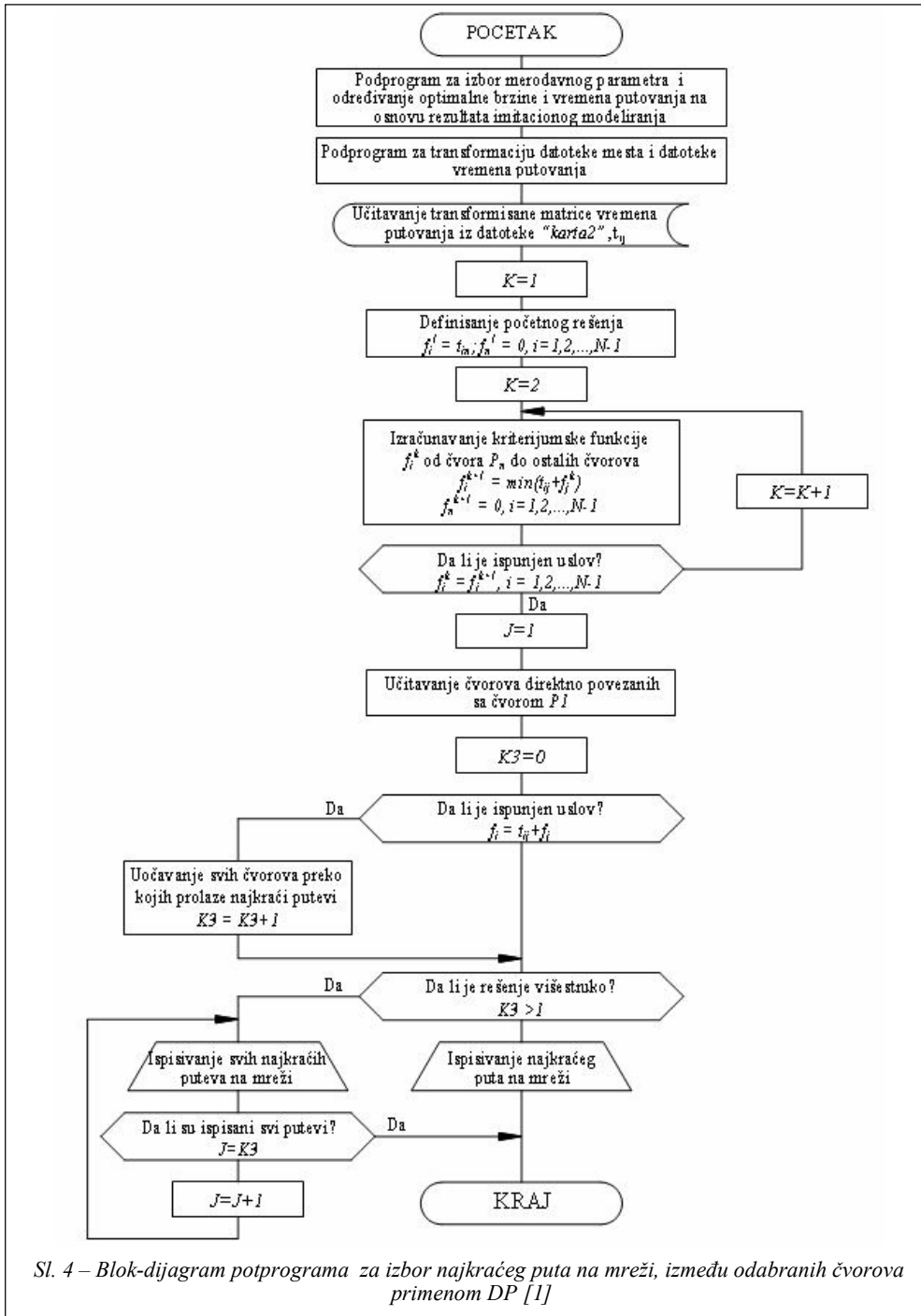


Sl. 3 – Opšti blok-dijagram potprograma za preuređenje datoteke mesta i datoteke vremena putovanja [1]

Za rad ovog potprograma koriste se četiri datoteke:

- „KARTA2“ – preuređena datoteka vremena putovanja;
- „MESTA2“ – preuređena datoteka naziva čvorova;
- „MESTA3“ – datoteka u koju je upisana maršruta kretanja (početno i krajnje mesto).
- „MESTA4“ – datoteka u koju se upisuju sva mesta, na određenoj, minimalnoj maršruti.

Na osnovu opisanog postupka razrađen je algoritam za izbor najkraćeg puta na mreži.



Sl. 4 – Blok-dijagram potprograma za izbor najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova primenom DP [1]

U datotekama postoje podaci dobijeni modeliranjem za sledece parametre:

1. Osnovni-direktni protok (protok po desnoj traci), Q1[voz/h]
2. Moguce deonicne brzine kretanja kolonskog toka, V[km/h]
3. Koefficient prijanjanja pneumatika s kolovozom, μ
4. Uzduzni nagib puta, ['+'i za uspon i '-' za pad] u '%'

Svaka kolona simulirana je 1000 puta a u koloni se kretalo 187 vozila

Na osnovu popisa izaberite redni broj merodavnog parametra prema kome zelite vršiti izbor puta

Prema kom parametru se vrši izbor putanje za kretanje(1-4)?

PARAMETAR= 1

Prilog 1 – Izbor relevantnog parametra sistema V-V-P-O-O [1]

Algoritam ispisuje: vrednost kriterijumske funkcije f_i^k za sve čvorove prema koracima izračunavanja, minimalno vreme putovanja izraženo u satima, relaciju kretanja i, na kraju, određuje i ispisuje dužinu minimalne maršrute izraženu u kilometrima. Ukoliko je rešenje višestruko, ispisuju se podaci o svim određenim maršrutama.

Na slici 4 prikazan je opšti blok-diagram potprograma za izbor najkraćeg puta na mreži, između odabranih čvorova – mesta, primenom dinamičkog programiranja.

Ovaj algoritam (slika 4) realizovan je kao konzolna aplikacija, u kojoj se od korisnika najpre zahteva da izabere relevantni parametar po kojem se vrši izbor optimalnog puta (prilog 1). Zatim, ispisuje nazive svih čvorova na putnoj mreži i od korisnika zahteva da unese početno i krajnje mesto maršrute za kretanje kolone (prilog 2). Nakon toga, program ispisuje vrednosti parametarske funkcije f , po koracima izračunavanja (prilog 3). Na kraju se ispisuju: minimalno vreme kretanja na izabranoj maršruti u satima, čvorovi putne mreže koji povezuju početno i

Čvorovi na putnoj mreži:

1. DJURDJEVICA_TARA
2. MOJKOVAC
3. RIBAREVINE
4. BIJELO_POLJE
5. CAJETINA(R)
6. UZICE
7. POZEGA
8. KRATOVSKA_STENA
9. CACAK
10. PRELJINA
11. KRALJEVO
12. BERANE
13. PLJEVLJA
14. PRIJEPOLJE
15. ALJINOVICI
16. SJENICA
17. DUGA_POLJANA
18. NOVI_PAZAR
19. RASKA
20. UVAC
21. RIBARICE
22. USCE
23. PRIBOJ
24. BISTRICA
25. NOVA_VAROS
26. KOKIN_BROD
27. PRILIKE
28. IVANJICA
29. GUCA(R1)
30. GUCA(R2)

Na osnovu popisa čvorova izaberite maršrutu kretanja za kolonu vozila.

Upisite pocetno mesto? MOJKOVAC
Upisite krajnje mesto? IVANJICA

Prilog 2 – Definisane početnog i krajnjeg čvora za izbor minimalne maršrute [1]

Minimalna vremena putovanja izmedju IVANJICA
i ostalih cvorova u mrezi prema koracima izracunavanja

	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	k=8	k=9	k=10	k=11	k=12	k=13
1. MOJKOVAC	0	81	134	186	238	290	342	394	446	498	550	586	586
2. DJURDJEVICA_TARA	0	104	193	245	297	349	401	453	505	529	529	529	529
3. RIBAREVINE	0	52	104	156	208	260	312	364	416	468	517	517	517
4. BIJELO_POLJE	0	52	104	156	208	260	312	364	416	465	465	465	465
5. ČAJETINA(R)	0	72	145	210	267	294	294	294	294	294	294	294	294
6. UZICE	0	72	138	195	247	247	247	247	247	247	247	247	247
7. POZEGA	0	57	113	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
8. KRATOVSKA_STENA	0	57	113	170	222	222	222	222	222	222	222	222	222
9. CACAK	0	54	108	161	215	235	235	235	235	235	235	235	235
10. PRELJINA	0	54	108	161	215	269	288	288	288	288	288	288	288
11. KRALJEVO	0	100	154	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
12. BERANE	0	89	141	193	245	297	349	401	453	467	467	467	467
13. PLJEVLJA	0	94	155	217	278	331	382	425	425	425	425	425	425
14. PRIJEPOLJE	0	61	123	184	237	288	332	332	332	332	332	332	332
15. ALJINOVICI	0	81	140	198	236	236	236	236	236	236	236	236	236
16. SJENICA	152	84	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
17. DUGA_POLJANA	143	99	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143
18. NOVI_PAZAR	0	79	158	237	243	243	243	243	243	243	243	243	243
19. RASKA	0	79	158	226	226	226	226	226	226	226	226	226	226
20. UVAC	0	51	102	154	205	256	307	359	410	440	440	440	440
21. RIBARICE	0	82	161	240	319	325	325	325	325	325	325	325	325
22. USCE	138	88	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
23. PRIBOJ	0	51	102	154	205	256	307	359	388	388	388	388	388
24. BISTRICA	0	61	123	176	227	278	315	315	315	315	315	315	315
25. NOVA_VAROS	0	59	117	176	234	247	247	247	247	247	247	247	247
26. KOKIN_BROD	0	59	117	176	189	189	189	189	189	189	189	189	189
27. PRILIKE	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
28. GUCA(R1)	91	61	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
29. GUCA(R2)	0	76	123	153	153	153	153	153	153	153	153	153	153
30. IVANJICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Minimalno vreme putovanja 9.45 h
Minimalna marsruta izmedju MOJKOVAC i IVANJICA

1. MOJKOVAC
2. BERANE
3. RIBARICE
4. NOVI_PAZAR
5. DUGA_POLJANA
6. IVANJICA

Duzina marsrute je 228 km

Prilog 3 – Prikaz minimalnih rezultata za izabranu maršrutu [1]

krajnje mesto izabrane maršrute i dužina maršrute u kilometrima (prilog 3). U priložima 1, 2 i 3 prikazan je ispis programa za izabrani merodavni parametar sistema V–V–P–O–O, „osnovni-direktni protok (protok po desnoj kolovoznoj traci)“ i Mojkovac kao početno, a Ivanjica kao krajnje mesto [1]. Kao što se vidi iz priloga 3, za izabrani parametar se dobija: minimalno vreme kretanja 9,45 h, minimalna maršruta: „Mojkovac – Berane – Ribariće – Novi Pazar – Duga Poljana – Ivanjica, dužine 228 km. Ako korisnik,

kao relevantni parametar sistema V–V–P–O–O, izabere moguću brzinu kretanja na pojedinim deonicama, kao izlaz se dobija: minimalno vreme kretanja 16,34 h, minimalna maršruta: „Mojkovac – Ribarevine – Bijelo Polje – Prijepolje – Bistrica – Nova Varoš – Kokin Brod – Čajetina – Užice – Požega – Prilike – Ivanjica“ dužine 248 km. U slučaju izbora koeficijenta prijanjanja pneumatika kao relevantnog parametra sistema V–V–P–O–O na izlazu se dobijaju sledeće vrednosti: minimalno vreme kretanja 9,13 h,

minimalna maršruta: „Mojkovac – Ribarvine – Bijelo Polje – Prijepolje – Aljinovići – Sjenica – Ivanjica“ dužine 193 km. Na kraju, za izbor uzdužnog nagiba puta kao relevantnog parametra sistema V-V-P-O-O, vreme kretanja kolone je 9,13 h, a ostale vrednosti parametara puta identične su kao u slučaju izbora koeficijenta prijanjanja pneumatika sa podlogom, kao relevantnog parametra sistema V-V-P-O-O. Na osnovu prikazanih i navedenih podataka može se zaključiti da se za različite izabrane parametre, a isto početno i krajnje mesto, dobijaju različiti rezultati.

Zaključak

Cilj ovog projekta jeste da se SbP, ali i proces rukovođenja i komandovanja, učine što efikasnijim. Korisnik bi, upotrebom ovog sistema, mnogo brže i lakše donosio odluke. To bi sistem funkcionisanja logističke podrške i sistem komandovanja u celosti učinilo efikasnijim.

U kasnijem razvoju moguće je poboljšanje funkcionalnosti ovog sistema. Program se može poboljšati tako da korisnik – operater zadaje određene uslove i ograničenja koja bi se uzimala u obzir pri izračunavanju optimalnog puta. Model

izbora optimalnog puta treba usavršiti prema realnim zadacima SbP. Vojska ima potrebe da se kreće u raznim uslovima i uz različita ograničenja, pa zadaci optimizacije mogu biti uslovljeni. Na primer, potrebno je odrediti minimalnu maršrutu između dva mesta na putnoj mreži, uz uslov da kolona prođe kroz određeno mesto (usputni utovar, istovar, ukrcavanje, iskrcavanje i sl.), ili da zbog određenih ograničenja izbegne kretanje kroz određeno mesto (srušen most, tučena deonica, snežni nanosi, nedovoljan kapacitet i sl.). Pored toga, sistem se može unaprediti i izradom odgovarajućeg grafičkog korisničkog interfejsa.

Literatura:

- [1] Gordić, S. R.: Efikasnost organizovanog vojnog kolonskog saobraćajnog toka, doktorska disertacija, Vojna akademija, Škola nacionalne odbrane, Beograd, 2005.
- [2] Gordić, S. R.: Izračunavanje osnovnih karakteristika rada puta kao sistema masovnog opsluživanja, seminarski rad iz predmeta Operaciona istraživanja I, TVA PDS, Zagreb, 1981.
- [3] Gordić, S. R.: Modeliranje kretanja organizovanog kolonskog saobraćajnog toka, Simpozijum sa međunarodnim učešćem Optimizacija razvoja saobraćajnog sistema Jugoslavije, zbornik radova, Beograd, 1990.
- [4] Gordić, S. Radomir: Operativno planiranje saobraćaja na putevima kod kolonskih kretanja, Vojnotehnički glasnik, br. 2, 1983.
- [5] Petrović, R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.
- [6] Калихман, И. И. и сот.; Динамическое программирование в примерах и задачах, Москва, Высшая школа, 1979.
- [7] Kuzović, Lj.; Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.