

NAPREDAN PLAN SELECTION SISTEM ZASNOVAN NA PRIMENI ALGORITAMA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Miroslav Osoba, ElcomBgd, Beograd, miroslav.osoba@elcombgd.rs

Boško Leković, ElcomBgd, Beograd, bosko.lekovic@elcombgd.rs

Prof. Aleksandar Stevanović, University of Pittsburgh, stevanovic@pitt.edu

Rezime: Savremeni napredni sistemi upravljanja saobraćajem na uličnoj mreži, oslanjajući se na velike potencijale informacionih i komunikacionih tehnologija problemu prilaze celovito, integrisano, razmatrajući veliku količinu referentnih informacija, primenjujući nad njima moćne alate iz domena veštačke inteligencije. Ggenerišu se složena upravljačka rešenja koja bez navedene tehnologije i tehnika ranije nisu bila dostupna. Uz već tradicionalne analitičke modele optimizacije upravljanja saobraćajem u složenim uslovima, sve češće se pojavljuju opcije zasnovane na složenoj i verodostojnoj saobraćajnoj simulaciji kao operativnijem i efikasnije pristupu „Retime“ koncept optimizacije upravljanja na složenoj saobraćajnoj mreži masivne optimizacione radove nad podacima o saobraćajnom zahtevu u realnom vremenu izmešta u off-line sektor. Uzorkovanjem karakterističnih saobraćajnih slika, snimajući celovit saobraćajni zahtev u odabranim referentnim periodima, formira se veliku broj izglednih saobraćajnih scenarija nad kojima se korišćenjem GA tehnike veštačke inteligencije vrše detaljna analiza, vrednovanje i optimizacija upravljanja, rekonstrukcijom saobraćajnog procesa na VISSIM simulacionom modelu sistema. Na osnovu strateški lociranih detektora u realnom sistemu permanentno se vrši prepoznavanje aktuelne saobraćajne slike. Sistem komunicira sa bibliotekom podataka u kojoj su za prepoznate saobraćajne silke već detaljno pripremljeni optimalni signalni planovi, a tehnika veštačke inteligencije (fuzzy logika) se ponovo primenjuje kao efikasno sredstvo za određivanje konkretnog signalnog plana koji će u realnom vremenu biti implementiran.

Ključne reči: optimalno upravljanje, plan selection, genetski algoritmi, fuzzy logika

1. UVOD – OPTIMIZACIJE UPRAVLJANJA SAOBRAĆAJEM NA GRADSKOJ ULIČNOJ MREŽI

Optimizacija upravljanja saobraćajem na gradskoj uličnoj mreži pomoću integrisanog sistema svetlosne signalizacije spada u klasu optimizacionih zadataka veoma izražene složenosti. Ona potiče od velikog broja parametara procesa koji su u kombinaciji za razmatranje, generisanje prostora dopustivih rešenja, vrednovanje i odabir rešenja izražene efikasnosti, i konačno prepoznavanje među njima najboljeg rešenja koje se proglašava optimalnim i implementira u realnom sistemu.

Na jednoj strani procesa rešavanja problema se nalazi saobraćajni zahtev, koji predstavlja kompleksan ulazni podatak za traženo upravljačko rešenje, koji se sastoji od statičke i dinamičke komponente. Statička komponenta je potpuna definicija saobraćajne mreže u prostornom i funkcionalnom smislu, konačno i teorijski raspoloživim kapacitetom

svojih pojedinačnih veza (linkova). Drugu, znatno složeniju, ulaznu informaciju predstavlja saobraćajni zahtev koji se na navedenoj mreži kao fizičkoj osnovi opslužuje.

Saobraćani zahtev najbolje se definiše O-D matricom (Origine - Destination), koja prikazuje sve saobraćajne tokove između ulaznih i izlaznih tačaka/linkova u mreži. Dodatnu složenost ovom ulaznom podatku daje njegova dinamička komponenta – saobraćajni zahtev je često promenljiv i teško ga je predvideti. Racionalna (i praktična za realizaciju) metoda sagledavanja saobraćajnog zahteva podrazumeva utvrđivanje njegovog intenziteta na linkovima mreže, ili svim ili onim najznačajnijim, čime se obezbeđuje saobraćajna slika redukovane „rezolucije“.

Bez obzira kojom se rezolucijom (vremenskom detaljnošću) utvrđuje saobraćajni zahtev u realnom vremenu, radi se o veoma velikom obimu podataka koje je u ekstremno kratkom vremenskom periodu potrebno obraditi i, odgovarajućom metodom optimizacije, prevesti u operativno najefikasniju kombinaciju parametara upravljačkog sistema (svetlosne signalizacije). Tako kompleksan matematički zadatak može se ostvariti samo uz ogromno angažovanje računarskih i vremenskih resursa, što je praktično nemoguće u realnom vremenu. Kao praktično rešenje se prepoznaje 'off-line' detaljna obrada podataka i određivanje optimalnog upravljanja, a potom njegova primena u realnom sistemu kada se prepozna situacija prema kojoj je ono i optimizovano.

2. POGODNOST MIKROSKOPSKE SAOBRAĆAJNE SIMULACIJE I PI INDEKSA KAO MERE KVALITETA

Već duže vremena je u struci sazrelo shvatanje da je saobraćajna simulacija izrazito praktičan i efikasan metod, ne samo proučavanja i eksperimentisanja na odgovarajućem saobraćajnom modelu, nego i kao ključna komponenta sistema operativnog upravljanja u realnom vremenu. Izrada saobraćajnog modela visokog nivoa verodostojnosti (u saglasnosti sa realnim sistemom u velikom broju relevantnih karakteristika) omogućuje da se pre svega kvalitet saobraćajnog procesa detaljno i efikasno vrednuje, ali i da se konkurentna upravljačka rešenja, nad istim saobraćajnim zadatkom, porede i rangiraju po efikasnosti.

Pokazatelji efikasnosti upravljanja sistema svetlosne signalizacije se tradicionalno sažeto predstavljaju PI indeksom (*Performance Index*), kao jedinstvenom kvalitativnom merom efikasnosti. Performans indeks je po pravilu linearna kombinacija vremenskih gubitaka i broja zaustavljanja, a opciono mogu biti uključeni i dužine redova pred signalima, potrošnja goriva i neki drugi energetski ili ekološki pokazatelji. Koliko je PI pokazatelj u načelu univerzalan po svojoj matematičkoj formulaciji, toliko je i fleksibilan, prilagodljivo lokalnim ili individualnim preferencama različitih sredina, aktuelnih društveno-ekonomskih scenarija, opredeljenja pojedinačnih korisnika. To se postiže prvenstveno odabirom pokazatelja efikasnosti koji učestvuju u izračunavanju jedinstvenog PI kvalifikatora i težinskim faktorima (faktorima značajnosti) koji se pridodaju pojedinim elementima i time kontroliše nivo njihovog uticaja na PI.

Kada se spoje na jednoj strani VISSIM kao izrazito kvalitetan simulacioni alat velike upotrebne vrednosti i njegova sposobnost da za alternativne upravljačke kombinacije proizvede međusobno uporedive PI kvalifikatore efikasnosti, onda je na raspolaganju vrlo

efikasan sistem za formulaciju jednog celovitog i operativno održivog pristupa naprednom upravljanju svetlosnim signalima.

3. OFF LINE OPTIMIZACIJA UPRAVLJAČKOG REŠENJA

Upravljački pristup se u načelu sastoji od 'off line' detaljne optimizacije upravljanja i 'on line' segmenta odabira raspoloživih optimizovanih rešenja da adekvatno odgovore trenutnom saobraćajnom zahtevu. U 'off line' segmentu se vrši optimizacija upravljanja saobraćajem na osnovu detaljnih podataka o saobraćajnom zahtevu, primenom neke od naprednih matematičkih metoda iz domena veštačke inteligencije.

Jedna od naprednih tehnika veštačke inteligencije (primenjena u „Retime“ konceptu), kojom se efikasno pronalaze optimalna rešenja složenih problema ma koje prirode, pa i upravljanja saobraćajem, jesu genetski algoritmi (*Genetic Algorithms*). Genetski algoritmi (GA) podražavaju prirodni proces evolucionog unapređenja populacije posredstvom pozitivne selekcije i stalnog unapređenja, iz generacije u generaciju, genetskog materijala populacije.

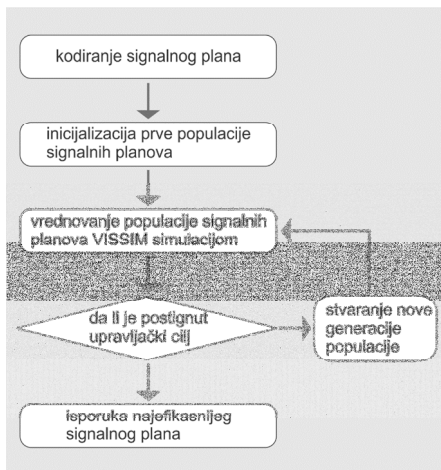
Radi se o tehnici stohastičkog generisanja, a potom i pretraživanja širokog spektra potencijalnih rešenja predmetnog upravljačkog zadatka. U tom procesu, GA vrednuju i prepoznaju rešenja koja su kvalitetnija od ostalih, a potom formiraju i umnožavaju sledeće generacije rešenja stohastičkim kombinovanjem genetskog materijala superiornih jedinki iz prethodne generacije. Višestrukim ponavljanjem navedenog procesa dolazi se (u poodmakloj fazi evolucionog procesa) do velikog broja kvalitetnih rešenja, koja su rezultat iterativnog unapređivanja prethodnih populacija.

U slučaju kompleksnih sistema upravljanja saobraćajem objekat GA optimizacije su signalni planovi, koji svojom kompleksnom strukturom na kontrolisanom delu saobraćajne mreže i za određenu konfiguraciju saobraćajnog zahteva obezbeđuju povoljne upravljačke rezultate. Upravljački rezultat se kvantifikuje vrednošću PI, ili drugim sličnim indikatorima, gde manja vrednost PI-a predstavlja bolje saobraćajno rešenje tj. ono koje dovodi do manje vrmenskih gubitaka i manjeg broja zaustavljanja.

Budući da se u samoj proceduri pretrage barata velikim brojem rešenja koja se vrednovuju, međusobno porede i dalje obrađuju, sam čin vrednovanja postaje veoma složena karika u lancu neophodnih aktivnosti, koji zahteva angažovanje velikih računarskih resursa, koji opet zahtevaju i znatno vreme za optimizaciju.

Moćna računarska tehnologija doprinosi znatnom vremenskom komprimovanju procesa veštačke inteligencije, ali vreme i dalje ostaje kritičan resurs procedure. Iz praktičnih razloga, potrebno je ograničiti evolutivni proces unapređenja rešenja kada se ustanovi da unapređenje dostignuto u poslednjih nekoliko generacije dovoljno (proces konvergira). Do navedene mere se najčešće dolazi iskustveno, kroz niz eksperimenata koji se sprovode pod kontrolisanim okolnostima.

Kada se primeni na problematiku optimizacije upravljanja saobraćajem, scenario realizacije procesa nalikuje narednom, u cilju boljeg razumevanja, pojednostavljenom primeru (Slika 1).



Slika 1: Proces optimizacije GA tehnikom

Početni korak optimizacione procedure kreće od populacije upravljačkih rešenja koja se proizvoljno formuliše, ali bazira na jednom početnom solidnom rešenju (npr. signalni planovi sa terena). Kako se procedura odvija tako se ta populacija unapređuje. Nakon većeg broja iteracija najbolje rešenje, koje se prenosi 'sa kolena na koleno', će biti unapređeno do zavidnog nivoa, kome čak ni nekvalitetno inicijalno rešenje ne mora biti smetnja.

Upravljačko rešenje se sastoji od skupa signalnih planova koji se primenjuju nad svetlosnim signalima koji kontrolišu ogovarajuću saobraćajnu mrežu/ zonu. Osnovni parametri signalnih planova, koji ih dominantno određuju, su dužina ciklusa, preraspodela zelenih intervala na konkurentna signalna stanja, i fazni pomak među signalima različitih raskrsnica (*offset*).

Najpre se vrši kodiranje signalnih planova, njihovom odgovarajućom matematičkom formulacijom koja omogućuje obradivost iste tokom GA procedure. Jedan od značajnijih komponentata ove faze rada jeste prevođenje vrednosti elemenata signalnih planova u pogodniji format (npr. binarni kod), čime oni privremeno gube svoj originalni smisao ali dobijaju praktičniju matematičku interpretaciju koja ih čini pogodnim za daljnju efikasnu masovnu obradu.

U sledećem koraku procedure vrši se generisanje inicijalne populacije (umnožavanje skupine signalnih planova) koja nastaje stohastičkom kombinatorikom, permutacijama, mutacijom i drugim od brojnih matematičkih i statističkih operacijam kojima se postiže da se od polazne skupine signalnih planova na stohastičkoj osnovi razvije čitava populacija novih signalnih planova (Slika 2).



Slika 2: Primeri permutacije i mutacije genetskog koda prethodne generacije populacije

U sledećem koraku se vrši vrednovanje kvaliteta svake od jedinki inicijalne populacije signalnih planova, kako bi se za svaku od njih u odnosu na referentnu saobraćajnu sliku odredio stepen uspešnosti dostizanja ciljne, tzv. *Fitness*, funkcije. Vrednovanje se vrši u okviru saobraćajne simulacije u VISSIM softveru, za svako od rešenja (set signalnih

panova) koje pripada aktuelnoj populaciji, a pripadajući PI indeksi omogućuju prepoznavanje efikasnosti različitih signalnih planova.

Prirodno je očekivati da se nakon prve iteracije, pa i nakon većeg broja početnih iteracija, ne mogu dostići optimizaciona rešenja višeg nivoa efikasnosti, jer su polazne osnove neoptimalne i sa velikom disperzijom parametara unutar različitih jedinki iste populacije (signanih planova). Zato se nakon vrednovanja i simulacijom određenih nivoa PI indeksa pristupa stvaranju populacije sledeće generacije signalnih planova. Ona se stvara kombinovanjem najkvalitetnijih jedinki aktuelne populacije i prenose u sledeću generaciju (jedinke sa boljom uspešnošću u gravitiranju ka funkciji cilja), dok se najlošije jedinke aktuelne generacije odbacuju.

Kada se posredstvom tehnike GA dođe do kvalitetnog upravljačkog rešenja za saobraćajnu sliku tretirane saobraćajne mreže, onda se proizvedeno rešenje smatra optimalnim. To ne znači da je i automatski primenljivo nad saobraćajnim procesom u realnom vremenu. Ono je dobijeno za određenu kombinaciju ulaznih parametara procesa i ima smisla primeniti ga u uslovima iste ili slične saobraćajne slike. Za brojne druge kombinacije uslova saobraćajapotrebnost je istom GA procedurom proizvesti odgovarajuće optimalno upravljačko rešenje (signalne planove).

Kada se za veći broj relevantnih saobraćajnih slika, periodično ponovljivih u stvarnosti, formira velika baza podataka optimalnih signalnih planova, onda je sledeći korak u implementaciji sistema prepoznavanje aktuelnih saobraćajnih slika/uslova i automatsko aktiviranje odgovarajućih signalnih planova na njih.

4. PRIMENA FUZZY LOGIKE ZA ODBIR SIGNALNOG PLANA ZA IMPLEMENTACIJU

U okviru druge faze realizacije predmetnog inteligentnog *plan selection* modela implementacije optimalnih signalnih planova na mreži svetlosnih signala, obezbeđuje se u realnom vremenu izbor konkretnog signalnog plana iz seta optimiziranih planova za određenu saobraćajnu sliku, za izvršenje u signalnim kontrolerima na uličnoj mreži. S obzirom na matematičku složenost ove aktivnosti, ponovo se kao celishodna pokazuje primena jedne od tehnike iz domena veštačke inteligencije – *fuzzy* logike. Pojednostavljenim primerom će biti prikazana njena realizacija.

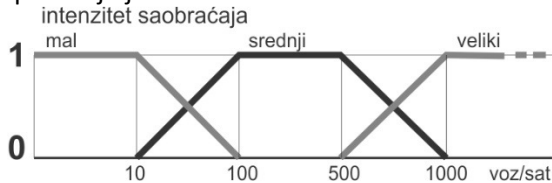
Rezultat optimizacione procedure primenom tehnike genetskih algoritama su grupe optimiziranih signalnih planova za različite karakteristične saobraćajne slike razmatrane saobraćajne mreže. Pretpostavimo da su tokom razmatranog radnog dana odabrane/prepoznate četiri karakteristične saobraćajne slike koje predstavljaju međusobno znatno različite realizacije realnog saobraćajnog procesa na uličnoj mreži: (1) jutarnji vršni, (2) podnevni vanvršni, (3) popodnevni vršni i (4) noćni saobraćajni zahtev. Za njih su u okviru „Retime“ sekcije modela definisane četiri grupe optimalnih signalnih planova GP_1 , GP_2 , GP_3 i GP_4 .

Svaka od grupa signalnih planova sadrži set optimalnih signalnih planova za jednu od karakterističnih saobraćajnih slika (SP_1, SP_2, \dots, SP_n). Neka je $n=3$, odnosno da svaki od setova čine po tri signalna plana međusobno neznatno različite dužina ciklusa $GP_x = \{SP_k, SP_s, SP_d\}$, gde su ciklusi označeni uslovno kao „kratki“, „srednji“ i „dugi“ (respektivno „k“, „s“, „d“).

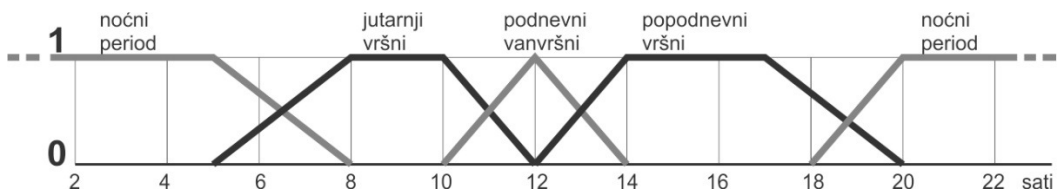
Na saobraćajnoj mreži su postavljeni strateški detektori koji su namenjeni prepoznavanju aktuelne saobraćajne slike (među slikama koje sistem čuva u biblioteci

prethodno već GA tehnikom obrađenih). Na osnovu njihovih detekcija strateških detektora sistem određuje koja grupa signalnih planova je najizglednija kao odgovarajuća za prepoznati saobraćajni zahtev. Set merodavnih detekcija strateških detektora za svaku od karakteristične 4 dnevne saobraćajne slike označen je sa D_1 , D_3 , (u primeru svedeno na prepoznavanje jutarnjeg i popodnevno vršnog saobraćajnog zahteva), a intenzitet detektovanog saobraćaja se kvalifikuje kao „mali“, „srednji“ i „veliki“ (fuzzy interpretacija na Slici 3).

Intervali trajanja karakterističnih dnevnih saobraćajnih zahteva (slika) po satima su $T_1=[8:00;10:00]$, $T_3=[12:00]$, $T_2=[14:00;17:00]$ i $T_4=[19:00;7:00]$, a njihova fuzzy interpretacija je na slici 4.



Slika 3: Fuzzy skup detektorskih informacija



Slika 4: Fuzzy skup dnevne raspodele karakterističnih saobraćajnih zahteva

Na osnovu priprermljenih podataka za fuzzy rezonovanje prelazi se na polje fuzzy relacija koje konvergiraju optimalnom izboru grupe izglednih signalnih planova GPx za pojedine vremenske i funkcionalne periode realizacije saobraćajnog procesa, a zatim i konkretnog signalnog plana SPx za neposrednu implementaciju u sistemu, na osnovu dodatnih informacija o karakteru zahteva.

Na osnovu kombinovanja definisanih fuzzy skupova pripadnosti vremenskim okvirima očekivane dnevne raspodele saobraćajnog zahteva i pripadnosti detekcija sa strateških detektora različitim nivoima intenziteta saobraćaja, za šta se koriste detektorske informacije namenjen „prepoznavanju“ jutarnjeg i popodnevno vršnog saobraćajnog zahteva, vrši se izbor odgovarajuće grupe signalnih planova GPx (Slika 5). U situaciji kada oba detektora (D_1 i D_3) detektuju visok intenzitet saobraćajnog zahteva („v“), navedena fuzzy relacija ne nudi rešenje, nego se sistem opredeljuje za reakciju samo na osnovu statističke (karakteristične) vremenske raspodele zahteva.

	D_1			
D_3		m	s	v
m		GP4	GP1	GP1
s		Gp3	Gp2	GP1
v		Gp3	Gp3	///

Slika 5: Fuzzy relacije za izbor pripadajuće grupe signalnih planova

Kada je *fuzzy* sistem usmerio proces/ odnosno odredio grupu signalnih planova koji su u prethodnoj GA proceduri optimizacije generisani kao kvalitetan odgovor upravljačkog sistema na aktuelnu saobraćajnu sliku, potrebno je na osnovu dodatnih pokazatelja tekućeg saobraćajnog procesa opredeliti se za konkretan signalni plan SPx koji će posredstvom kontrolera biti na uličnoj mreži implementiran. U primeru je odabrana kombinacija trajanja detektorskog zauzeća i referentne brzine saobraćajnog toka u realnom vremenu kao polazište za relaciju izbora konkretnog signalnog plana iz GP grupe planova.

Fuzzy skupovi detektorskog zauzeća i referentnih brzina saobraćajnog toka prikazani su na Slici 6.



Slika 6: Fuzzy skup detektovanih parametara saobraćaja za 'fine tuning' aktuelne saobraćajne slike

Fuzzy realizacija izbora konkretnog signalnog plana koji će zameniti (po potrebi) onaj koji se trenutno izvršava na predmetnoj saobraćajnoj mreži vrši se na osnovu ukrštanja *fuzzy* kvalifikacija detektovanih pokazatelja saobraćajnog toka: fdz (detektorskog zauzeća) i fb (brzine toka). Akcija koja sledi realizaciju izbora je zamena signalnog plana „na terenu“ nekim od optimalnih planova iz iste grupe signalnoih planova (SPk – „kratak ciklus“, SPs – „srednji“ ili SPd – „dugačak“).

fdz \ fb	m	s	v
m	///	SPs	SPd
s	///	///	///
v	GPk	GPk	n/a

Slika 7: Fuzzy relacije za izbor najboljeg signalnog plana iz grupe optimalnih za implementaciju

Za polja relacije gde se ne navodi naredni signalni plan (SP) za implementaciju imaju kao „značenje“ da se nastavlja izvršenje postojećeg signalnog plana.

Faza procesa izbora signalnog plana zasnovana na *fuzzy* logici ne završava defazifikacijom, jer se rešenja prepoznaju u setu diskretizovanih opcija, koje u sebi obuhvataju optimizirane signalne planove za svaku od raskrsnica predmetne saobraćajne mreže.

LITERATURA:

[1] Stevanovic, A., Stevanovic, J. and Martin, T. P., (2006), Optimization of Pre-Timed Signal Timing Plans Using Genetic Algorithms in VISSIM; PTV Users Group Meeting,

[2] Stevanovic, A., Kergaye, K. and Kaiser, E., (2012), Field evaluation of signal timings developed by a stochastic signal optimizational tool, Put i saobraćaj, 1/2012, str. 5-11,

[3] Subašić, Pero, (1997), Fazi logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, Beograd.

SUMMARY:

ADVANCED PLAN SELECTION SYSTEM BASED ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Advanced traffic management systems on the street network, relying on the great potential of information and communication technologies. Along with already traditional analytical models of traffic management optimization in complex conditions, options based on complex and reliable traffic simulation are appearing more and more often as a more operational and efficient approach. The "Retime" concept of optimizing traffic management on a complex traffic network moves the massive work of optimizing traffic demand data from real time to the off-line work. By using the GA technique of artificial intelligence, and by reconstructing the traffic process on the VISSIM simulation model, a large number of probable traffic scenarios are formed, analyzed in detail, evaluated and optimized. Based of strategically located detectors in the real system, the current traffic picture is permanently recognized. The system communicates with a data library of optimal signal plans already prepared in detail for recognized traffic signals, and the fuzzy logic is applied as an effective tool for determining the specific signal plan that will be implemented in real time.

Key words: optimal management, plan selection, genetic algorithms, fuzzy logic