Predlog projekta

Optimizacija rada svetlosnih signala na izolovanoj raskrsnici primenom heurističkih algoritama

Sažetak

Cilj ovog rada je bilo razvijanje metoda za optimizaciju svetlosnih signala na izolovanoj raskrsnici. Metode su bazirane na heurističkim algoritmima: gravitacioni pretraživački algoritam (GSA) i optimizacija rojem čestica (PSO). U prvom delu rada data je formulacija problema optimizacije, kao i opis korišćenih algoritama. Oba algoritma su implementirana u razvojnom okruženju Visual Studio Code u programskom jeziku Python. Optimizacija je izvršena na osnovu proračuna fitness funkcije koja minimizuje prosečne vremenske gubitke svih vozila u raskrsnici. Metode su testirane na hipotetičkim primerima iz literature i na primeru realne raskrsnice. Dobijeni rezultati pokazuju da je PSO uspeo da nađe iste ili bolje signalne planove za skoro sve test primere, u odnosu na algoritam kolonije pčela iz literature. Komparacijom primenjenih metoda, GSA je dao najlošije rezultate. Ipak, u poslednjem test primeru GSA je uspeo da nađe bolji signalni plan od postojećeg signalnog plana raskrsnice.

Traffic Signal Timing Optimization for Isolated Intersections Based on Heuristic Algorithms

The purpose of this paper is the development of a methods for the traffic signal timing optimization for isolated intersection. The methods are based on heuristic algorithms: gravitational search algorithm (GSA) and particle swarm optimization (PSO).

The authors developed an algorithm that optimizes the control parameters (cycle time and the distribution of green time on the control phases) in case of undersaturated and oversaturated flows at the intersection.

Signal timing optimization is an important measure to reduce traffic congestion, exhaust gas emissions and improve traffic safety. This paper presents application of gravitational search algorithm (GSA) and particle swarm optimization (PSO) to solve the traffic signal timing optimization for isolated intersection. The control mode of traffic intersection is fixed time control, where traffic flows are served by being divided into a number of phases. Proposed heuristic algorithms were developed to optimize the control parameters (cycle length and the distribution of green time on the phases) in two cases: undersaturated and oversaturated flows at the intersection. The fitness function of this model is to minimize the total average control delay of all vehicles that pass an intersection at the certain period, with constraint. The method was developed in Visual Studio Code IDE, using the Python programming language. The testing has been done on three hypothetical examples with different saturation of traffic flows (figure). Also, the model is tested on a real intersection in Belgrade (figure). Simulation results for hypothetical examples showed that the PSO algorithm provides same solution compared to the bee colony optimization algorithm (BCO) from literature. GSA algorithm gave worse results than PSO. The solutions stemmed from the PSO, give less value of fitness function compared to those that comes from the BCO and GSA algorithms, for real test intersection.

Raskrsnica u fiksnom rezimu rada

fixed time control of traffic intersections

Proposed heuristic algorithm was developed in Visual Studio Code IDE, using the Python programming language.

Proposed algorithm has been tested on the standard IEEE 30 bus test system with different objectives that reflect fuel cost minimization of generato

Uvod

Pod pojmom saobraćajni tok se podrazumeva istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. U saobraćajnoj mreži, mesto konflikta između saobraćajnih tokova, koji dolaze sa dva ili više različitih smerova je raskrsnica. Organizacija saobraćajnih tokova se može izvršiti generisanjem signalnog plana raskrsnice s ciljem poboljšanja uslova odvijanja saobraćaja (manja vremena putovanja, potrošnja goriva, zagađenje vazduha itd). Iznalaženje upravljačkih parametara signalnog plana na izolovanoj raskrsnici predstavlja optimizacioni problem koji je predmet mnogih istraživanja. Neki od pristupa za upravljanje radom svetlosnih signala raskrsnice su zasnovani na heurističkim i optimizacionim metodama, kao što su *Differential Evolution Bacteria Foraging Algorithm* () I *Bee Colony Optimization* (). U drugom radu (), ovaj problem je rešavan hibridnim algoritmom neuronskih mreža i fazi logike.

A screenshot of a cell phone

Description automatically generatedPostoje dva generalna načina upravljanja saobraćajnim tokovima: upravljanje u fiksnom režimu rada i upravljanje u realnom vremenu. U ovom radu razmatran je problem optimizacije trajanja svetlosnih signala izolovane raskrsnice u fiksnom režimu rada. U slučaju fiksnog režima rada raskrsnice, saobraćajni tokovi se grupišu u određeni broj faza. Svakoj fazi se dodeljuje određeni interval vremena za opsluživanje vozila. Vreme koje protekne između dva uzastopna početka iste faze je ciklus (slika 1). [2] Cilj ovog rada je razvijanje metoda za optimizaciju upravljačkih parametara na raskrsnici - ciklus i raspodelu zelenog vremena po fazama - tako da se minimiziraju ukupni prosečni vremenski gubici svih vozila koja prolaze raskrsnicom, u toku određenog perioda analize. Implementirana su dva heuristička algoritma: gravitacioni pretraživački algoritam i optimizacija rojem čestica.

Slika 1. Upravljanje raskrsnicom sa dve faze

Izmenjena je njihova strategija pretraživanja novih rešenja, kako bi se ispunili određeni uslovi I ograničenja navedeni u sledećem poglavlju. koja podrazumeva nalaženje sledeće brzine i pozicije agenta na osnovu njegove trenutne brzine, ubrzanja i pozicije.

Prvi se zasniva na gravitacionom preraživačkom algoritmu (engl. *Gravitational Search Algorithm*/GSA). Kod GSA, pretraživački agenti predstavljaju skup masa koje međusobno deluju po Njutnovom zakonu gravitacije, odnosno kreću se ka objektima većih masa. Performanse navedenih agenata se izražavaju njihovim masama, koje se određuju na osnovu vrednosti kriterijumske (*fitness*) funkcije. Svaki agent predstavlja jedno rešenje – signalni plan raskrsnice (vrednost ciklusa i raspodelu zelenog vremena po fazama). Tokom vremena, objekte manjih masa će privući objekat najveće mase koja predstavlja optimalno rešenje problema.

Drugi metod se zasniva na PCO algoritmu (engl. *Particle Swarm Optimization*) [4]. PSO se bazira na ponašanju pojedinačnih jedinki unutar određene grupe (npr. jata ptica). Potencijalna rešenja su položaji čestica (ptica) koje se kreću u prostoru pretraživanja. Čestice se opisuju svojim položajem u roju i u odnosu na susedne čestice, brzinom kretanja i informacijom o svom do tada najboljem položaju. Promenom položaja čestica tokom iterativnog procesa modelira se proces traženja najboljeg rešenja.

Testiranje navedenih metoda je izvršeno na numeričkim primerima, odnosno hipotetičkim raskrsnicama iz literature i na primeru realne raskrsnice u Beogradu.

Metod

Metod za rešavanje razmatranog problema se zasniva na heurističkim algoritmima. Predložena je implementacija dva modela koji će optimizovati signalni plan izolovane raskrsnice. Prvi se zasniva na gravitacionom preraživačkom algoritmu (engl. *Gravitational Search Algorithm*/GSA) [3].

Drugi metod se zasniva na PCO algoritmu (engl. *Particle Swarm Optimization*) [4]. PSO se bazira na ponašanju pojedinačnih jedinki unutar određene grupe (npr. jata ptica). Potencijalna rešenja su položaji čestica (ptica) koje se kreću u prostoru pretraživanja. Čestice se opisuju svojim položajem u roju i u odnosu na susedne čestice, brzinom kretanja i informacijom o svom do tada najboljem položaju. Promenom položaja čestica tokom iterativnog procesa modelira se proces traženja najboljeg rešenja.

Oba modela imaju iste ulazne podatke, a to su sledeće veličine: broj faza, raspored saobraćajnih traka po fazama, saobraćajni tokovi po trakama (q), zasićene vrednosti saobraćajnih tokova (s), izgubljeno vreme tokom ciklusa (L). Na osnovu njih bi se izvršila optimizacija signalnog plana izolovane raskrsnice, odnosno optimizacija upravljačkih parametara (vrednost ciklusa i raspodela zelenog vremena po fazama).

S obzirom na to da je predmet istraživanja signalisana raskrsnica u fiksnom režimu rada, poznati su saobraćajni tokovi na ulaznim granama mreže, istorijski podaci o raspodeli vozila po granama (za tokove pravo, levo i desno). Ovi podaci su preuzeti sa Saobraćajnog fakulteta i prikazani su u disertaciji [2].

Opis (formulacija optimizacionog) problema

Problem optimalnog trajanja ciklusa I zelenih vremena (ili određivanja optimalne vrednosti trajanja ciklusa i zelenih vremena) formulisan je u radu () I zasniva se na minimizaciji ukupnih prosečnih vremenskih gubitaka svih vozila koja prolaze raskrsnicom u određenom periodu analize. Kako bi se izvršio proračun efinisane su sledeće fizičke veličine

Određivanje optimalne vrednosti trajanja ciklusa i zelenih vremena zasniva se na minimizaciji ukupnih prosečnih vremenskih gubitaka svih vozila koja prolaze raskrsnicom u određenom period analize. Za potrebe matematičke formulacije ovog problema uvode se sledeće veličine (ref.):

F - skup faza;

K - skup svih saobraćajnih traka;

i - indeks saobraćajne trake, i=1,2,… |K|;

j - indeks faze, j=1,2,… |F|;

qi - saobraćajni tok u i-toj saobraćajnoj traci (voz/h);

si - zasićeni tok u i-toj saobraćajnoj traci (voz/h);

Xi - stepen zasićenja i-te saobraćajne trake;

ci - kapacitet i-te saobraćajne trake (voz/h);

T - trajanje perioda analize (h);

b - indeks perioda analize;

Qbi - inicijalni red vozila u i-toj saobraćajnoj traci na startu b-tog perioda analize (voz);

ti - vreme trajanja prezasićenosti (neopsluženih zahteva) u okviru vremena T u i-toj traci ili u i-toj grupi traka;

C - ciklus (s);

Cmin - minimalna vrednost ciklusa (s);

Cmax - maksimalna vrednost ciklusa (s);

L - izgubljeno vreme tokom ciklusa (s);

gi - zeleno vreme dodeljeno i-toj saobraćajnoj traci (s);

gj - zeleno vreme dodeljeno j-toj fazi (s); gmin - minimalna vrednost zelenog vremena (s);

gmax - maksimalna vrednost zelenog vremena (s);

di - prosečni vremenski gubici po vozilu u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz);

d1i - ujednačeni vremenski gubici („uniform delay”) po vozilu u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz);

d2i - postepeni vremenski gubici („incremental delay”) po vozilu u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz);

d3i - vremenski gubici usled postojanja inicijalnog reda, po vozilu, u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz);

di1\* - ujednačeni vremenski gubici („uniform delay”), u slučaju postojanja inicijalnog reda neopsluženih vozila u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz)

Optimizacioni problem je prikazan u radu () I formulisan je na sledeći način:

Minimizirati

Pod ograničenjima:

1. Cmin ≤ C ≤ Cmax
2. gmin ≤ gj ≤ gmax, ꓯj ∈ F
3. = C – L

Vrednost prosečnih vremenskih gubitaka, utvrđuje se narednim izrazom (ref Nikola Celar):

d = d1+d2+d3

U zavisnosti od stepena zasićenja X, saobraćajni tokovi mogu biti nezasićeni (Xi ≤1, ∀ i ∈ K) I prezasićeni (∃Xi > 1, ∀ i ∈ K), što određuje vrednosti veličina prikazanih u tabeli 1 (ref). Inicijalni red vozila Qb+1 i stepen zasićenja X definisani su kao (ref):

Xi = qi/ci

Qbi+1 = max(0, Qbi+ci\*T\*(Xi-1))

(dodati tabelu)

Ovaj nelinearni optimizacioni problem sa ograničenjima je rešavan primenom heurističkih algoritama, o kojima će biti reči u narednom poglavlju.

Opis korišćenih algoritama

Heurističke metode su tehnike koje generišu dobra ili približno optimalna rešenja u okviru razumnog vremena rada računara, bez mogućnosti da garantuju optimalnost ili da navedu koliko je određeno rešenje blizu optimalnosti.

Heuristički algoritmi su inspirisani fizičkim i biološkim procesima u prirodi. Neki od njih su gravitacioni pretraživački algoritam (GSA), koji se zasniva na Njutnovim zakonima gravitacije i kretanja, i optimizacija rojem čestica (PSO), inspirisan ponašanjem pojedinačnih jedinki unutar određene grupe (npr. jato ptica).

U radu () je predstavljen GSA, realtivno novi optimizacioni algoritam. Kod GSA, pretraživački agenti predstavljaju skup masa koje međusobno deluju po Njutnovom zakonu gravitacije, odnosno kreću se ka objektima većih masa. Performanse navedenih agenata se izražavaju njihovim masama, koje se određuju na osnovu vrednosti kriterijumske (fitness) funkcije. Svaki agent predstavlja jedno rešenje (– signalni plan raskrsnice (vrednost ciklusa i raspodelu zelenog vremena po fazama)). Tokom vremena, očekuje se da će objekte manjih masa privući objekat najveće mase. Ta masa će predstavljati optimalno rešenje u pretraživačkom prostoru.

GSA možemo posmatrati kao izolovani sistem sa N agenata (masa). Pozicija i-tog agenta je u tom slučaju definisana kao:

X x ,..., x ,..., x 1 = za i = 1,2,...,N

gde xd predstavlja poziciju i-tog agenta u d dimenziji.

Masa svakog agenta se dobija fitnes evaluacijom na sledeći način:

Gde fit(t) označava fitnes vrednost agenta i u iteraciji t. Za problem minimizacije best(t) i worst(t) su definisani kao:

Ukupna sila koja deluje na agenta i u dimenziji d u iteraciji t se na osnovu Njutnovog zakona gravitacije određuje na sledeći način:

gde je rj slučajan broj u intervalu [0,1] koji daje stohastički karakter pretrage ovom algoritmu. G(t) je gravitaciona konstanta u iteraciji t:

Mi(t) i Mj(t) su mase agenata i i j; ε je mala konstanta; Rij(t) Euklidova distanca između agenata i i j:

U skladu sa zakonom kretanja, ubrzanje agenta i u iteraciji t, u dimenziji d se određuje pomoću izraza:

Na osnovu trenutne brzine, ubrzanja i pozicije agenta, određuju se brzine i pozicije narednog agenta:

Nova populacija rešenja se određuje tako što se svaka čestica iz prethodne populacije „pomeri”.

Kriterijumska funkcija i ograničenja

Kriterijumsku funkciju ovog modela bi predstavljali ukupni prosečni gubici svih vozila koji prođu raskrsnicom u određenom periodu analize. Potrebno je minimizirati sledeću funkciju:

pri čemu su D - ukupni prosečni vremenski gubici svih vozila, koja prolaze raskrsnicom, u toku trajanja određenog perioda analize (s/voz); qi - saobraćajni tok u i-toj saobraćajnoj traci (voz/h); di - prosečni vremenski gubici po vozilu u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz).

di predstavlja zbir ujednačenih vremenskih gubitaka („uniform delay”) po vozilu u i-toj saobraćajnoj traci (s/voz) (d1i) i postepenih vremenskih gubitaka („incremental delay”) po vozilu i-toj saobraćajnoj traci (s/voz) (d2i) [2]:

di = d1i + d2i

[5]

Za potrebe matematičke formulacije ovog problema, potrebno je definisati sledeće veličine:

F -skup faza;

K - skup svih saobraćajnih traka;

i - indeks saobraćajne trake, i=1,2,… |K|;

j - indeks faze, j=1,2,… |F|;

si- zasićeni tok u i-toj saobraćajnoj traci (voz/h);

Xi - stepen zasićenja i-te saobraćajne trake;

ci - kapacitet i-te saobraćajne trake (voz/h);

**C - ciklus (s);**

**gi - zeleno vreme i-te saobraćajne trake ili grupe saobraćajnih traka (s);**

T - trajanje perioda analize (h);

Potrebno je postaviti tri ograničenja:

1. Cmin ≤ C ≤ Cmax, interval u kome se nalazi vrednost ciklusa; Cmin=30 sek, Cmax=120 sek;
2. gmin ≤ gj ≤ gmax, ꓯj ∈ F, interval u kome se nalaze zelena vremena dodeljena fazama; gmin=7 sek, gmax=80 sek;
3. = C – L, odnos ciklusa, zelenih vremena faza i izgubljenog vremena.

Eksperiment

S obzirom na to da je reč o signalisanoj raskrsnici u fiksnom režimu rada, poznati su saobraćajni tokovi na ulaznim granama mreže, istorijski podaci o raspodeli vozila po granama (za tokove pravo, levo i desno). Ovi podaci su preuzeti sa Saobraćajnog fakulteta i prikazani su u radu ().

Oba modela imaju iste ulazne podatke, a to su sledeće veličine: broj faza (F), raspored saobraćajnih traka po fazama, saobraćajni tokovi po trakama (q), zasićene vrednosti saobraćajnih tokova (s), izgubljeno vreme tokom ciklusa (L). Na osnovu njih bi se izvršila optimizacija signalnog plana izolovane raskrsnice, odnosno optimizacija upravljačkih parametara (vrednost ciklusa i raspodela zelenog vremena po fazama).

Proračun zasićenih tokova 58 je urađen prema metodi HCM 2000

za to podešavanje često ne postoje opšta pravila već se ono vrši na osnovu iskustva,

Algoritmi su implementirani u programskom okruženju Visual Studio Code u programskom jeziku Python. Za svakog od njih je definisana posebna funkcija sa istim parametrima: maksimalan broj iteracija, veličina populacije, dimenzija prostora pretraživanja i podaci o saobraćajnim tokovima na raskrsnici: broj faza (F), raspored saobraćajnih traka po fazama, saobraćajni tokovi po trakama (q), zasićene vrednosti saobraćajnih tokova (s), izgubljeno vreme tokom ciklusa (L), (indeks perioda analize (b)), inicijalni red vozila (Q) u saobraćajnoj traci (na startu b-tog perioda analize). Na osnovu navedenih ulaznih podataka izvršena je optimizacija upravljačkih parametara signalnog plana raskrsnice. Broj upravljačkih parametara u algoritmu definiše dimenziju agenta (rešenja). Za veličinu populacije N, položaj i-tog agenta je:

xi = (Ci,gi1,…,gif)

pri čemu je Ci vrednost ciklusa, dok su gi1,…,gif vrednosti zelenih vremena. U zavisnosti od broja faza, dimenzija pretraživačkog prostora d je: d = F + 1.

Proces optimizacije primenom GSA I PSO je prikazan na slic: (Koraci implementacije GSA I PSO su prikazani na slici)

* Definisanje ulaznih parametara
* Inicijalizacija (početne populacije veličine N)
* Fitnes evaluacija svakog agenta? (izracunavanje)
* Ažuriranje vrednosti: G(t) (27), best(t) (20), worst(t) (21), Mi(t) (18) za i=1,2,...,N.
* Izračunavanje ukupne sile u različitim pravcima
* Izračunavanje ubrzanja agenata
* Ažuriranje brzine i pozicije agenata
* Modifikacija pozicije agenata
* Ponavljanje koraka 3-11 sve dok se ne postigne maksimalni broj iteracija.

PSO

* Definisanje ulaznih parametara
* Inicijalizacija početne populacije veličine N
* Fitnes evaluacija svakog agenta? (izracunavanje)
* Ažuriranje (postavljanje) vrednosti globalne I lokalne najbolje pozicije?
* Ažuriranje brzine i pozicije agenata
* Modifikacija pozicije agenata
* Ponavljanje koraka 3-11 sve dok se ne postigne maksimalni broj iteracija.

Definisanje ulaznih parametara algoritma opisano je na samom početku poglavlja. Nakon toga sledi inicijalizacija. Za GSA su inicijalizovani sledeći kontrolni parametri: (). Za pso su vrednosti … . Takođe je izvršena inicijalizacija početne populacije. Najpre je generisana inicijalna vrednost ciklusa na slučajan način iz opsega [Cmin, Cmax], gde je Cmin = 30 I Cmax=120. Vrednost trajanja ciklusa raspoređeno je na faze sledećom formulom (Higway t analysis):

Gj = yj/Y (C-L)

Y = sum yj

yj = max(yi, za svaki tok i u fazi j)

yi = qi / si

Generisana rešenja, odnosno agenti, predstavljaju inicijalnu populaciju koja se modifikuje u narednim koracima. Za svakog agenta se vrši proračun fitnes vrednosti u skladu sa odabranom kriterijumskom funkcijom (), radi izračunavanja I ažuriranja gore navedenih vrednosti (). U sledećem koraku je u oba algoritma izvršena je modifikacija pozicije agenta, kako bi rešenje bilo u okviru ograničenja (). Ova modifikacija je prikazana pseudokodom:

(formula)… inicijalizacija parametara

U oba algoritma, izračunavanje I ažuriranje vrednosti je opisano u prethodnom poglavlju (za oba algoritma).

(I skup celih brojeva):…

Nakon ažuriranja brzine I pozicije agenta, dolazi do određenog pomeraja (razlika)

literatura dobijeni su sa “Katedre za planiranje i regulisanje saobraćaja”, Saobraćajnog fakulteta u Beogradu.

Koraci pri impl gsa I pso

Definisati ulazne podatke

Inicijalizaciju

Parameter

Proracuni su opisani u preth poglavlju

Modifikacija položaja agenta (cestica) – pseudo kod tj, Korekcija pozicije agenata

Izlaz – resenja, ukupni pros vrem gubici-vrednost fitnes fje, neopsluzeni tokovi

Test primeri

Tabelarni prikaz

Rezultati I diskusija

Korišćeni algoritmi su pokazali uspešnost u iznalaženju optimalnog signalnog plana izolovane raskrsnice. Dobijeni rezultati su poređeni sa rezultatima BCO algoritma iz rada () koji je testiran na istim hipotetičkim primerima.

Rezultati prvog test scenarija su prikazani u tabeli 1. Za drugu i teću fazu sva tri

Podaci su preuzeti iz literature i sa “Katedre za planiranje i regulisanje saobraćaja”, Saobraćajnog fakulteta u Beogradu i prikazani su u radu () kao četiri test primera.

Dalji rad

Dalji rad bi obuhvatao moguća unapređenja opisanih metoda, kao i primenu drugih metaheurističkih metoda na rešavanje opisanog problema. U procesu optimizacije je moguće uvesti nove kriterijumske funkcije koje bi vršile proračun vremenskih gubitaka pešaka, potrošnju goriva, troškove eksploatacije i slično. Metode za optimizaciju trajanja svetlosnih signala na izolovanoj raskrsnici bi se mogle primeniti na rešavanje problema optimizacije rada zone raskrsnica, odnosno saobraćajne mreže. Ovaj problem bi takođe mogao da bude predmet daljeg istraživanja.

U daljem istraživanju bi se mogla izvršiti višekriterijumska optimizacija signalnog plana raskrsnice, koja bi obuhvatala pešačke tokove

problem upravljanja izolovanom signalisanom raskrsnicu u fiksnom režimu rada.

razvijen višekriterijumski model optimizacije rada izolovane raskrsnice u okviru koga se traži kompromis između dve kriterijumske funkcije: vremenskih gubitaka vozila i vremenskih gubitaka pešaka.

Problem optimizacije rada zone raskrsnica

Test primeri i rezultati

Predloženi pristup će biti testiran na hipotetičkim primerima koji su preuzeti iz literature [2]. Razmatraće se raskrsnica sa 2, 3, 4, 5, ili 6 faza. U zavisnosti od broja faza, izvršiće se odabir izgubljenog vremena tokom ciklusa. Takođe će se izvršiti testiranje na realnoj raskrsnici u Beogradu (Kneza Miloša - Bulevar Kralja Aleksandra - Takovska). Dobijeni rezultati (signalni plan, prosečni vremenski gubici, broj neopsluženih vozila) će se uporediti sa rezultatima u radu [2] (BCO algoritam, komercijalni softver „HCS-Signals”, postojeće stanje).

Reference

[1] Liu, Q., & Xu, J. (2012). *Traffic Signal Timing Optimization for Isolated Intersections Based on Differential Evolution Bacteria Foraging Algorithm*

[2] Aleksandar D. Jovanović, *IZBOR SIGNALNIH PLANOVA ZA UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM PRIMENOM OPTIMIZACIJE KOLONIJOM PČELA*

[3] Esmat Rashedi, Hossein Nezamabadi-pour, Saeid Saryazdi, *GSA: A Gravitational Search Algorithm*

[4] J. Kennedy, R.C. Eberhart, Particle swarm optimization

[5] Manual, H.C., 2000. HCM 2000. Washington, *DC: Transportation Research Board*

Murat, S., 2006. Comparison of fuzzy logic and artificial neural networks approaches in vehicle delay modeling. Transportation Research Part C, 14(5), pp.316-334.

Dodati lb I ub u inicijalizaciji

X(t) = [X1,…Xn] populacija veličine n u iteraciji t

Xi = [Ci,g1i...gfi] pozicija itog agenta (resenja)

Za svaki agent u populaciji

For svako rešenje X u populaciji n do

For svaku poziciju j, j=1...d do

Izračunaj brzinu vj(t+1)

If j=1 do

C = X(1) //na prvoj poziciji je vrednost ciklusa

Izracunaj C(t+1) //određivanje nove vrednosti ciklusa

If C(t+1) > 120

C(t+1)=120

Else If C(t+1) < 30

C(t+1)=30

Razlika1 = C(t)-C(t+1)

//razlika izmedju stare i nove vrednosti ciklusa

Else:

g = X(j) //na pozicijama j>1 su vrednosti zelenih vremena

Izracunaj g(t+1) //određivanje nove vrednosti zelenog vremena

If g(t+1) > 80

g(t+1)=80

Else If g(t+1) < 7

g(t+1)=7

Razlika2 = g(t)-g(t+1)

//zbir svih razlika izmedju stare i nove vrednosti zelenog vremena

Razlika = abs(razlika1- razlika2)

If razlika1>razlika2 do

For svako zeleno vreme g u X do:

If 7<=g(t+1)+razlika<=80:

G(t+1) = g(t) + razlika

Razlika = 0

Break

If razlika nije 0 do

C(t+1) = C(t+1) – razlika

Elif razlika1<razlika2:

If 30<=C(t+1)+razlika<=120:

C(t+1) = C(t+1) + razlika

Else:

For svako zeleno vreme g u X do:

If razlika>g(t+1)-7:

Razlika=g(t+1)-7

g(t+1)=7

else:

g(t+1) = g(t+1) – razlika

razlika = 0

Break

If razlika nije 0 do

C(t+1) = C(t+1) + razlika

Korak 1: Definisanje ulaznih parametara

Korak 2: Inicijalizacija (početne populacije veličine N)

Korak 3: Izračunavanje fitness vrednosti svakog agenta

Korak 4: Ažuriranje vrednosti: G(t) (27), best(t) (20), worst(t) (21), Mi(t) (18) za i=1,2,...,N.

Korak 5: Izračunavanje ukupne sile u različitim pravcima

Korak 6: Izračunavanje ubrzanja agenata

Korak 7: Ažuriranje brzine i pozicije agenata

Korak 8: Modifikacija pozicije agenata

Korak 9: Ponavljanje koraka 3-8 sve dok se ne postigne maksimalni broj iteracija

Korak 1: Definisanje ulaznih parametara

Korak 2: Inicijalizacija početne populacije veličine N

Korak 3: Izračunavanje fitness vrednosti svake čestice

Korak 4: Postavljanje vrednosti globalne i lokalne najbolje pozicije

Korak 5: Ažuriranje brzine i pozicije čestica

Korak 6: Modifikacija pozicije čestica

Korak 7: Ponavljanje koraka 3-6 sve dok se ne postigne maksimalni broj iteracija