

# ŽIVA BIĆA KAO INSPIRACIJA ZA RAZVOJ ALGORITAMA

**Tatjana Davidović,**

Matematički institut SANU

Maj mesec matematike - 27. maj 2013.



# Sadržaj

- 1 Matematika u prirodi
- 2 Neuronske mreže
- 3 Genetski algoritmi
- 4 Mravlji algoritmi - optimizacija kolonijom mrava
- 5 Optimizacija kolonijom pčela



# Fibonačijevi brojevi

- Fibonačijev niz je niz kod koga je svaki član jednak zbiru prethodna dva:  $f(0) = 0$ ,  $f(1) = 1$ ,  $f(2) = f(0) + f(1) = 0 + 1 = 1$   
 $f(n) = f(n-1) + f(n-2)$ , ( $n \geq 2$ );

## The Fibonacci Sequence

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377...

$$1+1=2$$

$$1+2=3$$

$$2+3=5$$

$$3+5=8$$

$$5+8=13$$

$$8+13=21$$

$$13+21=34$$

$$21+34=55$$

$$34+55=89$$

$$55+89=144$$

$$89+144=233$$

$$144+233=377$$



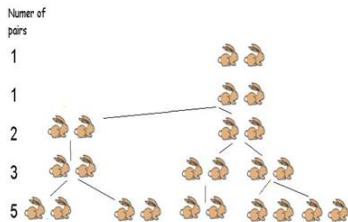
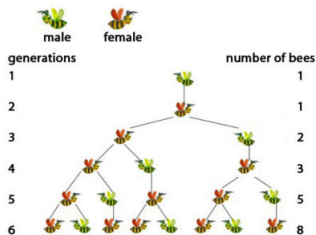
# Fibonačijevi brojevi

- Fibonačijev niz je niz kod koga je svaki član jednak zbiru prethodna dva:  $f(0) = 0$ ,  $f(1) = 1$ ,  $f(2) = f(0) + f(1) = 0 + 1 = 1$   
 $f(n) = f(n-1) + f(n-2)$ , ( $n \geq 2$ );
- Broj listova (latica) u raznim vrstama biljaka (cveća);



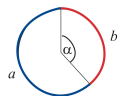
# Fibonačijevi brojevi

- Fibonačijev niz je niz kod koga je svaki član jednak zbiru prethodna dva:  $f(0) = 0$ ,  $f(1) = 1$ ,  $f(2) = f(0) + f(1) = 0 + 1 = 1$   
 $f(n) = f(n-1) + f(n-2)$ , ( $n \geq 2$ );
- Broj listova (latica) u raznim vrstama biljaka (cveća);
- Broj (parova) jedinki pčela i zečeva kroz generacije.



# Zlatni ugao, zlatni presek

- Zlatni ugao je ugao kod koga je odnos dužina malog i velikog luka isti kao odnos dužina velikog luka i cele kružnice. Vrednost mu je približno  $137.51^\circ$ , vrednost odnosa je koeficijent zlatnog preseka i iznosi (približno)  $1.61803399\dots$ ;



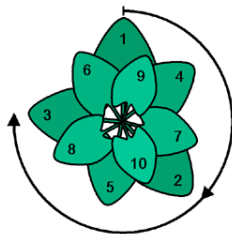
$$\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a} = 1.618\dots$$

$$\alpha = 137.51$$



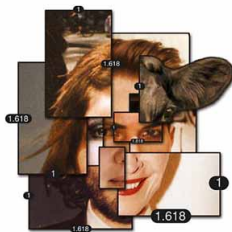
# Zlatni ugao, zlatni presek

- Zlatni ugao je ugao kod koga je odnos dužina malog i velikog luka isti kao odnos dužina velikog luka i cele kružnice. Vrednost mu je približno  $137.51^\circ$ , vrednost odnosa je koeficijent zlatnog preseka i iznosi (približno)  $1.61803399\dots$ ;
- Raspored listova na stabljici i latica u cvetu;



# Zlatni ugao, zlatni presek

- Zlatni ugao je ugao kod koga je odnos dužina malog i velikog luka isti kao odnos dužina velikog luka i cele kružnice. Vrednost mu je približno  $137.51^\circ$ , vrednost odnosa je koeficijent zlatnog preseka i iznosi (približno)  $1.61803399\dots$ ;
- Raspored listova na stabljici i latica u cvetu;
- Proporcije ljudskog lica i tela prate zakonitost zlatnog preseka...

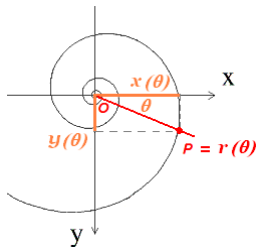




# Logaritamske krive

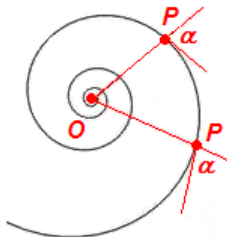
- Logaritamska spirala je kriva u ravni kod koje je ugao  $\theta$  između radijus vektora krive i odgovarajuće tangente konstantan. Njena jednačina u polarnim koordinatama glasi  $r = a e^{k\varphi}$  ( $k = \cot \theta$ );

$$\begin{cases} x(\theta) = r(\theta) \cos \theta \\ y(\theta) = r(\theta) \sin \theta \end{cases}$$



# Logaritamske krive

- Logaritamska spirala je kriva u ravni kod koje je ugao  $\theta$  između radijus vektora krive i odgovarajuće tangente konstantan. Njena jednačina u polarnim koordinatama glasi  $r = a e^{k\varphi}$  ( $k = \cot \theta$ );
- Spirala puževe kućice;



# Logaritamske krive

- Logaritamska spirala je kriva u ravni kod koje je ugao  $\theta$  između radijus vektora krive i odgovarajuće tangente konstantan. Njena jednačina u polarnim koordinatama glasi  $r = a e^{k\varphi}$  ( $k = \cot \theta$ );
- Spirala puževe kućice;
- Raspored semenki u glavi suncokreta i na šišarci.



# Fibonačijevi brojevi, zlatni ugao, logaritamske krive

- Javljaju se i u biljnom i u životinjskom svetu;



# Fibonačijevi brojevi, zlatni ugao, logaritamske krive

- Javljaju se i u biljnom i u životinjskom svetu;
- Često se javljaju i povezano:



# Fibonačijevi brojevi, zlatni ugao, logaritamske krive

- Javljaju se i u biljnom i u životinjskom svetu;
- Često se javljaju i povezano:
- Redosled pojavljivanja semenki u glavi suncokreta (raspoređenih po logaritamskim krivama) određen je zlatnim uglom, a broj spirala koje one formiraju uvek je jedan od elemenata Fibonačijevog niza;



# Fibonačijevi brojevi, zlatni ugao, logaritamske krive

- Javljaju se i u biljnom i u životinjskom svetu;
- Često se javljaju i povezano:
- Redosled pojavljivanja semenki u glavi suncokreta (raspoređenih po logaritamskim krivama) određen je zlatnim uglom, a broj spirala koje one formiraju uvek je jedan od elemenata Fibonačijevog niza;
- Zahvaljujući rasporedu latica koje prate zakonitost zlatnog ugla, njihov broj mora biti jedan od članova Fibonačijevog niza;



# Fibonačijevi brojevi, zlatni ugao, logaritamske krive

- Javljaju se i u biljnom i u životinjskom svetu;
- Često se javljaju i povezano:
- Redosled pojavljivanja semenki u glavi suncokreta (raspoređenih po logaritamskim krivama) određen je zlatnim uglom, a broj spirala koje one formiraju uvek je jedan od elemenata Fibonačijevog niza;
- Zahvaljujući rasporedu latica koje prate zakonitost zlatnog ugla, njihov broj mora biti jedan od članova Fibonačijevog niza;
- Narure and numbers:  
<http://www.youtube.com/watch?v=aGIo00KeFYg>
- Narure and numbers:  
<http://www.youtube.com/watch?v=NHAHHidWUcg>





# Priroda u matematici?

- Dakle, priroda je uvidela značaj matematike i iskoristila njene zakonitosti;



# Priroda u matematici?

- Dakle, priroda je uvidela značaj matematike i iskoristila njene zakonitosti;
- Da li matematika može da nauči i preuzme nešto iz prirode?



# Priroda u matematici?

- Dakle, priroda je uvidela značaj matematike i iskoristila njene zakonitosti;
- Da li matematika može da nauči i preuzme nešto iz prirode?
- U oblasti algoritama i optimizacije - DA!



# Priroda u matematici?

- Dakle, priroda je uvidela značaj matematike i iskoristila njene zakonitosti;
- Da li matematika može da nauči i preuzme nešto iz prirode?
- U oblasti algoritama i optimizacije - DA!
- Postoje algoritmi zasnovani na različitim prirodnim procesima: Simulirano kaljenje, kretanje elementarnih čestica, ...

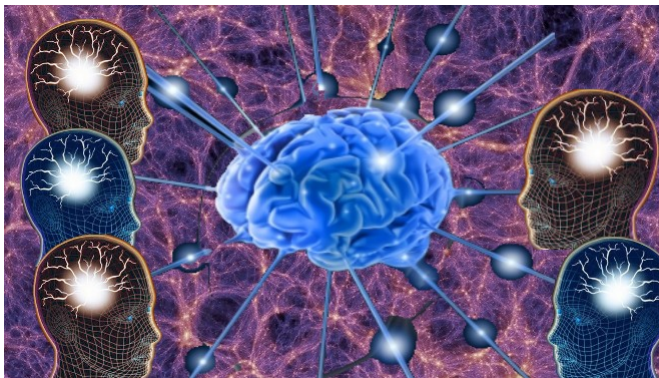


# Priroda u matematici?

- Dakle, priroda je uvidela značaj matematike i iskoristila njene zakonitosti;
- Da li matematika može da nauči i preuzme nešto iz prirode?
- U oblasti algoritama i optimizacije - DA!
- Postoje algoritmi zasnovani na različitim prirodnim procesima: Simulirano kaljenje, kretanje elementarnih čestica, ...
- Međutim, od posebnog značaja su oni koji oponašaju živa bića.

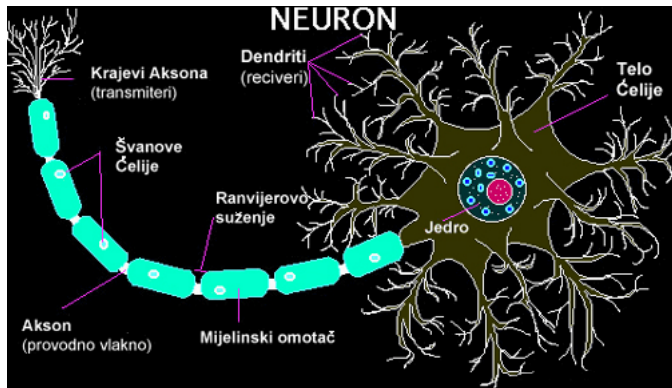


# Algoritmi zasnovani na funkcionisanju (ljudskog) mozga



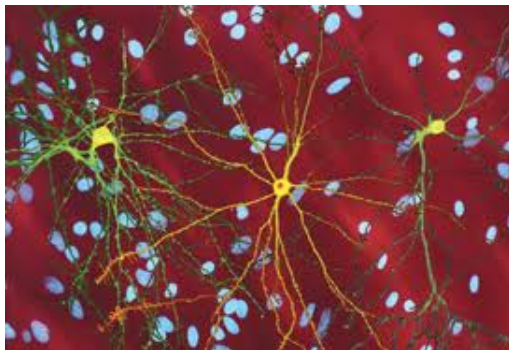
# Struktura (ljudskog) mozga

- Mozak se sastoji od ogromnog broja neurona;



# Struktura (ljudskog) mozga

- Mozak se sastoji od ogromnog broja neurona;
- Neuroni su povezani sinapsama;





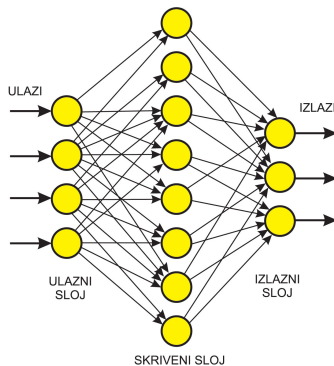
# Struktura (ljudskog) mozga

- Mozak se sastoji od ogromnog broja neurona;
- Neuroni su povezani sinapsama;
- Komuniciraju prenošenjem električnih impulsa.



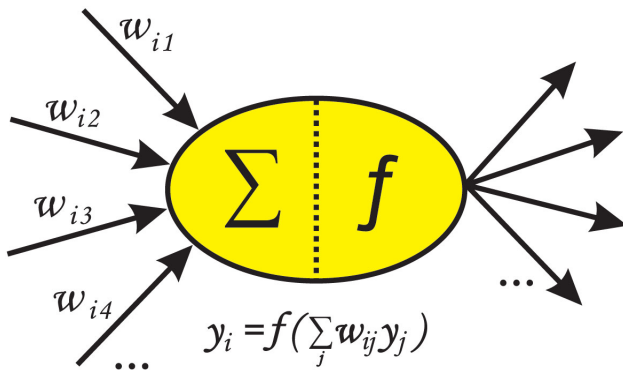
# Veštačke neuronske mreže

- Neuroni se ređaju u slojevima;



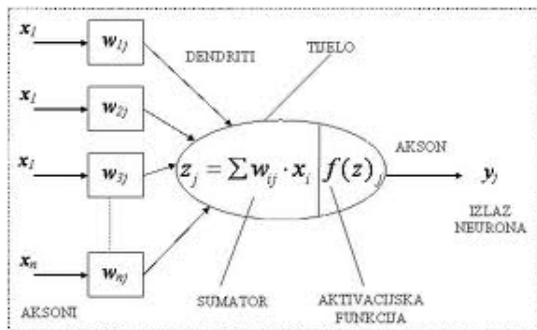
# Veštačke neuronske mreže

- Neuroni se ređaju u slojevima;
- U svakom neuronu formira se linearna kombinacija ulaznih veličina;



# Veštačke neuronske mreže

- Neuroni se ređaju u slojevima;
- U svakom neuronu formira se linearna kombinacija ulaznih veličina;
- Ako je veća od nekog zadatog praga šalje se odgovarajući izlaz neuronima iz sledećeg nivoa.



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;
- Na *primerima za učenje* podešavaju se vrednosti koeficijenata;





# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;
- Na *primerima za učenje* podešavaju se vrednosti koeficijenata;
- Na *test primerima* proverava se uspešnost učenja;



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;
- Na *primerima za učenje* podešavaju se vrednosti koeficijenata;
- Na *test primerima* proverava se uspešnost učenja;
- Proces obučavanja se ponavlja iterativno;



# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;
- Na *primerima za učenje* podešavaju se vrednosti koeficijenata;
- Na *test primerima* proverava se uspešnost učenja;
- Proces obučavanja se ponavlja iterativno;
- Pri tome se menja struktura skupova primera;

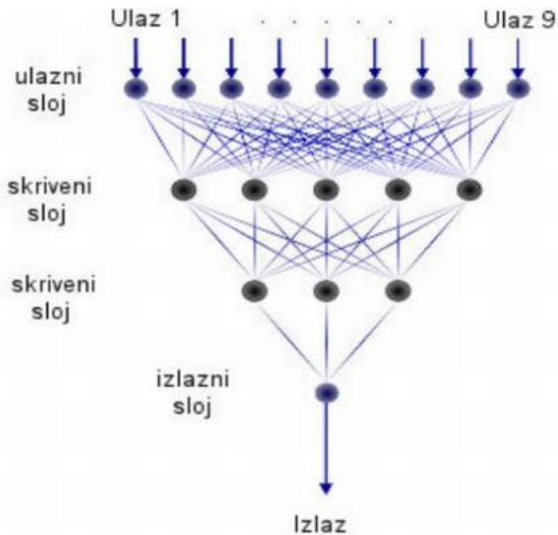


# Veštačke neuronske mreže

- Ulazi/izlazi su najčešće binarni;
- Pre korišćenja neuronske mreže se obučavaju;
- Polazni skup primera za obučavanje podeli se u dve grupe;
- Na *primerima za učenje* podešavaju se vrednosti koeficijenata;
- Na *test primerima* proverava se uspešnost učenja;
- Proces obučavanja se ponavlja iterativno;
- Pri tome se menja struktura skupova primera;
- **Najčešće se primenjuju za klasifikaciju.**



# Primer neuronske mreže



# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:



# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:
- Najsposobnije jedinke treba da ostave potomstvo;



# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:
- Najsposobnije jedinke treba da ostave potomstvo;
- Prenošnje najkvalitetnijeg genetskog materijala u narednu generaciju;





# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:
- Najспособnije jedinke treba da ostave potomstvo;
- Prenošenje najkvalitetnijeg genetskog materijala u narednu generaciju;
- Sposobnost prilagođavanja jedinki i preživljavanje u izmenjenim uslovima.



# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:
- Najспособnije jedinke treba da ostave potomstvo;
- Prenošenje najkvalitetnijeg genetskog materijala u narednu generaciju;
- Sposobnost prilagođavanja jedinki i preživljavanje u izmenjenim uslovima.
- Ali ....



# Borba za održanje vrste u prirodi

- Principi evolucije po Darwinu:
- Najспособnije jedinke treba da ostave potomstvo;
- Prenošenje najkvalitetnijeg genetskog materijala u narednu generaciju;
- Sposobnost prilagođavanja jedinki i preživljavanje u izmenjenim uslovima.
- Ali ....
- Ko treba da kaže koje su to NAJ jedinke?



# Prirodna selekcija

- Najšareniji?



# Prirodna selekcija

- Najglasniji?



# Prirodna selekcija

- Najveći?



# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;



# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;
- Svaka jedinka predstavlja jedno (kodirano) rešenje;





# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;
- Svaka jedinka predstavlja jedno (kodirano) rešenje;
- Na osnovu koda rešenja određuje se kvalitet rešenja i dodelje mu se *prilagođenost*;



# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;
- Svaka jedinka predstavlja jedno (kodirano) rešenje;
- Na osnovu koda rešenja određuje se kvalitet rešenja i dodelje mu se *prilagođenost*;
- Bolje prilagođene jedinke imaju veće šanse da utiču na stvaranje novih jedinki;



# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;
- Svaka jedinka predstavlja jedno (kodirano) rešenje;
- Na osnovu koda rešenja određuje se kvalitet rešenja i dodelje mu se *prilagođenost*;
- Bolje prilagođene jedinke imaju veće šanse da utiču na stvaranje novih jedinki;
- Populacija rešenja menja se iz generacije u generaciju;

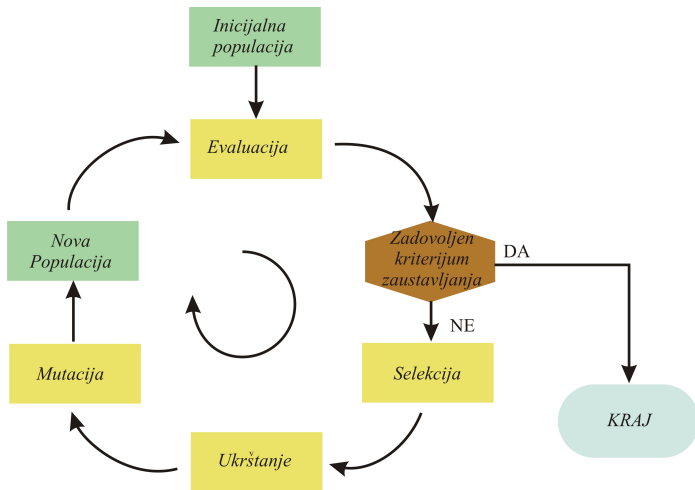


# Osnovna ideja genetskog algoritma

- Genetski algoritmi najčešće se koriste za optimizaciju;
- Svaka jedinka predstavlja jedno (kodirano) rešenje;
- Na osnovu koda rešenja određuje se kvalitet rešenja i dodelje mu se *prilagođenost*;
- Bolje prilagođene jedinke imaju veće šanse da utiču na stvaranje novih jedinki;
- Populacija rešenja menja se iz generacije u generaciju;
- Najbolje rešenje pronađeno u svim generacijama je konačno.



# Koraci genetskog algoritma



# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;



# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;
- Neugledni i bespomoćni pojedinci postaju ozbiljan protivnik kada se udruže;



# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;
- Neugledni i bespomoćni pojedinci postaju ozbiljan protivnik kada se udruže;
- Rade nad populacijom rešenja;





# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;
- Neugledni i bespomoćni pojedinci postaju ozbiljan protivnik kada se udruže;
- Rade nad populacijom rešenja;
- Akumuliraju inteligenciju grupe (roja) u kolektivnu inteligenciju;



# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;
- Neugledni i bespomoćni pojedinci postaju ozbiljan protivnik kada se udruže;
- Rade nad populacijom rešenja;
- Akumuliraju inteligenciju grupe (roja) u kolektivnu inteligenciju;
- Interakcijom i razmenom znanja između jedinki usmerava se pretraga ka boljim regionima;



# Algoritmi optimizacije inspirisani inteligencijom grupe

- Algoritmi zasnovani na prirodnoj potrebi jedinki da se organizuju u grupe;
- Neugledni i bespomoćni pojedinci postaju ozbiljan protivnik kada se udruže;
- Rade nad populacijom rešenja;
- Akumuliraju inteligenciju grupe (roja) u kolektivnu inteligenciju;
- Interakcijom i razmenom znanja između jedinki usmerava se pretraga ka boljim regionima;
- Najpoznatiji predstavnici:  
Optimizacija mravljim kolonijama (Ant Colony Optimization, ACO),  
optimizacija kolonijom pčela (Bee Colony Optimization, BCO),  
optimizacija rojevima čestica (Particle Swarm Optimization, PSO)



# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;



# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;
- Metoda je inspirisana ponašanjem mrava u potrazi za hranom;



# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;
- Metoda je inspirisana ponašanjem mrava u potrazi za hranom;
- Na putu ka izvoru hrane mravi ostavljaju feromone;



# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;
- Metoda je inspirisana ponašanjem mrava u potrazi za hranom;
- Na putu ka izvoru hrane mravi ostavljaju feromone;
- Veća količina feromona privlači druge mrave da krenu istim putem;



# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;
- Metoda je inspirisana ponašanjem mrava u potrazi za hranom;
- Na putu ka izvoru hrane mravi ostavljaju feromone;
- Veća količina feromona privlači druge mrave da krenu istim putem;
- Kao posledica toga, bliži izvor hrane posetiće više mrava;



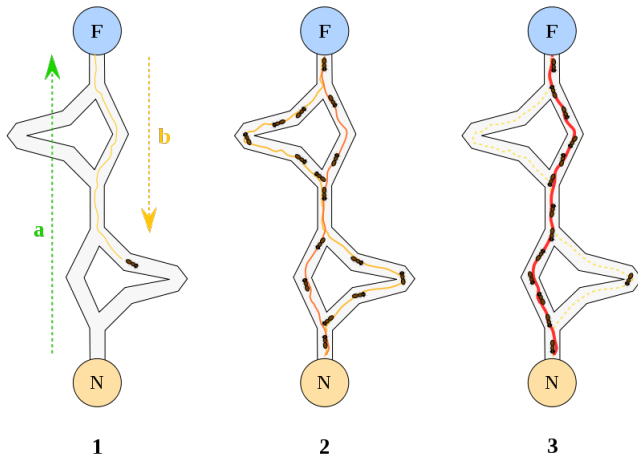


# Optimizacija mravljim kolonijama

- Predložili su je Stützle i Dorigo 1992. godine;
- Metoda je inspirisana ponašanjem mrava u potrazi za hranom;
- Na putu ka izvoru hrane mravi ostavljaju feromone;
- Veća količina feromona privlači druge mrave da krenu istim putem;
- Kao posledica toga, bliži izvor hrane posetiće više mrava;
- Na putu kojim mravi ređe prolaze feromoni isparavaju.



# Ilustracija kretanja mrava u potrazi za hranom



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;
- Osnovni parametar je broj mrava;



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;
- Osnovni parametar je broj mrava;
- Svaki mrav generiše po jedno rešenje slučajnim izborom komponenti na osnovu vrednosti feromona i heuristike koja definiše karakteristike problema;



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;
- Osnovni parametar je broj mrava;
- Svaki mrav generiše po jedno rešenje slučajnim izborom komponenti na osnovu vrednosti feromona i heuristike koja definiše karakteristike problema;
- Rešenja se porede i nalazi se najbolje među njima;



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;
- Osnovni parametar je broj mrava;
- Svaki mrav generiše po jedno rešenje slučajnim izborom komponenti na osnovu vrednosti feromona i heuristike koja definiše karakteristike problema;
- Rešenja se porede i nalazi se najbolje među njima;
- Vršiti se popravka rešenja primenom neke LS procedure (opciono);



# Optimizacija mravljim kolonijama: opis algoritma

- Algoritam je konstruktivan;
- Osnovni parametar je broj mrava;
- Svaki mrav generiše po jedno rešenje slučajnim izborom komponenti na osnovu vrednosti feromona i heuristike koja definiše karakteristike problema;
- Rešenja se porede i nalazi se najbolje među njima;
- Vršiti se popravka rešenja primenom neke LS procedure (opciono);
- **PRETHODNA DVA KORAKA MOGU DA ZAMENE MESTA**





## Opis algoritma (nastavak)

- Svim komponentama smanji se nivo feromona za koeficijent isparavanja (parametar);



## Opis algoritma (nastavak)

- Svim komponentama smanji se nivo feromona za koeficijent isparavanja (parametar);
- Komponentama koje pripadaju najboljem rešenju povećava se vrednost feromona;



## Opis algoritma (nastavak)

- Svim komponentama smanji se nivo feromona za koeficijent isparavanja (parametar);
- Komponentama koje pripadaju najboljem rešenju povećava se vrednost feromona;
- Pravila za ažuriranje vrednosti feromona mogu biti različita;



## Opis algoritma (nastavak)

- Svim komponentama smanji se nivo feromona za koeficijent isparavanja (parametar);
- Komponentama koje pripadaju najboljem rešenju povećava se vrednost feromona;
- Pravila za ažuriranje vrednosti feromona mogu biti različita;
- Granice za vrednost feromona i koeficijent povećanja su takođe parametri;



## Opis algoritma (nastavak)

- Svim komponentama smanji se nivo feromona za koeficijent isparavanja (parametar);
- Komponentama koje pripadaju najboljem rešenju povećava se vrednost feromona;
- Pravila za ažuriranje vrednosti feromona mogu biti različita;
- Granice za vrednost feromona i koeficijent povećanja su takođe parametri;
- Na kraju rada algoritma vraća se najbolje pronađeno rešenje.



# BCO: Biološke osnove

- Metoda inspirisana ponašanjem pčela u potrazi za hranom;



# BCO: Biološke osnove

- Metoda inspirisana ponašanjem pčela u potrazi za hranom;
- Predložili su je Lučić i Teodorović, 2001;



# BCO: Biološke osnove

- Metoda inspirisana ponašanjem pčela u potrazi za hranom;
- Predložili su je Lučić i Teodorović, 2001;
- Pčele u prirodi tragaju za hranom i donose uzorke nektara u košnicu;





# BCO: Biološke osnove

- Metoda inspirisana ponašanjem pčela u potrazi za hranom;
- Predložili su je Lučić i Teodorović, 2001;
- Pčele u prirodi tragaju za hranom i donose uzorke nektara u košnicu;
- U košnici se ispituje kvalitet donetog nektara;



# BCO: Biološke osnove

- Metoda inspirisana ponašanjem pčela u potrazi za hranom;
- Predložili su je Lučić i Teodorović, 2001;
- Pčele u prirodi tragaju za hranom i donose uzorke nektara u košnicu;
- U košnici se ispituje kvalitet donetog nektara;
- Kvalitetniji nektar reklamira se plesom odgovarajućih pčela kojim se ukazuje na pravac i daljinu njegovog izvora.



# Ilustracija ponašanja pčela u prirodi

(PceliceSaVirtuelnomKamerom.swf)



# BCO - Opis Algoritma

- Gradi/popravlja rešenja za svaku pčelu kroz iteracije (let unapred/let unazad, forward/backward pass);



# BCO - Opis Algoritma

- Gradi/popravlja rešenja za svaku pčelu kroz iteracije (let unapred/let unazad, forward/backward pass);
- Komunikacija između pčela podrazumeva razmenu informacija o kvalitetu (parcijalnih) rešanja:



# BCO - Opis Algoritma

- Gradi/popravlja rešenja za svaku pčelu kroz iteracije (let unapred/let unazad, forward/backward pass);
- Komunikacija između pčela podrazumeva razmenu informacija o kvalitetu (parcijalnih) rešanja:
- Na osnovu toga svaka pčela izvrši jednu od sledećih akcija:
  - 1 Nastavlja da dograđuje/modifikuje trenutno rešenje i privlači neopredeljene pčele da ga preuzmu (recruiter).
  - 2 Napušta svoje trenutno rešenje, postaje neopredeljena (uncommitted) i preuzima rešenje neke druge pčele.



# BCO - Opis Algoritma

- Gradi/popravlja rešenja za svaku pčelu kroz iteracije (let unapred/let unazad, forward/backward pass);
- Komunikacija između pčela podrazumeva razmenu informacija o kvalitetu (parcijalnih) rešanja:
- Na osnovu toga svaka pčela izvrši jednu od sledećih akcija:
  - 1 Nastavlja da dograđuje/modifikuje trenutno rešenje i privlači neopredeljene pčele da ga preuzmu (recruiter).
  - 2 Napušta svoje trenutno rešenje, postaje neopredeljena (uncommitted) i preuzima rešenje neke druge pčele.
- Najbolje dobijeno rešenje prijavljuje se korisniku kao konačno;



# BCO - Opis Algoritma

- Gradi/popravlja rešenja za svaku pčelu kroz iteracije (let unapred/let unazad, forward/backward pass);
- Komunikacija između pčela podrazumeva razmenu informacija o kvalitetu (parcijalnih) rešanja:
- Na osnovu toga svaka pčela izvrši jednu od sledećih akcija:
  - 1 Nastavlja da dograđuje/modifikuje trenutno rešenje i privlači neopredeljene pčele da ga preuzmu (recruiter).
  - 2 Napušta svoje trenutno rešenje, postaje neopredeljena (uncommitted) i preuzima rešenje neke druge pčele.
- Najbolje dobijeno rešenje prijavljuje se korisniku kao konačno;
- Parameteri:
  - 1  $B$  - broj pčela;
  - 2  $NC$  - broj koraka tokom jednog leta unapred/broj letova unapred.





# Ostali algoritmi zasnovani na ponašanju živih bića

- Drugi pčelinji algoritmi (pozicioniranje košnice, izbor partnera, ...);
- Drugi algoritmi zasnovani na kolonijama jedinki (bakterije, ptice, ribe,...);
- Veštački imuni sistemi;
- Ćelijski automati, izračunavanja zasnovana na propusnosti ćelijske membrane;
- Sistemi preživljavanja, epidemiologija, proces odumiranja;
- Razni evolutivni algoritmi...



Hvala na pažnji!

Pitanja?

