



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek



PRIMJENA METODA UMJETNE INTELIGENCIJE U ANALIZI OSJETLJIVOSTI

Izv. prof. dr. sc. Emmanuel Karlo Nyarko
(FERIT, Osijek)



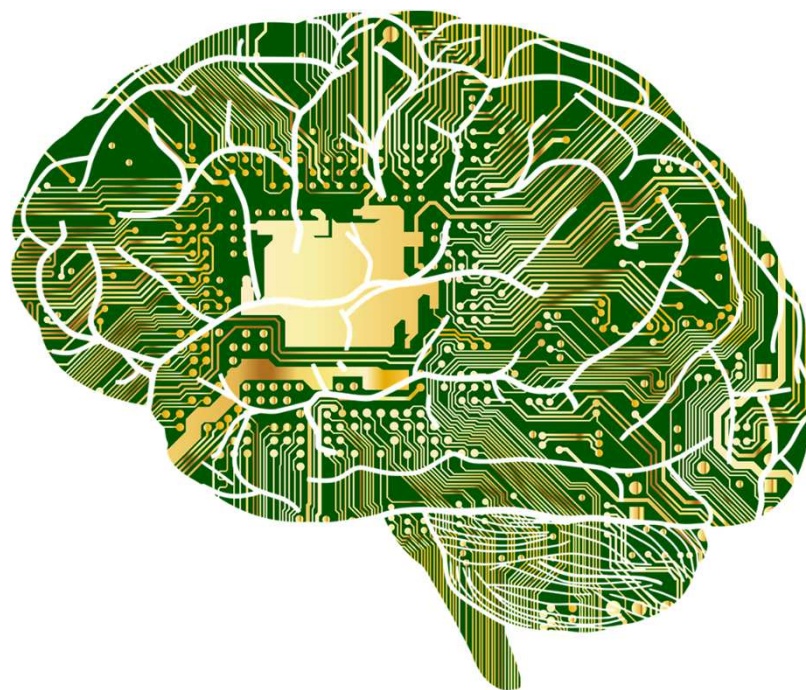
Zagreb, 09.11.2022.



SADRŽAJ

1. *Neuronske mreže – kratki uvod*
2. *Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti*
3. *Genetski algoritam – kratki uvod*
4. *Parametri armiranobetonskih okvirnih konstrukcija*

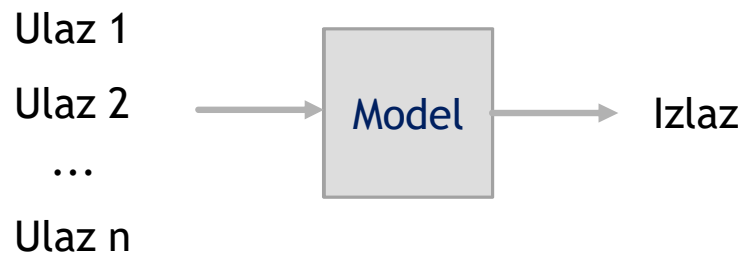
Neuronske mreže – kratki uvod



Neuronske mreže – kratki uvod

OPIS PROBLEMA

- ▶ Treba odrediti model na temelju izmjerenih podataka
 - ▶ (Modeliranje na temelju podataka)
- ▶ Model može imati više ulaznih veličina
- ▶ Model mora imati svojstvo generalizacije, tako da može ispravno odrediti vrijednost ili klasificirati nepoznati uzorak koji je po nekom svojstvu sličan poznatim uzorcima.



Neuronske mreže – kratki uvod

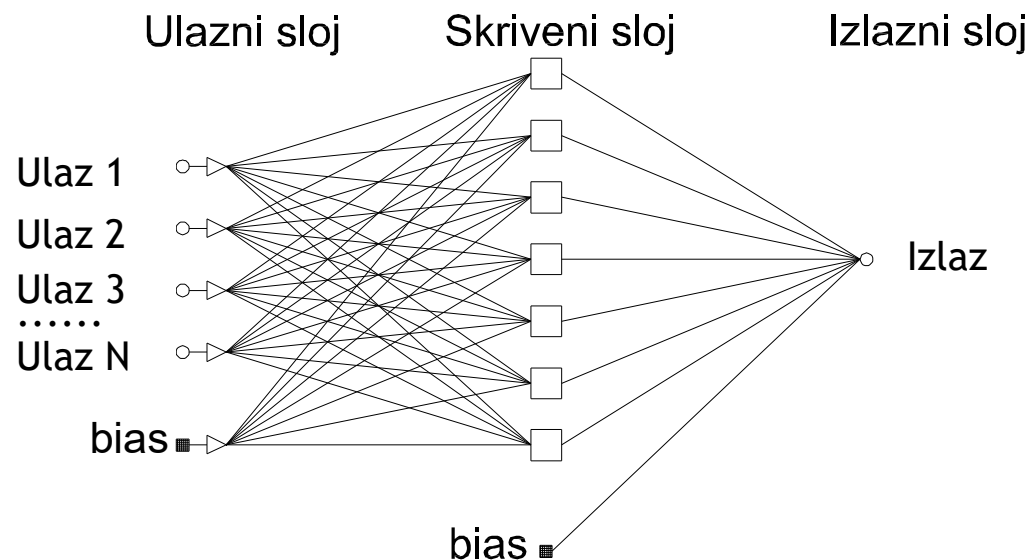
OPIS PROBLEMA – kako riješiti

- ▶ Jedan od načina je pomoću **neuronskih mreža**.
- ▶ Neuronska mreža je jedan od postupaka strojnog učenja (područje umjetne inteligencije)
- ▶ Neuronske se mreže primjenjuju pri rješavanju problema regresije i klasifikacije.
- ▶ **Jedno od važnijih svojstava neuronskih mreža je njihova sposobnost da uče na ograničenom skupu primjera.**
- ▶ Kada se govori o neuronskim mrežama, podrazumjevaju se u prvom redu “umjetne neuronske mreže” (engl. *Artificial Neural Networks* skraćeno *ANN*).
- ▶ Danas su neuronske mreže našle niz primjena:
 - ▶ Raspoznavanje znakova teksta (i analiza slika)
 - ▶ Prepoznavanje govora
 - ▶ Medicinska dijagnostika
 - ▶ U građevinarstvu....

Neuronske mreže – kratki uvod

- ▶ Neuronske mreže predstavljaju sustave sastavljene od velikog broja jednostavnih elemenata za obradbu podataka (neurona ili jedinice obradbe) koji su međusobno povezani.
- ▶ Ovakvi sustavi su sposobni “učiti” na prošlim podacima, tražiti vezu i predvidjeti buduću vrijednost, s nekom pogreškom.
- ▶ Neuroni (ili jedinice obradbe) su strukturirani u slojeve (ulazni, jedan ili više skrivenih slojeva i izlazni sloj).
- ▶ Neuroni iz jednog sloja primaju ulazne vrijednosti iz prethodnog sloja i šalju svoje izlazne vrijednosti u naredni sloj.
- ▶ Neuron je jedinica za obradbu podataka koja prima ulazne vrijednosti od drugih neurona, prema nekoj formuli transformira primljenu vrijednost, te šalje izlaz drugim neuronima.
- ▶ Učenje se odvija promjenom vrijednosti “težina” među neuronima (težine su ponderi kojima se množe ulazne vrijednosti u neki “neuron”).

Neuronske mreže – kratki uvod

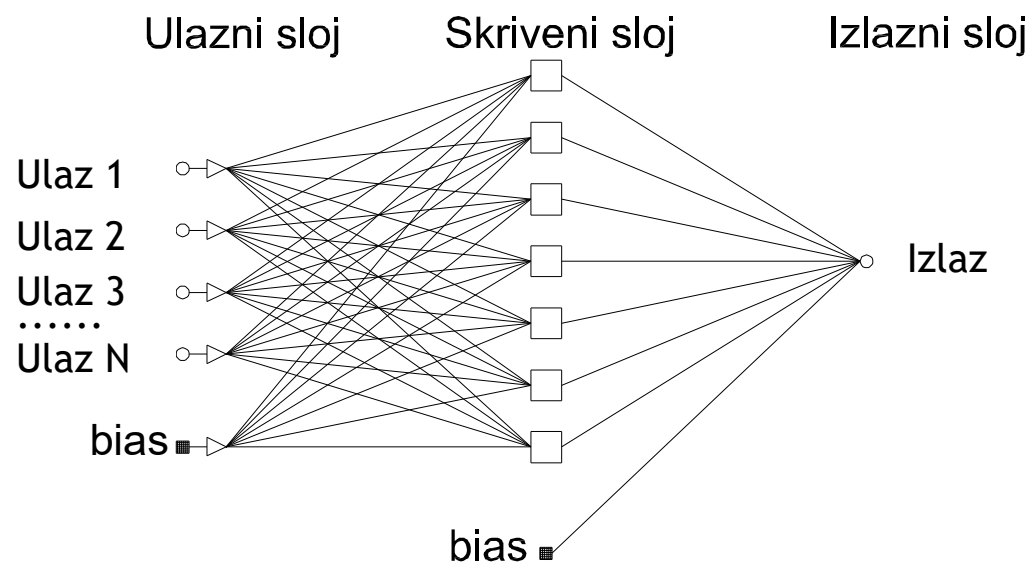


- ▶ Izlaz pojedinog neurona (osim neurona u ulaznom sloju) određen je izrazom:

$$y_j^{(k+1)} = f \left(\sum_{i=1}^{M^{(k)}} w_{ij}^{(k)} \cdot y_i^{(k)} \right)$$

gdje je $M^{(k)}$ broj neurona u k -tom sloju.

Neuronske mreže – kratki uvod



► Cybenko Teorem (1989.)

Neuronska mreža s jednim skrivenim slojem može po volji točno aproksimirati svaku neprekidnu višedimenzionalnu funkciju.

Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

SDOF model - konstantna težina $G = 1000 \text{ kN}$

- Osnovni period $\Delta T = 0,1\text{s}$ $\rightarrow 15$
(T od $0,05\text{s}$ do 10s)
- Poprečna sila prizemlja kod popuštanja $\rightarrow 10$
($(BS)_{el} / G$ ($(BS)_{el} = \text{od } 0,1 \text{ do } 1,0 G$)
- Poslijeelastična krutost - K_y / K_{el} $\rightarrow 5$
($K_y = \text{od } 0 \text{ do } 0,8 K_{el}$)
- Prigušenje (2, 5, 10 %) $\rightarrow 3$

Ulazno potresno opterećenje

Proračuni:

- rezultati analize:
 - vremenski tijek pomaka odziva konstrukcije (maksimalna vrijednost u_{\max}) i FFT analiza
 - histereza poprječne sile - pomaka
 - broj ciklusa plastifikacije
 - kumulativna energijska ravnoteža
 - zahtijevana duktilnost izražena pomacima

2250
različitih konstrukcija



akcelerogrami 20
stvarnih potresa
program NONLIN



DR

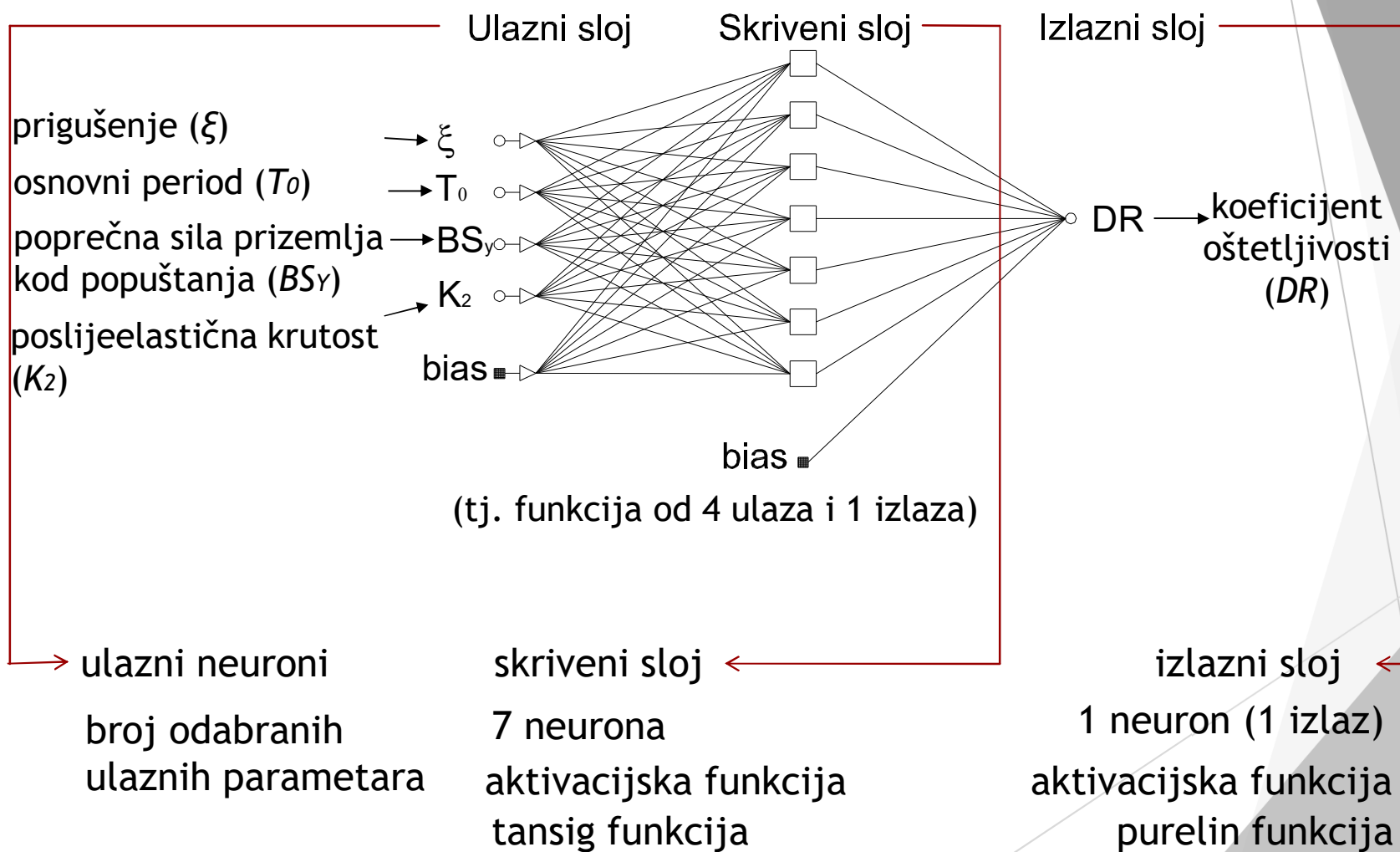
45000 proračunanih vrijednosti koeficijenata oštetljivosti (DR)

Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

0,08458			0,07280	0,16443	0,13415	0,16524	0,18529	0,26969	0,23939	0,32969	0,42438	0,57806	0,85886								
5	0,0824	0	3	7	5	8	4	5	7	8	2	1	7	1	1	1	1	1	1	1	
				0,07618		0,10722	0,08457	0,12824	0,07294	0,22261	0,28406	0,39062	0,61776	0,92673	0,92889	0,93394					
0	0	0	0	7	0	4	7	5	6	2	6	8	4	8	9	4	4	1		1	
						0,07641		0,08327		0,14450	0,21364	0,28380	0,48418	0,60776	0,74552	0,65297	0,69761	0,93096			
0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	4	2	7	4	9	7	8	4	7			
										0,11451	0,16498	0,20990	0,39093	0,40856	0,60936	0,46241	0,54836	0,76802			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	7	4	5	4	8	8	2			
										0,14107	0,15802			0,28230	0,52495	0,32880	0,44217	0,65128			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3	1	3	2	2	1	8			
										0,11971	0,12069	0,31963	0,25425	0,22377	0,45420	0,28032	0,36741				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	1	8	2	1	1	56624			
										0,09544	0,09932	0,21437	0,18818	0,39284	0,25920	0,30503	0,50355				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	5	6	9	3	9	2				
										0,07702	0,08553	0,17522	0,15400	0,33788	0,22182	0,25332	0,44365				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	8	3	5	4	1	8				
										0,07415	0,15185	0,13509	0,29752	0,19056			0,39435				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	9	1	2	2	0,20875	6				
0,60638			0,87828					0,62749													
9		1	6	1	1	0,2888	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0,20207	0,23991		0,28118	0,42808	0,18351	0,18407	0,69817	0,23145	0,32593	0,35245										
8		9	0	2	7	8	6	8	3	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0,07591			0,12652	0,26968		0,11795	0,24836	0,15360	0,13883	0,19520		0,90369	0,58501					0,81076		
6		0,09587	0	7	2	0	3	2	3	9	0,40285	9	1	6	1	1	1	1	6		
				0,08537	0,13969		0,11398	0,15081	0,14794	0,10213	0,23146	0,17613	0,49803	0,72404	0,51101	0,74554			0,62948		
0	0	0	0	7	7	0	7	3	7	2	1	4	5	4	5	8	1	1	5		
						0,08354		0,11649	0,08355	0,13639		0,30003	0,58805	0,37953	0,69110				0,50778		
0	0	0	0	0,08612		0	3	0,10182		1	1	0,15526	0,16825	0,49185	0,29308	0,55923	0,75268	1	2		
										0,12225	0,08819	0,12491	0,16825	0,49185	0,29308	0,55923	0,52235	0,85829	0,41716		
0	0	0	0	0	0	0	0	0,06725		4	0	6	5	9	6	2	9	4	6		
										0,10771		0,09888	0,11126	0,39334	0,29290	0,51698	0,40032	0,63535	0,34267		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	3	6	1	3	3	1	5		
										0,09127		0,08222	0,09152	0,31920	0,28615		0,30636	0,51799	0,30239		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7	3	7	7	0,46549	2	4	8		
										0,07431		0,06691	0,26991	0,27738	0,42056		0,44490	0,26547			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7	1	4	7	0,25233	6	1		
													0,22706	0,26429	0,37956	0,21630	0,37514	0,24553			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8	8	7	2	6			
0,33145			0,40585	0,64014		0,26080	0,60950	0,37486	0,79218	0,92328	0,63322										
8		0,35748	0,34325	1	5	0,59599	0,16344	0,29499	0,19522	0,42521	0,24106	0,72191	0,55436	1	1	1	1	1	3		
	0,16561			0,19509	0,27988	0,13209	0,16344	0,29499	0,19522	0,42521	0,24106	0,72191	0,55436	1	1	1	1	1	3		
				4	8	4	3	2	6	2	7	4	7	0,64392	2	1	1	2			
0,1485				0,12483	0,19373		0,11190	0,17344		0,13504		0,19360	0,44581	0,44808	0,49622	0,64235	0,91722	0,84520	0,46993		
0,07568	0,09115			3	3	0	1	9	0,16643	1	0,27755	5	3	5	7	5	1	3	6		
6				0,08315	0,12272		0,11011	0,12891	0,14412	0,10182	0,18457	0,15988	0,28892	0,37823	0,41008		0,64768	0,64932	0,41535		
				7	1	0	7	8	4	3	5	5	8	3	7	0,54838	5	3	6		
				0,08475		0	0,08530	0,09896		0,12606	0,13995	0,20322	0,34052	0,34708	0,50781	0,51073	0,53563	0,37520			
0	0	0	0	0	0	0	9	1	0,12908	0,08172											
								0,06719													
0	0	0	0	0	0	0	0	0,1224		0,08659		0,12122	0,14000	0,30574	0,30618	0,47600	0,41498	0,48926	0,34680		
								0,10778													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	0,26832	8	3	1	4	7		
														0,08073	0,08877	0,24123	0,26707	0,41648	0,29322	0,39615	0,27016
0	0	0	0	0	0	0	0	0,08915						1	3	8	9	1	5	2	
								0,07423						0,06691	0,21343	0,25224	0,38632	0,25180		0,26032	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	7	3	5	4	5	0,36251	6		
														0,19094	0,23585	0,35158	0,21163	0,32160	0,25282		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	7	3	2	5			
	0,43733		0,56419			0,31587															
1		1	4	1	1	3	1	0,45757	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0,27380	0,22998	0,09681	0,25007	0,34713	0,38872	0,12922	0,38044	0,19488	0,37259	0,78044	0,31355		0,78163	0,62344						
1		9	8	9	6	4	4	9	7	3	9	3		1	3	2					
	0,14954	0,09770		0,12980	0,22591	0,15112		0,25921	0,11955	0,13309	0,35485	0,24025				0,90931				0,4966	
2		9	0	6	5	7	0	2	6	9	3	4		1	9	1	1	1	1	0,29624	

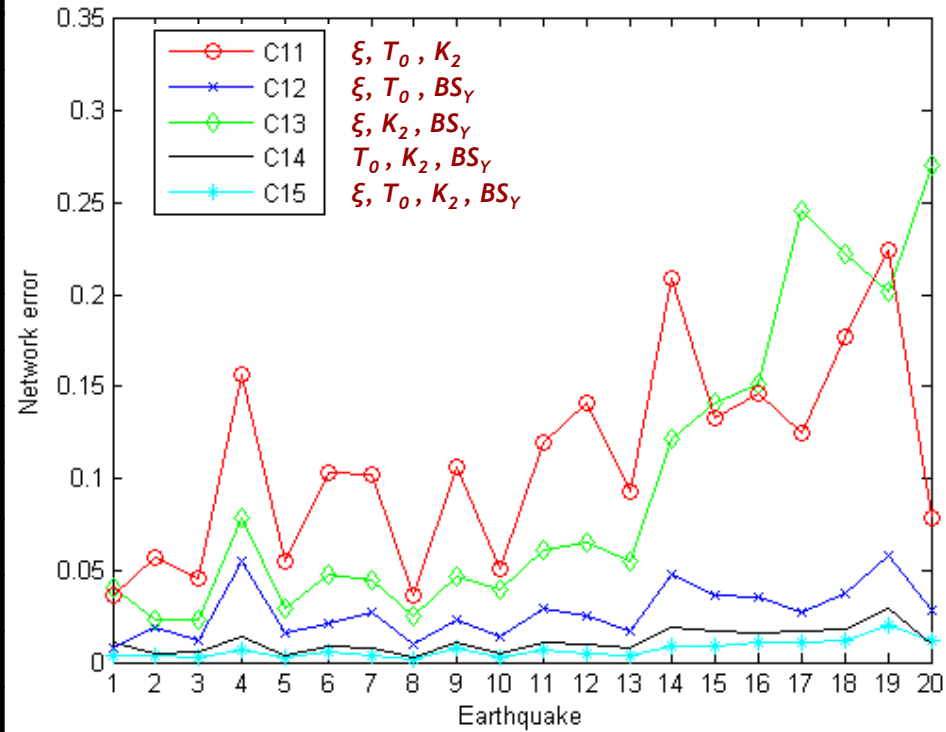
Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

$$DR = f(BS_y, T, K_2, \xi)$$



Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

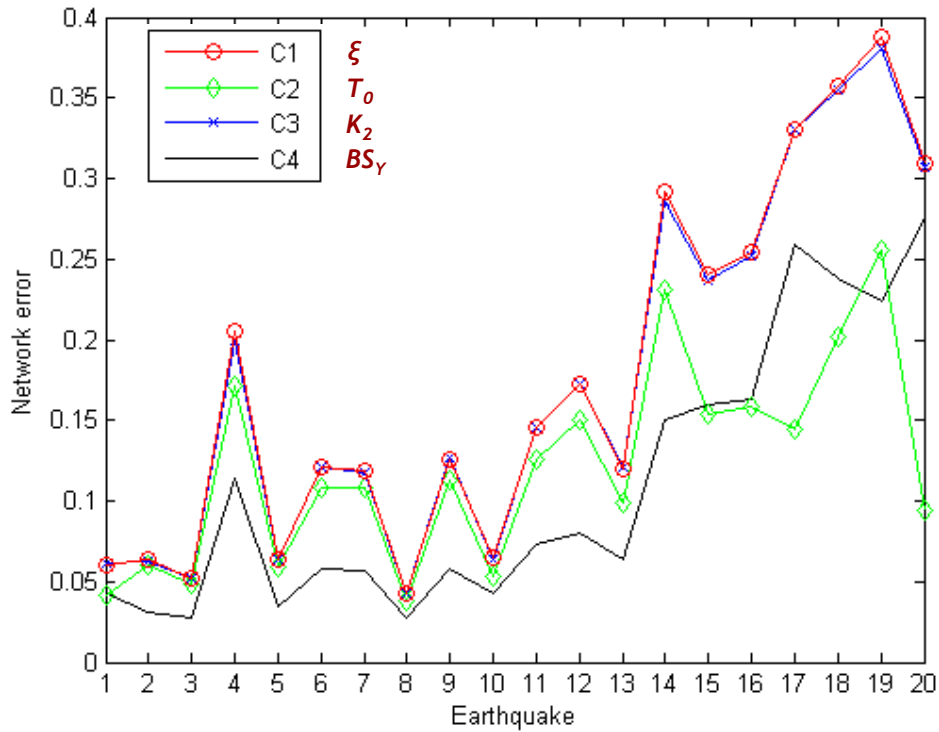
Kombinacija	Ulazni parametri
C1	ξ
C2	T_0
C3	K_2
C4	BS_Y
C5	ξ, T_0
C6	ξ, K_2
C7	ξ, BS_Y
C8	T_0, K_2
C9	T_0, BS_Y
C10	K_2, BS_Y
C11	ξ, T_0, K_2
C12	ξ, T_0, BS_Y
C13	ξ, K_2, BS_Y
C14	T_0, K_2, BS_Y
C15	ξ, T_0, K_2, BS_Y



$BS_Y - T_0 - K_2 - \xi$

Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

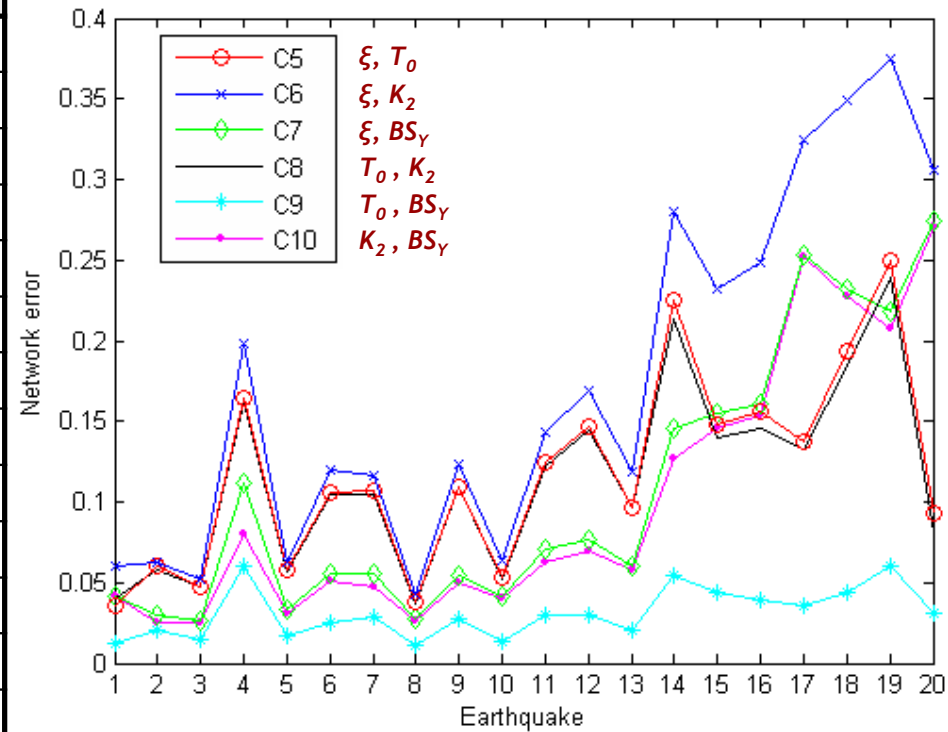
Kombinacija	Ulazni parametri
C1	ξ
C2	T_0
C3	K_2
C4	BS_Y
C5	ξ, T_0
C6	ξ, K_2
C7	ξ, BS_Y
C8	T_0, K_2
C9	T_0, BS_Y
C10	K_2, BS_Y
C11	ξ, T_0, K_2
C12	ξ, T_0, BS_Y
C13	ξ, K_2, BS_Y
C14	T_0, K_2, BS_Y
C15	ξ, T_0, K_2, BS_Y



$BS_Y - T_0 - K_2 - \xi$

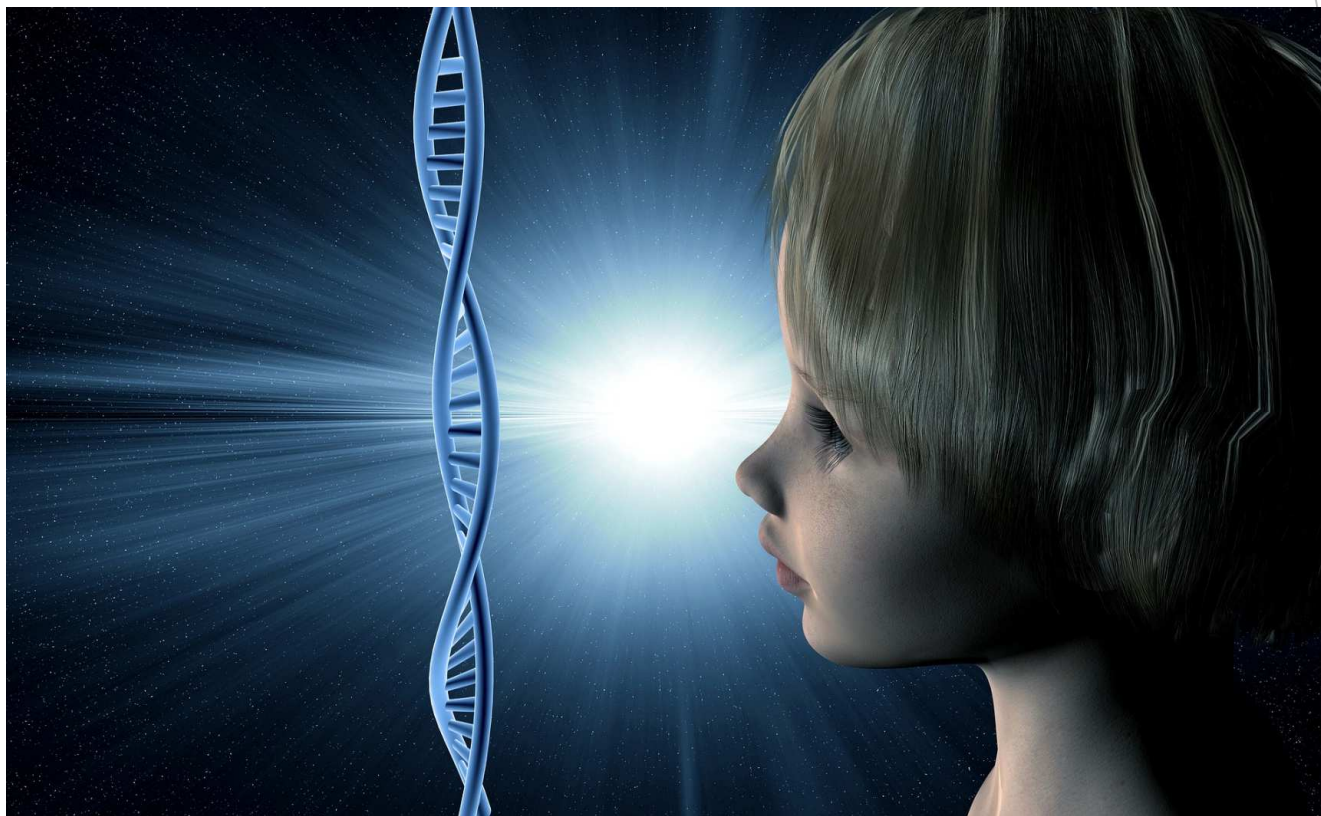
Analiza osjetljivosti parametara SDOF modela na koeficijent oštetljivosti

Kombinacija	Ulazni parametri
C1	ξ
C2	T_0
C3	K_2
C4	BS_Y
C5	ξ, T_0
C6	ξ, K_2
C7	ξ, BS_Y
C8	T_0, K_2
C9	T_0, BS_Y
C10	K_2, BS_Y
C11	ξ, T_0, K_2
C12	ξ, T_0, BS_Y
C13	ξ, K_2, BS_Y
C14	T_0, K_2, BS_Y
C15	ξ, T_0, K_2, BS_Y



$BS_Y - T_0 - K_2 - \xi$

Genetski algoritam – kratki uvod



Genetski algoritam – kratki uvod

OPIS PROBLEMA

- ▶ Treba optimirati funkciju (tj. odrediti parametre funkcije) prema određenom kriteriju. Pri tome:
 - ▶ funkcija nije glatka odnosno derivabilna, ili
 - ▶ ne poznajemo oblik funkcije da bismo definirali početne uvjete model na temelju izmjerenih podataka
- ▶ Treba riješiti NP-teški problem (NP - “non-deterministic polinomial-time” - problemi koji nisu rješivi u polinomskom vremenu $t = N^k$, gdje je N dimenzija problema, a k konstanta.)
 - ▶ Primjer: *Iz grupe od 400 ljudi treba odabrati 100 prema zadanom kriteriju. Broj kombinacija je $\sim 10^6$.*

Genetski algoritam – kratki uvod

OPIS PROBLEMA – kako riješiti

- ▶ Jedan od načina je pomoću **genetskog algoritma**
- ▶ Genetski algoritam je jedan od (meta)heurističkih metoda optimizacije
- ▶ Primjeri primjene:
 - Problemi raspoređivanja
 - (npr. olimpijske igre u Barceloni 1992., izrada rasporeda)
 - Problem trgovačkog putnika
 - Projektiranje komunikacijske (cestovne, vodovodne, ...) mreže
 - Određivanje parametara neuronske mreže
 - Određivanje parametara neizrazitog (fuzzy) sustava
 - Financijske i ekonomske analize i planiranje
 -

Genetski algoritam – kratki uvod

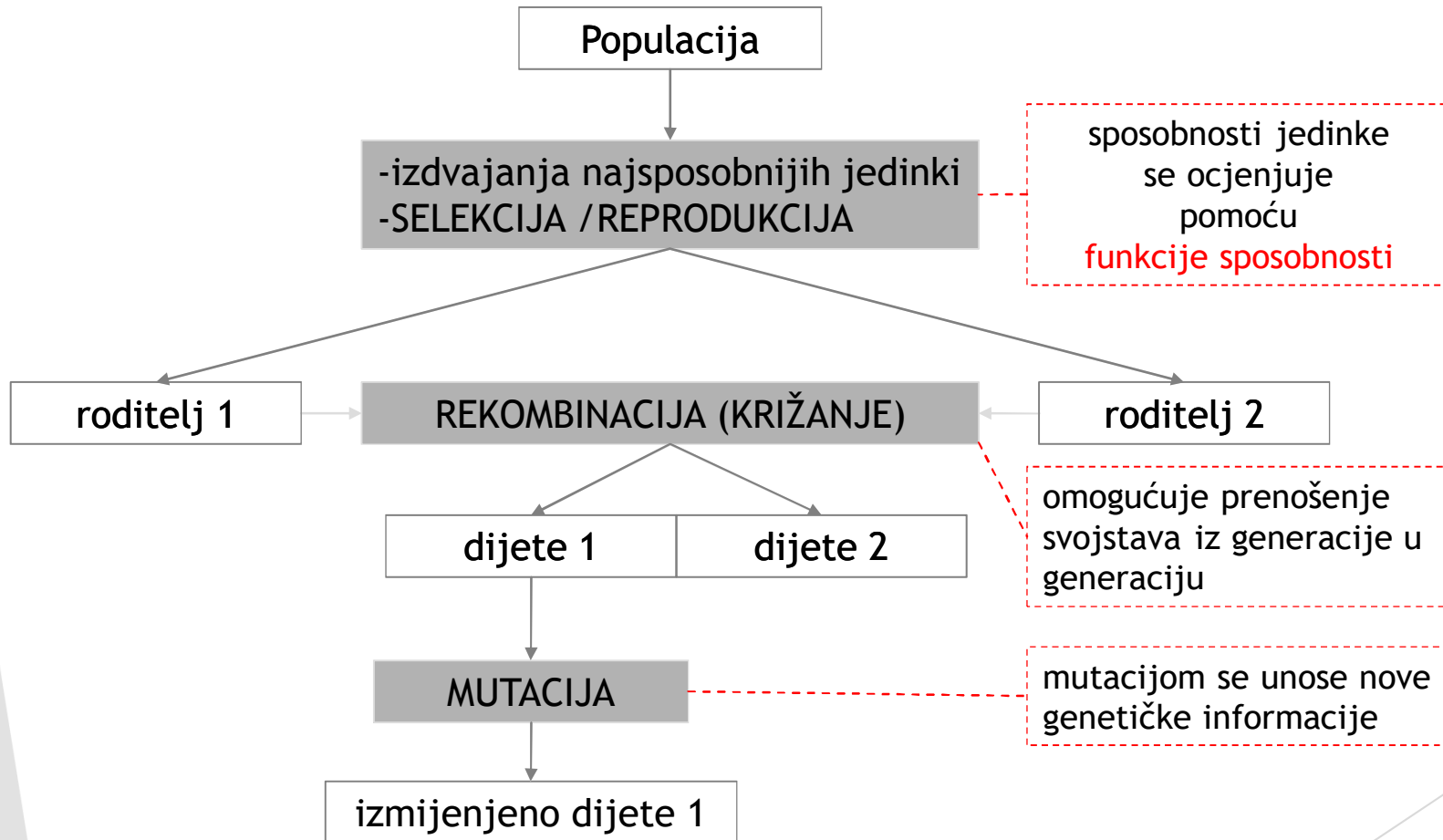
- ▶ Globalni postupak optimiranja temeljen na principu evolucije živih organizama.
- ▶ Moguće rješenje problema predstavljeno jedinkom populacije (kromosomom), koja se sastoji od niza gena.
- ▶ Osim načina kodiranja, potrebno je definirati funkciju cilja (*fitness function*, *cost function*) koja određuje kvalitetu pojedine jedinke.
- ▶ Bolje jedinke (veća vrijednost funkcije cilja) imaju veću šansu za preživljavanje / stvaranje potomstva.
- ▶ Nove jedinke stvaraju se rekombinacijom postojećih i mutacijom.
- ▶ Iz generacije u generaciju populacija sadrži sve bolje jedinke (bolja rješenja).

Genetski algoritam – kratki uvod

- ▶ Genetski algoritam moguće je primijeniti za rješavanje problema ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:
 - ▶ Prikaz rješenja moguće je rastaviti na niz nezavisnih parametara – gena, koji mogu poprimiti binarne, numeričke, tekstualne i druge vrijednosti
 - ▶ Moguće je vrjednovati rješenje, odnosno procijeniti koliko je dobro u odnosu na druga rješenja. Poželjno je imati što finije stupnjevanje pri usporedbi rješenja.
- ▶ ***Genetsko programiranje.***
 - ▶ Pronalaženje analitičke funkcije iz skupa vrijednosti.

Genetski algoritam – kratki uvod

PRINCIP RADA



Parametri armiranobetonskih okvirnih konstrukcija

Osnovni period armiranobetonskih okvirnih konstrukcija

- U SAP-u je napravljeno 600 modela ab okvira različitih konstrukcija

Empirijski izraz	Smjer	Srednja kvadratna pogreška
$T_{rcf1,x} = 0,1518 \cdot N^{0,7534}$	x	0,0021
$T_{rcf,x} = \frac{20,464}{100} \cdot \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{\frac{8,3404}{100}} + \frac{3,8425}{100} \cdot N^{\frac{126,31}{100}}$	x	0,0008
$T_{rcf1,y} = 0,1518 \cdot N^{0,7846}$	y	0,0021
$T_{rcf,y} = \frac{16,495}{100} \cdot \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{\frac{11,881}{100}} + \frac{4,3552}{100} \cdot N^{\frac{124,93}{100}}$	y	0,0007

Parametri armiranobetonskih okvirnih konstrukcija

Poprečna sila prizemlja kod popuštanja armiranobetonskih okvirnih konstrukcija

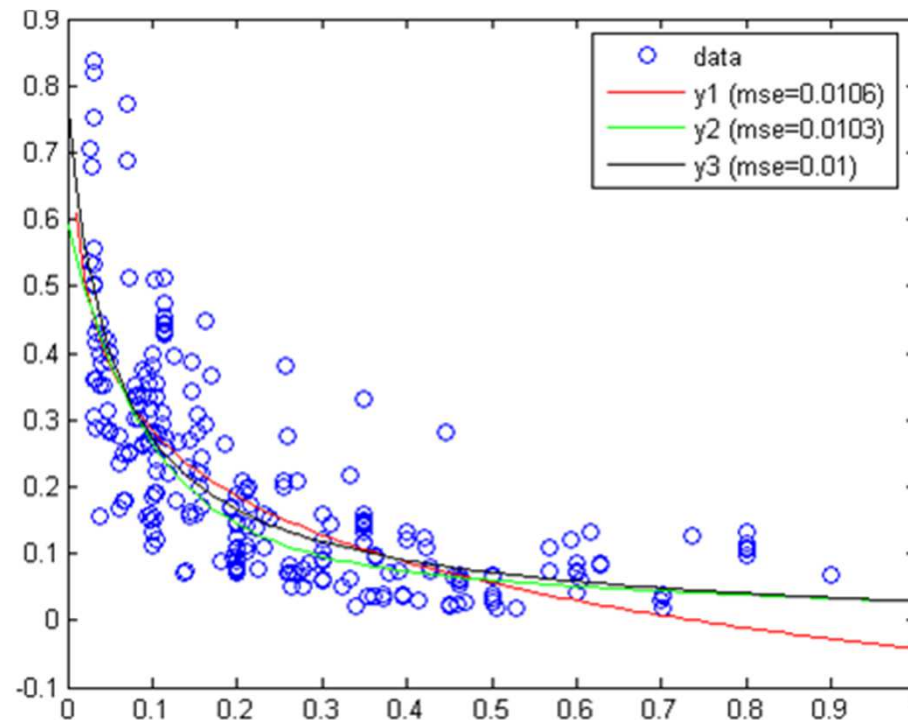
- Na temelju baze od 207 ispitivanja

$$BS_{RCF,init,y_1} = y_1 = -0,1417 \ln(1,3525v)$$

$$BS_{RCF,init,y_2} = y_2 = 0,1163e^{-1,3935v} + 0,476e^{-10,6992v}$$

$$BS_{RCF,init,y_3} = y_3 = \frac{0,1304}{0,9889e^{1,5447v} - 0,8189e^{-1,9135v}}$$

(v = bezdimenzijski koeficijent uzdužne sile)



Hvala na pozornosti!

