

# Podešavanje težina neuronske mreže upotrebom optimizacionog algoritma

Seminarski rad u okviru kursa  
Računarska inteligencija  
Matematički fakultet

Nikola Stamenić, Lea Petković  
mi16177@alas.matf.bg.ac.rs, mi16163@alas.matf.bg.ac.rs

16. jun 2020.

## Sažetak

Ovaj rad se bavi podešavanjem težina neuronske mreže uz pomoć algoritma optimizacije rojem čestica. Pored osnovnog teorijskog pristupa datim pojmovima, rad sadrži i praktičnu primenu ovakvog pristupa podešavanja težina. Kako bi stekli utisak koliko su rezultati dobri, autori ovog rada svoje rezultate upoređuju sa rezultatima autora rada *Designing Artificial Neural Networks Using Particle Swarm Optimization Algorithms*.

**Glavne reči:** PSO, neuronske mreže, ANN, optimizacija rojem čestica, Keras, Iris, Wine, Breast Cancer.

## Sadržaj

|   |          |
|---|----------|
| <b>1 Uvod</b>   | <b>2</b> |
| <b>2 Neuronske mreže</b>  | <b>2</b> |
| 2.1 Keras Pajton biblioteka . . . . .   | 2        |
| <b>3 Optimizacija rojem čestica</b>   | <b>2</b> |
| 3.1 Originalni algoritam PSO . . . . .  | 2        |
| 3.2 Druga generacija PSO algoritma . . . . .                                  | 3        |
| 3.3 Novi model PSO-a . . . . .  | 3        |
| <b>4 Podešavanje težina neuronske mreže pomoću optimizacije rojem čestica</b> | <b>3</b> |
| 4.1 Rezultati . . . . .   | 4        |
| 4.1.1 Skup Iris . . . . .   | 4        |
| 4.1.2 Skup Breast cancer . . . . .  | 4        |
| 4.1.3 Skup Wine . . . . .   | 5        |
| <b>5 Zaključak</b>  | <b>5</b> |
| <b>Literatura</b>   | <b>6</b> |
| <b>A Prikaz rezultata</b>   | <b>7</b> |
| <b>B Kod</b>  | <b>8</b> |

# 1 Uvod

Podešavanje težina neuronske mreže (eng. *Artificial Neural Network, ANN*) za cilj ima nalaženje optimalnog skupa težina, kako bi čitava neuronska mreža za određene podatke davala što tačnije izlaze, kako u primeni za klasifikaciju, tako i u primeni za regresiju. Neuronska mreža može biti korišćena na jako bitnim istraživanjima, tako da podešavanje težina može igrati jako bitnu ulogu. Jedan od načina na koje možemo podesiti težine jeste algoritmom optimizacije rojem čestica (eng. *Particle Swarm Optimization*) [4]. PSO je algoritam nastao inspirisan prirodom, odnosno kretanjem jata ptica u potrazi za hranom, pa može predstavljati dobar algoritam za podešavanje težina neuronske mreže. Problem sa samim algoritmom može biti to što postoji mogućnost zaglavljivanja u lokalnom optimumu, što u startu ne garantuje nalaženja najboljeg mogućeg rešenja. Problemom podešavanja težina neuronske mreže, pomoću optimizacije rojem čestica, bavili su se mnogi istraživači [3].

## 2 Neuronske mreže

Neuronska mreža je sistem koji vrši mapiranje između ulaza i izlaza problema. Neuronske mreže zapravo predstavljaju parametrizovanu reprezentaciju koja se može koristiti za aproksimaciju raznih funkcija [3]. Matematičkom optimizacijom nekog od kriterijuma kvaliteta vrši se pronalaženje odgovarajućih parametara.

Neuronske mreže uče informacije kroz proces treniranja u nekoliko iteracija. Kada je proces učenja završen, neuronska mreža je spremna i sposobna da klasifikuje nove informacije, predvidi ponašanje, ili aproksimira nelinearnu funkciju problema. Njena struktura sastoji se od skupa neurona, predstavljenih funkcijama, koji su međusobno povezani sa ostalim neuronima organizovanim u slojeve.

Struktura neuronske mreže se razlikuje po broju slojeva. Prvi sloj jeste ulazni sloj, poslednji sloj jeste izlazni, a svi slojevi između se nazivaju skrivenim slojevima. Slojevi su međusobno potpuno povezani. Slojevi komuniciraju zahvaljujući tome što je izlaz svakog neurona, iz prethodnog sloja, povezan sa ulazima svih neurona iz narednog sloja. Jačina veza kojom su neuroni međusobno povezani se naziva težinski faktor (eng. *weight*). Najčešće ima 3 sloja.

Postoje različite vrste neuronskih mreža. Mozemo ih klasifikovati prema: broju slojeva (jednoslojne i višeslojne), vrsti veza između neurona, smeru prostiranja informacija (neuronske mreže sa propagacijom unapred ili unazad) [1], vrsti podataka itd.

Njihove primene su mnogobrojne, obzirom da predstavljaju najčešće primenjivanu metodu mašinskog učenja. Neke od primena su: kategorizacija teksta, medicinska dijagnostika, prepoznavanje objekata na slikama, autonomna vožnja, igranje igara poput igara na tabli ili video igara, mašinsko prevođenje prirodnih jezika, prepoznavanje rukom pisanih tekstova itd.

### 2.1 Keras Pajton biblioteka

Keras je biblioteka za neuronske mreže, napisana u Pajtonu. Keras radi na platformi za mašinsko učenje *TensorFlow*. Razvijena je sa ciljem da omogući brzo eksperimentisanje sa neuronskim mrežama [2], da bude razumljiva, modularna i proširiva.

Pored, već pomenute, *TensorFlow* platforme, ova biblioteka radi i na: *Microsoft Cognitive Toolkit*, *R*, *Theano*, ili *PlaidML* platformama. Nastala je kao deo istraživanja u okviru projekta ONEIROS (eng. *Open-ended Neuro-Electronic Intelligent Robot Operating System*), a njen autor i održavaoc je gugl inženjer - François Chollet.

## 3 Optimizacija rojem čestica

U ovoj sekciji biće objašnjen sam algoritam optimizacije rojem čestica. Najviše vremena biće posvećeno originalnom algoritmu PSO, drugoj generaciji algoritma PSO (eng. *The Secong Generation of PSO*), kao i novom modelu algoritma PSO (eng. *A New Model of PSO*).

### 3.1 Originalni algoritam PSO

Algoritam PSO je metod za optimizaciju neprekidne nelinearne funkcije, koji je predložio Eberhart. Sam algoritam je inspirisan posmatranjem socijalnog i kolektivnog ponašanja u kretanju jata ptica pri potrazi za hranom ili preživaljavanjem. PSO je nadahnut kretanjem najboljeg člana populacije i njegovog iskustva. Metafora govori da se skup rešenja kreće prostorom pretrage sa ciljem da nađe što bolju poziciju, rešenje [3].

Populacijom se smatra grupa čestica  $i$  gde svaka predstavlja poziciju  $x_i \in R^D$ ,  $i = 1, \dots, M$  u višedimenzionom prostoru. Čestice se evaluiraju u posebnoj funkciji optimizacije, kako bi se odredila njihova prilagođenost i sačuvala najbolja vrednost. Svaka čestica se kreće po prostoru pretrage u zavisnosti od funkcije brzine  $v_i$  koja u obzir uzima globalno najbolju poziciju u populaciji ( $p_g \in R^D$  - socijalna komponenta) kao i najbolju poziciju date čestice ( $p_i \in R^D$  - kognitivna komponenta). Čestice će se kretati u svakoj iteraciji na drugu poziciju, dok ne dostignu optimalnu poziciju. U svakom momentu  $t$ , brzina čestice  $i$  se ažurira koristeći:

$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (p_g(t) - x_i(t))$$

gde je  $\omega$  inertna težina i obično je postavljena da varira linearno od 1 do 0 tokom iteracije,  $c_1$  i  $c_2$  su koeficijenti ubrzanja,  $r_1$  i  $r_2$  su slučajni brojevi iz uniformne (0,1) raspodele. Ubrzanje  $v_i$  je ograničeno između  $[v_{min}, v_{max}]$ . Ažuriranjem ubrzanja na ovaj način dozvoljavamo čestici  $i$  da traži najbolju poziciju  $p_i(t)$ , dok se najbolje globalno rešenje računa [3]:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

### 3.2 Druga generacija PSO algoritma

Druga generacija PSO algoritma je unapređenje originalnog PSO algoritma, koja u obzir uzima tri aspekta: lokalni optimum svih čestica, globalno najbolje rešenje, i novi koncept - geometrijski centar optimalne populacije. Autor knjige "*Second Generation Particle Swarm Optimization*" objašnjava da ptice održavaju određenu distancu između centra jata (hrane). Jata ptica uvek ostaju u istom regionu neko vreme, tokom kojeg će centar jata ostati nepomeren u očima čestica. Nakon toga, jato se kreće na sledeći region, tada sve čestice moraju održati određenu distancu sa centrom jata.

### 3.3 Novi model PSO-a

Ovaj algoritam je predložio Garro (eng. *Garro*), bazirao ga je na osnovu ideja drugih autora koji su predlagali unapređenje originalnog PSO algoritma. Shi i Eberhart su predlagali linearno variranje inertnih težina kroz generacije, što je znatno unapredilo performanse originalnog PSO algoritma. Yu je razvio strategiju da kada se kroz generacije globalno najbolje rešenje ne poboljšava, svaka čestica  $i$  biva izabrana sa predefinisanim verovatnoćom, a zatim je dodat slučajni šum svakom vektoru brzine dimenzije  $v_i$  izabrane čestice  $i$ . Bazirano na nekim evolutivnim shemama Genetičkih algoritama, nekoliko efektnih mutacija i ukrštanja su predložene za PSO.

## 4 Podešavanje težina neuronske mreže pomoću optimizacije rojem čestica

Treniranje neuronske mreže, odnosno podešavanje težina, izvršeno je pomoću optimizacije rojem čestica. Napravljena je troslojna neuronska mreža (ulazni, skriveni i izlazni sloj) pomoću Keras biblioteke u Pajtonu, pomoću koje se rešavaju klasifikacioni problemi. Dve trećine podataka korišćene su za trening podatke, a ostatak čini test podatke. Skriveni sloj sadrži 100 jedinica/čvorova, dok je broj izlaza ekvivalentan broju različitih klasa u odgovarajućem skupu podataka. Pri kompiliranju Keras modela korišćen je *adam* optimizator, ali on nema nikakvog uticaja, već je naveden iz sintaksnih razloga. Kao metrika korišćena je preciznost (eng. *accuracy*).

Kao što je ranije napomenuto, ANN trenirana je pomoću PSO algoritma. PSO koristi prvo 30, čestica i prolazi kroz 300 iteracija.. Šalju se trening podaci i neuronska mreža. Težine neuronske mreže predstavljaju pozicije čestica. Inicijalne težine biraju se nasumično unutar intervala  $[-2, 2]$ , a ažuriranje težina se vrši prema formuli:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

objašnjenom u poglavlju 3.1. Parametri  $c_1$ ,  $c_2$  i  $w$  izabrani su u odnosu na vrednosti istih tih parametara u radu [3], odnosno  $w$  je 0.3, dok su  $c_1$  i  $c_2$  za 0.5 manji, tačnije 0.5 i 1.0 redom, jer tako algoritam daje bolje rezultate.

Kao funkcija cilja korišćena je preciznost. Takođe, u cilju izbegavanja zaglavljivanja u lokalnom minimumu algoritam se pokreće nekoliko puta i pozicije najgorih pet čestica se nasumično menjaju. Najbolja čestica je upravo ona sa najvećom preciznošću.

## 4.1 Rezultati

U ovoj sekciji biće predstavljani eksperimentalni rezultati dobijeni nad skupovima: *Iris*, *Breast Cancer* i *Wine*, kao i upoređeni sa rezultatima drugih istraživača koji su se bavili ovom temom i koristili navedene skupove. Stopa prepoznavanja neuronske mreže procenjena je i računata formulom:

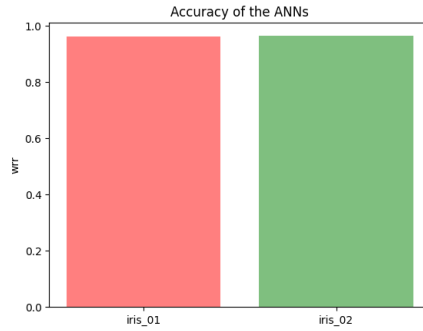
$$wrr = 0.4 * (Tr_{r,r}) + 0.6 * (Te_{r,r}),$$

gde je  $Tr_{r,r}$  preciznost nad trening podacima, a  $Te_{r,r}$  preciznost dobijenu nad test podacima [3]. Korišćeni su faktori 0.4 i 0.6 kako bi se izbegla visoka vrednost  $wrr$  (eng. *weighted recognition rate*) usled visoke preciznosti nad trening podacima (kada to nije slučaj i sa test podacima). U nastavku sledi više o rezultatima na svakom od skupova pojedinačno.

### 4.1.1 Skup Iris

Ovaj skup podataka nalazi se u Pajton paketu za mašinsko učenje: Scikit-learn. Sastoji se od 3 vrste cveta Iris - Setosa, Versicolour, Virginica. Sadrži 150 instanci i ima 5 atributa koji predstavljaju dužinu i širinu latica (eng. *petal length*, *petal width*), dužinu čašičnog listića (eng. *sepal length*, *sepal width*) i vrstu kojoj cvet pripada (eng. *species*).

Procenjena stopa prepoznavanja ( $wrr$ ) neuronske mreže, koja je dobijena na skupu Iris, najveća je od svih testiranih i ona iznosi više od 95%, kako na trening, tako i na test podacima. Na slici 1 može se videti i zaključiti da je dobijena  $wrr$  autora ovog rada i preciznost autora ranije pomenutog rada [3] približno ista.



Slika 1: Preciznost na podacima skupa Iris. Sa leve strane nalaze se rezultati autora, a desno rezultati iz literature [3]

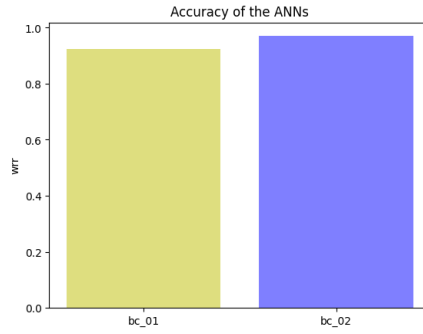
### 4.1.2 Skup Breast cancer

Skup podataka Breast cancer se, takođe, nalazi u Pajton paketu za mašinsko učenje: Scikit-learn. Predstavlja jednostavan skup podataka koji se koristi za binarnu klasifikaciju. Više informacija o skupu dato je u tabeli 1.

Tabela 1: Informacije o skupu Breast Cancer

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| Klase             | 2                 |
| Instance po klasi | 212(M),<br>357(B) |
| Ukupno instanci   | 569               |
| Dimenzija         | 30                |
| Atributi          | real, positive    |

Rezultati dobijeni na neuronskoj mreži za skup Breast Cancer neznatno su slabiji od rezultata nad skupom podataka Iris. Dobijena  $wrr$  iznosi oko 90-92%. Na slici 2 može se videti poređenje rezultata. Primećuje se da su rezultati autora [3] nešto bolji, ali i dalje su obe preciznosti zadovoljavajuće.



Slika 2: Preciznost na podacima skupa Breast Cancer. Sa leve strane nalaze se rezultati autora, a desno rezultati iz literature [3]

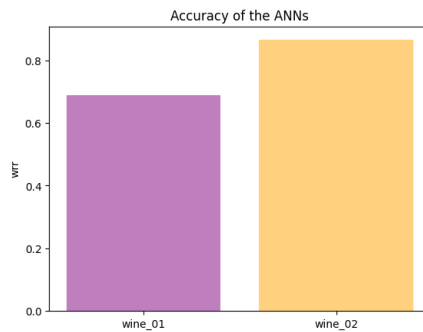
#### 4.1.3 Skup Wine

Wine skup podataka predstavlja klasičan, jednostavan i višeklasni klasifikacioni skup podataka u paketu za Scikit-learn. Više informacija o skupu dato je u tabeli 2.

Tabela 2: Informacije o skupu Wine

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Klase             | 3              |
| Instance po klasi | 59,71,48       |
| Ukupno instanci   | 178            |
| Dimenzija         | 13             |
| Atributi          | real, positive |

Najslabiji rezultati dobijeni su upravo na ovom skupu, kako u literaturi, tako i u ovom radu. U radu [3] dobijena je wrt oko 85%, dok su autori ovog rada dobili slabije rezultate - oko 70%, što se može videti na priloženom grafiku 3.



Slika 3: Preciznost na podacima skupa Wine. Sa leve strane nalaze se rezultati autora, a desno rezultati iz literature [3]

## 5 Zaključak

Istraživanjem podešavanja težina neuronske mreže pomoću optimizacije rojem čestica, zaključeno je da rezultati donekle zavise od skupa, što bi moglo sugerisati da je potrebno posvetiti više pažnje pretprocesiranju onih skupova na kojima su rezultati slabiji ili promenu određenih parametara (npr. povećan broj iteracija pri učenju), u cilju veće preciznosti kasnije.

Dalje istraživanje moglo bi da se fokusira na korišćenju drugih optimizacionih algoritama za podešavanje težina neuronskih mreža, kao što su: optimizacija mravljom kolonijom (eng. *Ant Colony Optimization*, ACO), optimizacija kolonijom pčela (eng. *Bee Colony Optimization*,

*BCO*), simulirano kaljenje (eng. *Simulated Annealing, SA*) itd. Drugi pravac istraživanja mogao bi se baviti unapređenjem samog PSO algoritma i njegovih parametara, radi dobijanja boljih rezultata.

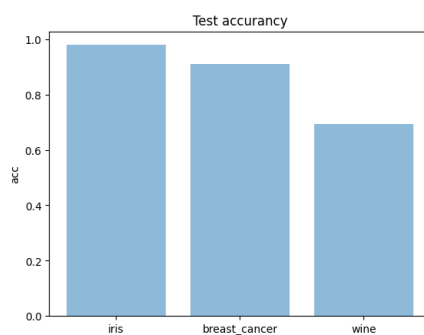
## Literatura

- [1] Internet Archive Wayback Machine. on-line at: <https://web.archive.org/web/20090215055110/http://learnartificialneuralnetworks.com/#Intro>.
- [2] Keras. on-line at: <https://keras.io/>.
- [3] Beatriz A. Garro and Roberto A. Vázquez. Designing Artificial Neural Networks Using Particle Swarm Optimization Algorithms. 2 June 2015.
- [4] J. Yu, L. Xi, and S. Wang. *An improved particle swarm optimization for evolving feedforward artificial neural networks*. Neural Processing Letters vol 26 no 3, 2007.

## A Prikaz rezultata



Slika 4: Uporedni prikaz rezultata dobijenih na trening podacima, za sva tri skupa



Slika 5: Uporedni prikaz rezultata dobijenih na test podacima, za sva tri skupa

## B Kod

```
1000 class Particle:
1002     def __init__(self, weights, velocity, omega, c1, c2,
1004                 lower_bound, upper_bound, particle_id):
1006         self.id = particle_id
1007         self.weights = weights
1008         self.best_weights = weights
1009         self.velocity = np.array(velocity)
1010         self.omega = omega
1011         self.c1 = c1
1012         self.c2 = c2
1013         self.lower_bound = lower_bound
1014         self.upper_bound = upper_bound
1015         self.best_valuation = 0
1016         self.history = []
1017
1018     def update(self, best_particle):
1019         self.update_velocity(best_particle)
1020         self.check_velocity()
1021         self.update_particle()
1022
1023     return self.weights
1024
1025     def update_velocity(self, bp):
1026         r1 = np.random.random()
1027         r2 = np.random.random()
1028
1029         self.velocity = self.omega * self.velocity + self.c1*r1*(np.add(np.array(
1030             self.best_weights), (-1)*np.array(self.weights))) + self.c2*r2*(np.add(np.array(
1031             bp), (-1)*np.array(self.weights)))
1032
1033     def check_velocity(self):
1034         for i in range(len(self.velocity)):
1035             if(i%2 == 1):
1036                 for j in range(len(self.velocity[i])):
1037                     if(self.velocity[i][j] < self.lower_bound):
1038                         self.velocity[i][j] = self.lower_bound
1039
1040                     if(self.velocity[i][j] > self.upper_bound):
1041                         self.velocity[i][j] = self.upper_bound
1042             else:
1043                 for j in range(len(self.velocity[i])):
1044                     for k in range(len(self.velocity[i][j])):
1045                         if(self.velocity[i][j][k] < self.lower_bound):
1046                             self.velocity[i][j][k] = self.lower_bound
1047
1048                         if(self.velocity[i][j][k] > self.upper_bound):
1049                             self.velocity[i][j][k] = self.upper_bound
1050
1051         return
1052
1053     def update_particle(self):
1054         self.weights = np.add(np.array(self.weights), self.velocity)
1055
1056     def update_valuation(self, valuation):
1057         self.history.append(valuation)
1058
1059         if(valuation > self.best_valuation):
1060             self.best_valuation = valuation
1061             self.best_weights = self.weights
1062
1063     def get_weights(self):
1064         return self.weights
1065
1066     def set_weights(self, new_weights):
1067         self.weights = new_weights
```

Listing 1: Klasa korišćena za čestice



```

1000 class PSO:
1002     def __init__(self, num_particles, num_iters, training_x, training_y, model,
1003                 shapes, c1, c2, w, lower_bound, upper_bound):
1004         self.num_iters = num_iters
1005         self.training_x = training_x
1006         self.training_y = training_y
1007         self.model = model
1008         self.best_particle = self.make_velocity(shapes)
1009         self.best_evaluation = 0
1010         self.history = []
1011         self.shapes = shapes
1012         self.lower_bound = lower_bound
1013         self.upper_bound = upper_bound
1014         self.particles = self.make_particles(num_particles, shapes, c1, c2, w,
1015         lower_bound, upper_bound)
1016         self.evaluate_particles()
1017         self.combo = 0
1018         self.w = w
1019         self.c1 = c1
1020         self.c2 = c2
1021
1022     def make_particles(self, size, shape, c1, c2, w, low, upp):
1023         particles = []
1024
1025         velocity = self.make_velocity(shape)
1026
1027         for i in range(size):
1028             weights = self.make_weights(shape, low, upp)
1029             particles.append(Particle(weights, velocity, w, c1, c2, low, upp, i))
1030
1031         return particles
1032
1033     def make_velocity(self, shapes):
1034         velocity = []
1035
1036         for shape in shapes:
1037             velocity.append(np.zeros(shape))
1038
1039         return velocity
1040
1041     def make_weights(self, shapes, low, upp):
1042         weights = []
1043
1044         for shape in shapes:
1045             if(len(shape) == 1):
1046                 wght = rand(shape[0])*(upp-low)
1047                 rec = np.full(shape, low)
1048
1049                 weights.append(np.add(wght, rec))
1050
1051             else:
1052                 wght = rand(shape[0], shape[1])*(upp-low)
1053                 rec = np.full(shape, low)
1054
1055                 weights.append(np.add(wght, rec))
1056
1057         return weights
1058
1059     def evaluate_particles(self):
1060
1061         for particle in self.particles:
1062             self.model.set_weights(particle.get_weights())
1063             train_loss, train_acc = self.model.evaluate(self.training_x, self.
1064             training_y, verbose = 0)
1065
1066             particle.update_valuation(train_acc)
1067
1068             if(train_acc > self.best_evaluation):
1069                 self.best_particle = particle.get_weights()
1070                 self.best_evaluation = train_acc
1071
1072     def isclose(self, a, b, rel_tol=1e-09, abs_tol=0.0):
1073         return abs(a-b) <= max(rel_tol * max(abs(a), abs(b)), abs_tol)
1074
1075     def update_particles(self):
1076
1077         for particle in self.particles:
1078             particle.update(self.best_particle)
1079
1080

```

```

1082     def get_particles(self):
1083         return self.particles
1084
1085     def start_pso(self):
1086
1087         for i in range(self.num_iters):
1088             partly_best_solution = self.best_evaluation
1089             self.update_particles()
1090             self.evaluate_particles()
1091
1092             if(self.isclose(partly_best_solution, self.best_evaluation, 0.001)):
1093                 self.combo += 1
1094             else:
1095                 self.combo = 0
1096
1097             if(self.combo == 5):
1098                 self.particles.sort(key = lambda x: x.best_valuation)
1099
1100                 velocity = self.make_velocity(self.shapes)
1101
1102                 weights = self.make_weights(self.shapes, self.lower_bound, self.
upper_bound)
1103                 self.particles[0] = Particle(weights, velocity, self.w, self.c1,
self.c2,
1104                                             self.lower_bound, self.upper_bound,
self.particles[0].id)
1105
1106                 weights = self.make_weights(self.shapes, self.lower_bound, self.
upper_bound)
1107                 self.particles[1] = Particle(weights, velocity, self.w, self.c1,
self.c2,
1108                                             self.lower_bound, self.upper_bound,
self.particles[1].id)
1109
1110                 weights = self.make_weights(self.shapes, self.lower_bound, self.
upper_bound)
1111                 self.particles[2] = Particle(weights, velocity, self.w, self.c1,
self.c2,
1112                                             self.lower_bound, self.upper_bound,
self.particles[2].id)
1113
1114                 weights = self.make_weights(self.shapes, self.lower_bound, self.
upper_bound)
1115                 self.particles[3] = Particle(weights, velocity, self.w, self.c1,
self.c2,
1116                                             self.lower_bound, self.upper_bound,
self.particles[3].id)
1117
1118                 weights = self.make_weights(self.shapes, self.lower_bound, self.
upper_bound)
1119                 self.particles[4] = Particle(weights, velocity, self.w, self.c1,
self.c2,
1120                                             self.lower_bound, self.upper_bound,
self.particles[4].id)
1121                 self.combo = 0
1122                 self.evaluate_particles()
1123
1124                 self.history.append(self.best_evaluation)
1125
1126
1127         return self.best_particle

```

Listing 2: Klasa korišćena za sam algoritam