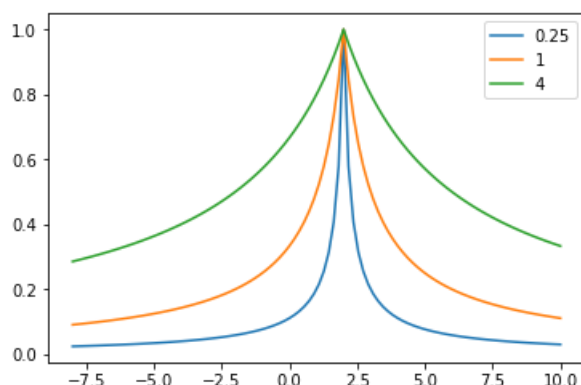


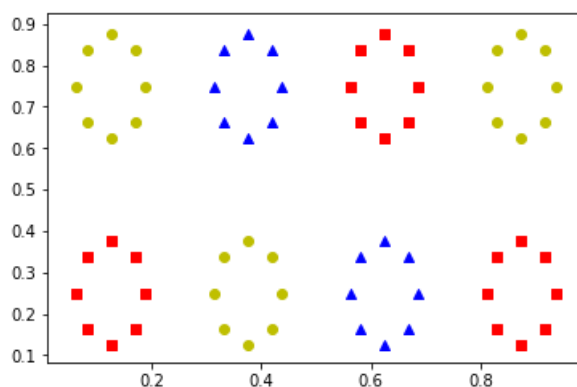
1.



Prikaz izlaza neurona tipa 2 korištenjem različitih parametara  $s$ . Iz ovog grafa možemo zaključiti da nam parametar  $s$  određuje toleranciju sličnosti između primjera i centroida. Za manji parametar  $s$  više kažnjavamo primjere koji su udaljeniji od centroida (funkcija daje manju sličnost pa je i tolerancija manja), dok za veći parametar  $s$  povećavamo toleranciju odstupanja vrijednosti primjera od centroida (funkcija daje veću sličnost pa je i tolerancija veća). Izlaz neurona koji ima 2 ulaza predstavlja sličnost točke  $(x_1, x_2)$  i centroida  $(w_1, w_2)$ . Parametrom  $s_1$  određuje se tolerancija odstupanja točke  $x_1$  od točke  $w_1$ , dok se parametrom  $s_2$  određuje tolerancija odstupanja točke  $x_2$  od točke  $w_2$ .

2.

Za prikaz je korištenja biblioteka *matplotlib*.



Na slici možemo vidjeti da su podaci grupirani u 8 skupina eliptičnog oblika te da podaci nisu linearno odvojivi.

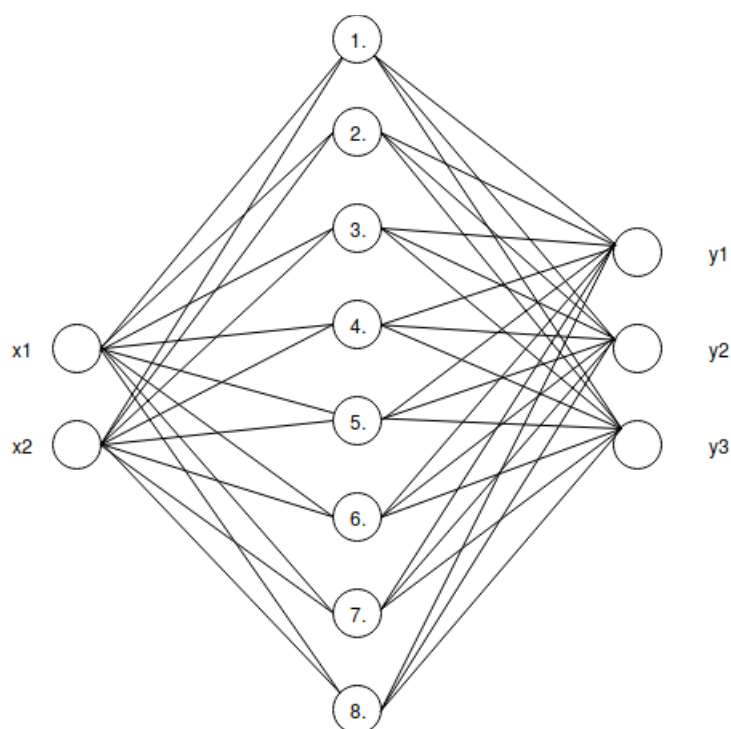
Ako pretpostavimo da svaki od 8 neurona prvog skrivenog sloja predstavlja jedan od 8 skupova podataka prikazanih na grafu iznad, tada bi optimalna vrijednost parametara  $w_i$  svakog neurona modelirala centroid jednog od skupova podataka.

Parametre neurona izlaznog sloja postavljamo tako da odabiremo skupove podataka koji pripadaju istoj klasi. Tako bi za 1. neuron u izlaznom sloju težine  $w1$ ,  $w4$  i  $w6$  trebale biti pozitivne, a ostale težine  $wi$  negativne. Za primjer koji pripada prvoj klasi, 1. neuron bi tada dao izlaz koji je blizu 1, dok bi ostali neuroni davali izlaz blizu nule.

Izlazni sloj	Prvi skriveni sloj							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8
Neuron 1.	+100	-100	-100	+100	-100	+100	-100	-100
Neuron 2.	-100	+100	-100	-100	-100	-100	+100	-100
Neuron 3.	-100	-100	+100	-100	+100	-100	-100	+100

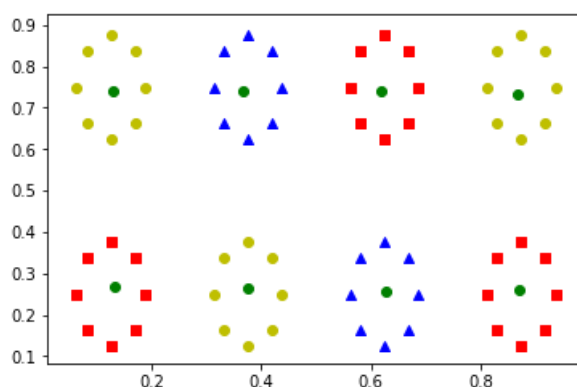
Ulazni sloj	Prvi skriveni sloj ( $w1, w2$ )							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
x1	0.15	0.38	0.63	0.85	0.15	0.38	0.63	0.85
x2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.25	0.25	0.25

[illegible]



Grafički prikaz neuronske mreže čiji parametri su navedeni u gornjim tablicama.

4.



(w1, w2)	(s1, s2)
0.619973 0.742226	-0.0562 -0.1799
0.869142 0.731683	0.1592 -0.3237
0.626455 0.257441	-0.0890 0.1862
0.127938 0.741718	0.0908 0.1661
0.367101 0.739431	-0.0882 -0.2224
0.132395 0.268049	-0.1634 0.3474
0.870595 0.258720	-0.1322 0.2159
0.374776 0.262722	0.1376 0.3140

Naučeni parametri ( $w1$ ,  $w2$ ) su ujedno i centriodi skupova, kao što smo i pretpostavili u prethodnom zadatku. Možemo primijetiti da su parametri  $s1$  i  $s2$  jednaki udaljenosti centroida do ruba elipse te da je  $s2$  približno duplo veći od  $s1$ , kao što smo i pretpostavljali. Pogreška učenja je manja od  $10^{-7}$ .

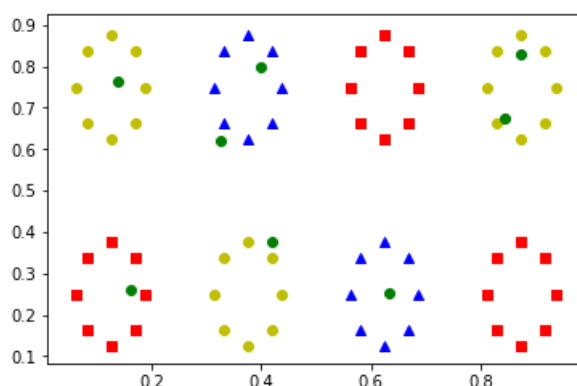
U nastavku slijedi prikaz težina neurona izlaznog sloja:

Neuron 1.	Neuron 2.	Neuron 3.
0.4026849945417258	-0.06110901289703537	-2.999168985522053
81.87106142745205	-42.51530403212951	-40.08452189496864
-37.52574810921834	43.49577548991579	-20.14347470978033
-58.67982102153743	-19.14166635827046	78.35699426594525
-36.58224210706143	55.31670352545284	-15.447785372578286
-22.635419318436792	-53.59819351522416	73.80654179186186
45.94281800180695	-43.76772274710136	-31.43249324851358
52.436337805940404	-37.40633494911651	-18.059173137225088
-27.930662686740032	65.3594363606356	-33.99642875087302

Uz zanemarenje prvog reda (težina  $w_0$ ) vidljivo je da pozitivne težine označavaju neurone koji pripadaju istoj grupi podataka, dok su ostale eliptične skupine podataka označene negativnim težinama. Veze s neuronima prethodnog sloja koji pripadaju istim skupinama imaju velike pozitivne težine. Prvi neuron označava skupine crvene, drugi žute, a treći plave boje.

5.

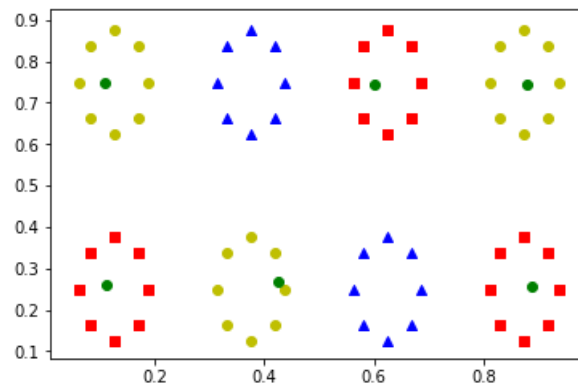
Učenje mreže  $2 \times 8 \times 4 \times 3$  trajalo je duže od učenja mreže  $2 \times 8 \times 3$  jer povećavanjem broja neurona mreža ima veći kapacitet te samim time i više parametara koje je potrebno ispravno prilagoditi, što zahtijeva više vremena. Svaka iteracija postupka učenja nove mreže traje duže, ali nova mreža zbog većeg kapaciteta ima bržu konvergenciju pogreške. Pogreška učenja je manja od  $10^{-7}$ .



Primjećujemo da su neki neuroni i dalje ostali centri dok su neki promijenili položaj. Možemo zaključiti da zbog većeg kapaciteta nove mreže neuroni prvog skrivenog sloja ne moraju imati ulogu centroida skupa da bi mreža ispravno naučila sve primjere.

6.

Pogreška učenja mreže 2x6x4x3 je manja od  $10^{-7}$ .



Zbog toga što u prvom skrivenom sloju imamo 6 neurona, ne dobivamo centroide svih skupova podataka (vidljivo na plavim skupovima). Klasifikacija podataka plavog skupa ispravljena je tek u sljedećem sloju s 4 neurona.