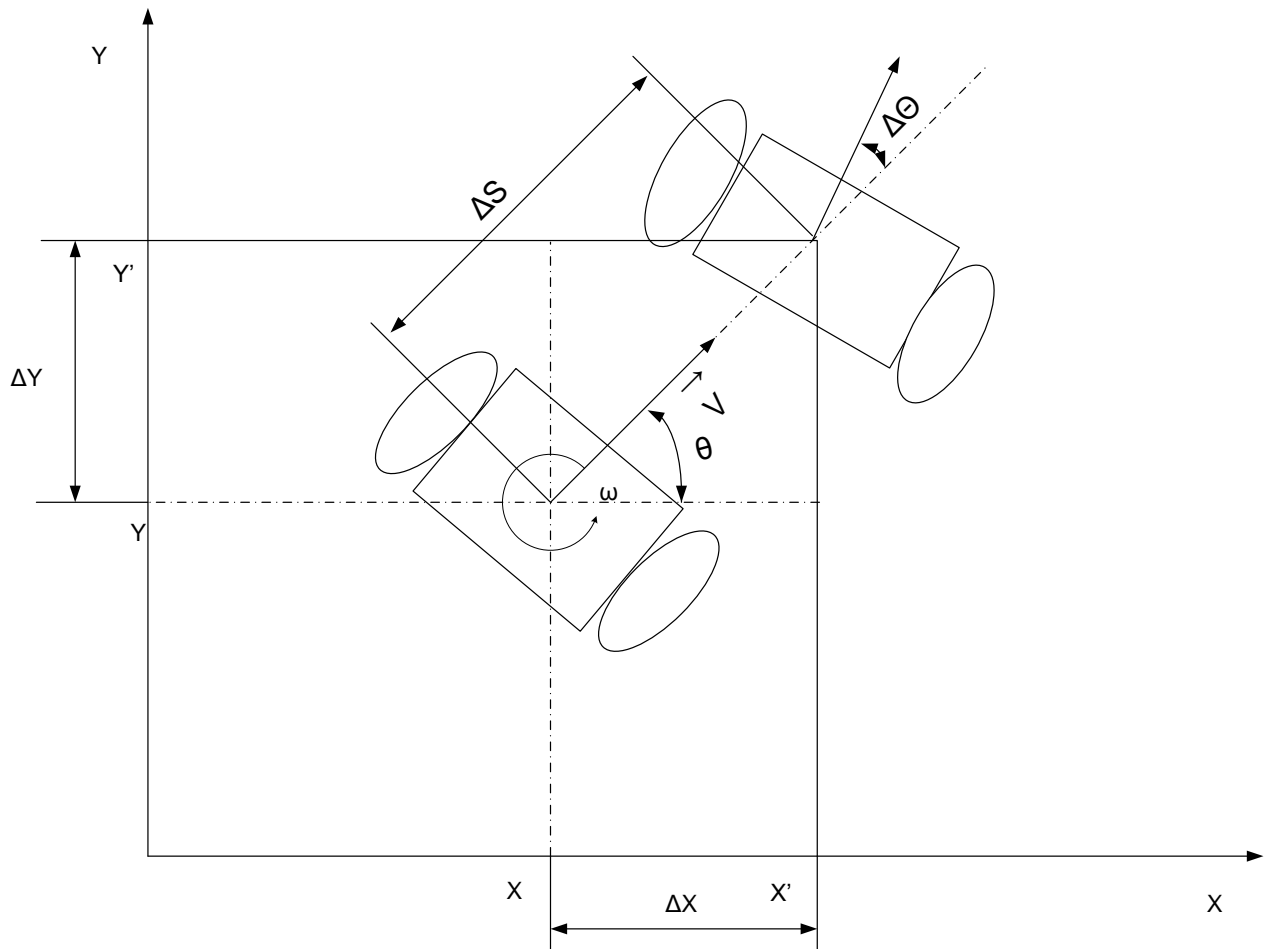




1. Математички доказ закона кретања мобилног робота

У нашем случају усвојен је модел кретања робота на основу пређеног пута (одометрија). У овом моделу управљање $u(t)$ је дефинисано пређеним путем тачкова мобилног робота током тачно дефинисаног временског интервала. На основу читавања са енкодера, и након интеграције, могу се одредити параметри пређеног пута неопходни за постављање модела. Можемо закључити да од улазних података у овом моделу кретања имамо само пређени пут десног тачка и пређени пут левог тачка. Да би извели коначне једначине кретања мобилног робота неопходно је познавати и позицију (координате x и y) робота у тренутку $t-1$, и оријентацију (угао θ).



Слика 1.1: Мобилни робот у две различите позиције и оријентације

Пређени пут десног тачка може се израчунати према формули:

$$\Delta S_d = \frac{b * \pi * \Delta \theta d}{180^\circ} \quad (1.1)$$

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



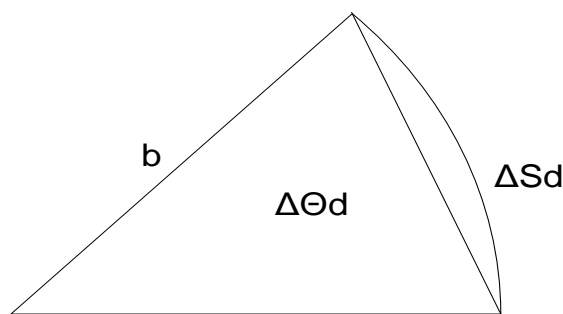
Потпуно аналогно горњем изразу можемо написати и формулу за пређени пут левог точка:

$$\Delta S_l = \frac{b * \pi * \Delta \theta_d}{180^\circ} \quad (1.2)$$

Из формуле 1.1. и формуле 1.2. можемо одмах изразити колико нам је $\Delta \theta_d$ и $\Delta \theta_l$. Међутим, да би избегли утицај фактора π послужићемо се следећом апроксимацијом. Као што се види на слици 1.3 зависност угла $\Delta \theta_d$ од ΔS_d и b приказана је једначином



Слика 1.2: Растојање између тачкова мобилног робота



Слика 1.3: Зависност угла од пређеног пута и полупречника

$$\sin(\Delta \theta_d) = \frac{\Delta S_d}{b} \quad (1.3)$$

и како је

$$\sin(\Delta \theta_d) \approx \Delta \theta_d \quad (1.4)$$

за мале углове добијамо:

$$\Delta \theta_d = \frac{\Delta S_d}{b} \quad (1.5)$$

Потпуно аналогно добија се и за $\Delta \theta_l$. На основу свега овога можемо написати формулу за $\Delta \theta$. Она има следећи облик:

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta d - \Delta\theta l}{2} = \frac{\frac{\Delta S d}{b} - \frac{\Delta S l}{b}}{2} = \frac{\Delta S d - \Delta S l}{2 * b} . \quad (1.6)$$

Да би одредили промену x и y координате, неопходно је наћи пређени пут центра маса робота. Пређени пут центра маса налази се из следеће формуле:

$$\Delta S = \frac{\Delta S d + \Delta S l}{2} . \quad (1.7)$$

У тренутку t положај робота је следећи:

$$x' = x + \Delta x \quad (1.8)$$

$$y' = y + \Delta y \quad (1.9)$$

$$\theta' = \theta + \Delta\theta . \quad (1.10)$$

Даљом анализом горе изведених израза можемо написати следеће изразе:

$$x' = x + \Delta S \cos(\theta + \Delta\theta) \quad (1.11)$$

$$y' = y + \Delta S \sin(\theta + \Delta\theta) \quad (1.12)$$

$$\theta' = \theta + \Delta\theta . \quad (1.13)$$

И, коначно, када у горе написане изразе уврстимо формулу 1.6 и формулу 1.7 добијамо коначне једначине кретања нашег робота које гласе:

$$x' = x + \frac{\Delta S d + \Delta S l}{2} \cos\left(\theta + \frac{\Delta S d - \Delta S l}{2b}\right) \quad (1.14)$$

$$y' = y + \frac{\Delta S d + \Delta S l}{2} \sin\left(\theta + \frac{\Delta S d - \Delta S l}{2b}\right) \quad (1.15)$$

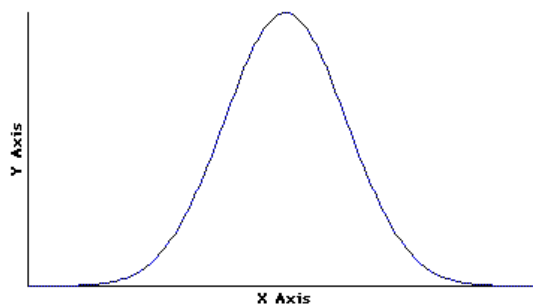
$$\theta' = \theta + \frac{\Delta S d - \Delta S l}{2b} . \quad (1.16)$$

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Задатак 1.1.2.

За потребе задатка су направљени модели кретања робота за сва три типа кретања, за: транслаторно, кретање по квадрату и за кретање робота по трајекторији троугла у позитивном математичком смеру. Симулирање кретања робота је урађено применом MATLAB софтвера. Само кретање робота је одрађено једначинама 1.14, 1.15 и 1.16. У једначинама кретања робота примећујемо да су улазни параметри ΔS_d и ΔS_l , док су излазни параметри саме координате пола транслације, у нашем случају је то центар масе, x и y и обртна компонента угао θ . Све управљачке величине подлежу Гаусовој расподели, слика 1.1.2.1, као што се може видети из кода који је дат у прилогу.

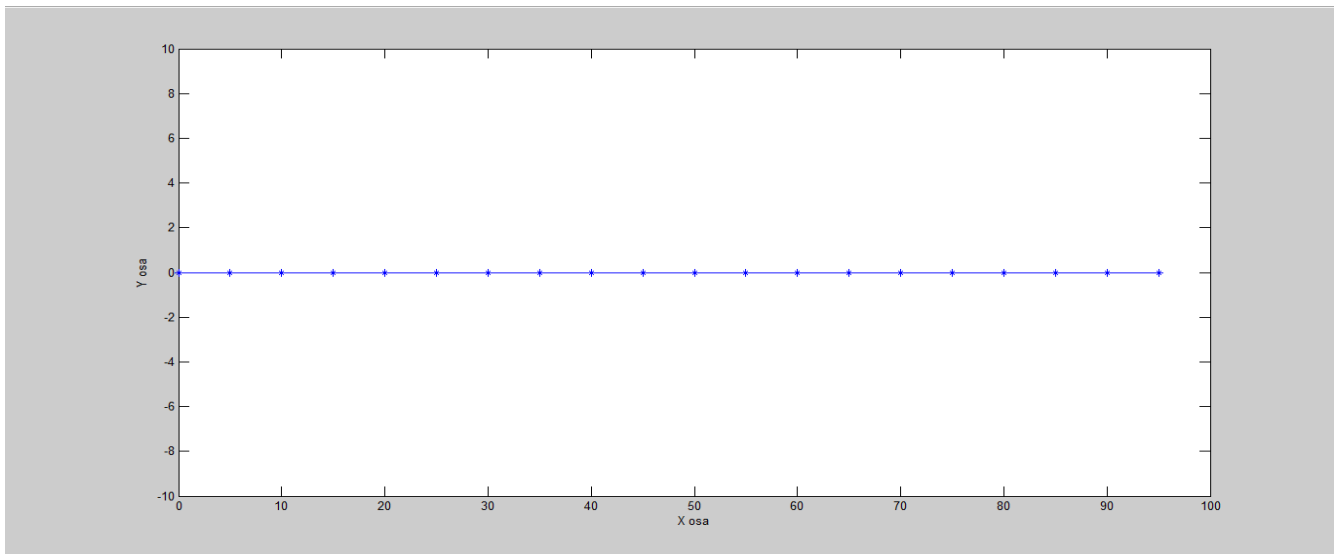


Слика 1.1.2.1. пример Гаусове криве

Употребом Гаусове или нормалне расподеле симулирамо грешке у извршавању функција робота тј. тако добијамо представу стварног кретања робота. Под грешке у извршавању функције робота мислимо да разлику између датих команди роботу за извршавање одређених функција ради кретања по замишљеној трајекторији и стварних мерљивих вредности кретања робота по тој замишљеној трајекторији. Те грешке настају због разних физичких фактора у самом роботу и физичких фактора околине. Физички фактори у роботу који утичу на кретање могу бити несавршености точкава робота, преносног механизма и слично, а физички фактори околине на пример подлога по којој се робот креће која може да проузрокује клизање точкава.

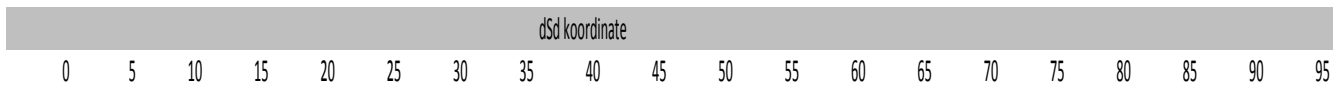
Први задатак је био да симулирамо транслаторно кретање робота. При транслаторном кретању обртна компонента, угао ротације θ , мора да буде једнака нули. Како је покретање робота условљено покретањем његових точкава долазимо до закључка да наш робот може да врши транслаторно кретање само ако се креће унапред или уназад. Замишљена трајекторија транслаторног кретања је дата на слици 1.1.2.2

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

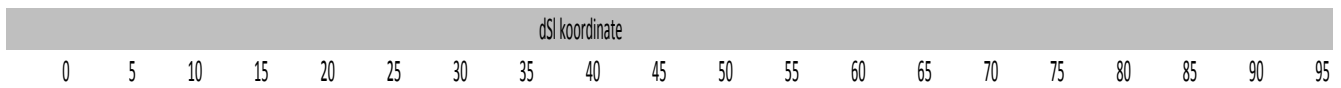


Слика 1.1.2.2. Идеална трајекторија робота при транслаторном кретању

Приказ координата које су добијене као резултат симулације при којој није употребљена Гаусова расподела.



Слика 1.1.2.3. ΔSd координате



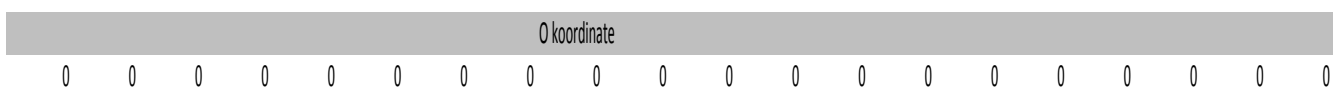
Слика 1.1.2.4. ΔSI координате



Слика 1.1.2.5. x координате



Слика 1.1.2.6. y координате

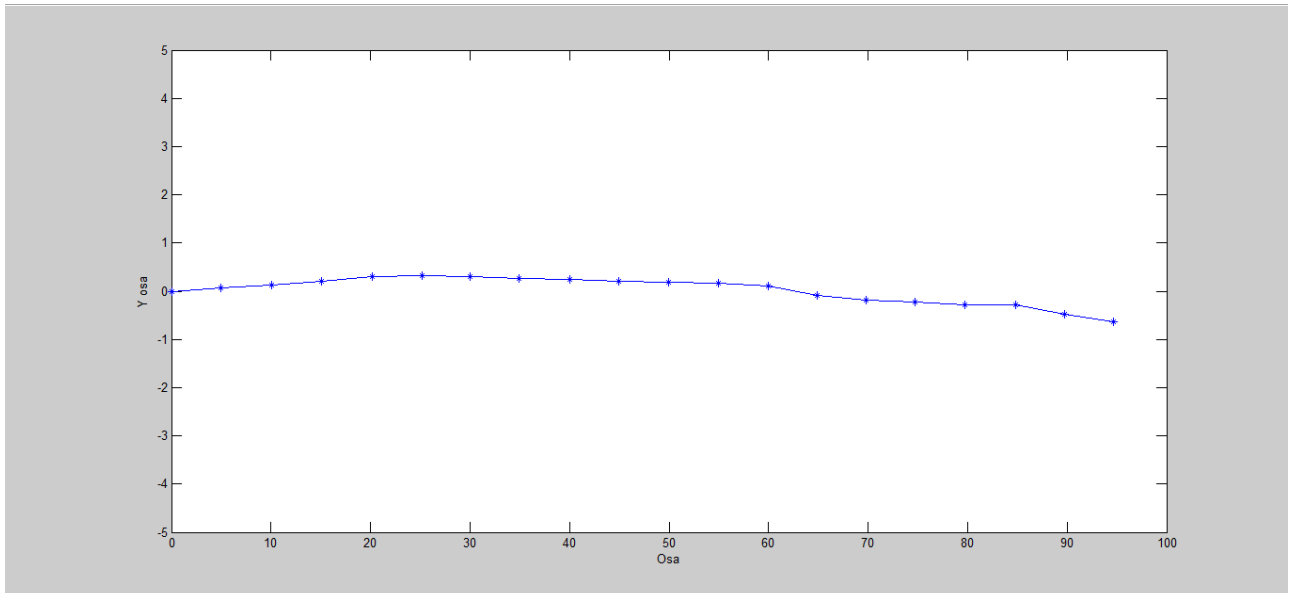


Слика 1.1.2.7. θ координате

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Симулација кретања робота при којој је узета девијација Гаусове криве 0,1 је приказана на слици 1.1.2.8.



Слика 1.1.2.8. Трајекторија робота при транслаторном кретању

Приказ координата које су добијене као резултат симулације са девијацијом Гаусове криве 0,1.

dSd koordinate																			
0	5.085773	10.13071	15.21332	20.30311	25.28839	30.07602	34.94896	40.01383	44.91234	49.92604	54.95622	59.86322	64.65001	69.5871	74.56171	79.55962	84.7774	89.52771	94.3879

Слика 1.1.2.9. ΔSd координате

dSI koordinate																			
0	4.930884	9.940947	14.99456	19.98137	25.08215	30.03169	34.99343	40.076	45.0289	49.99971	55.0397	60.02202	65.13656	70.01617	74.87331	79.81724	84.93109	89.97522	94.94971

Слика 1.1.2.10. ΔSI координате

X koordinate																			
0	5.007728	10.03491	15.10263	20.1398	25.18277	30.05128	34.96851	40.04219	44.96771	49.95996	54.99499	59.93931	64.88587	69.79338	74.70902	79.67969	84.84548	89.73934	94.65387

Слика 1.1.2.11. x координате

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Y koordinate

0 0.07757 0.134038 0.196816 0.303802 0.326682 0.298062 0.265295 0.245032 0.202931 0.195247 0.17176 0.113882 -0.08763 -0.17881 -0.22653 -0.27714 -0.28999 -0.47147 -0.63768

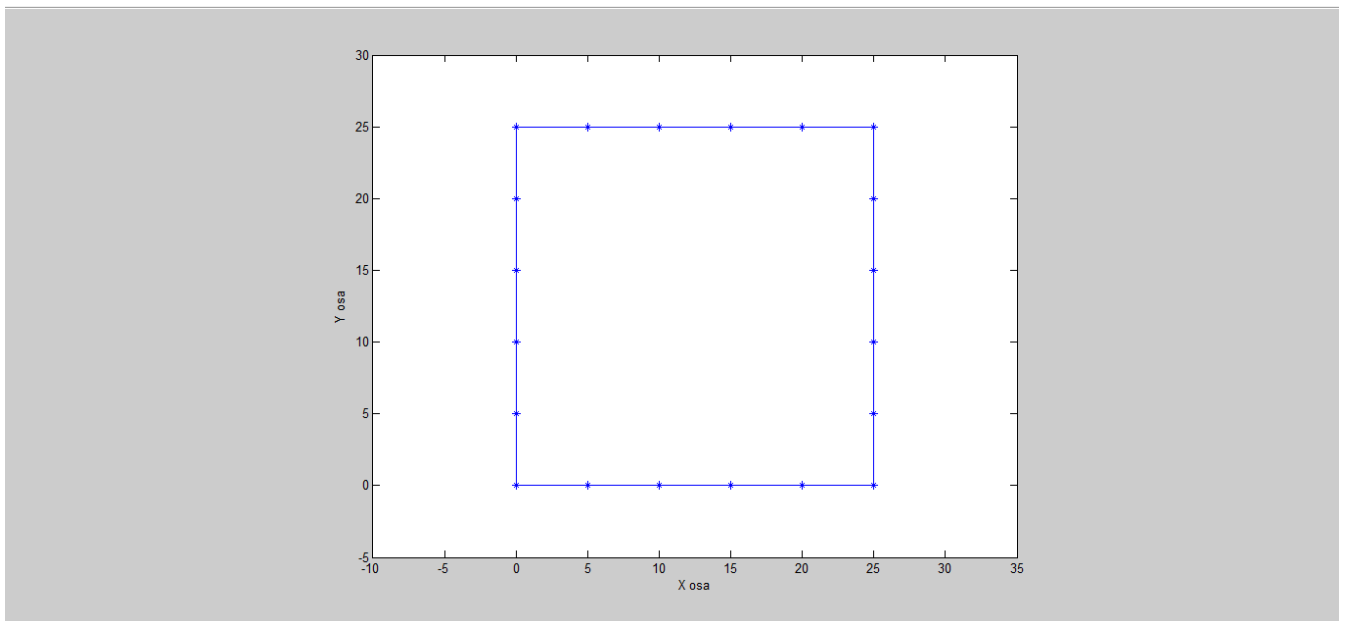
Слика 1.1.2.12. у координате

O koordinate

0 0.007744 0.009488 0.010938 0.016087 0.010312 0.002217 -0.00222 -0.00311 -0.00583 -0.00368 -0.00417 -0.00794 -0.02433 -0.02145 -0.01558 -0.01288 -0.00768 -0.02238 -0.02809

Слика 1.1.2.13. θ координате

У другом делу задатка је потребно симулирати кретање робота по квадратној трајекторији у позитивном математичком смеру. Кретање робота по квадратној трајекторији се може разложити на четири транслаторна кретања. Кретање на свакој од страна квадрата може се сматрати транслаторно кретање. Ова транслаторна кретања треба да спаја тренутак када робот ротира око своје осе за по 90 степени. Овај приступ разлагању кретања по квадрату се користио и при прављењу кода за симулацију кретања робота. На слици 1.1.2.14. је приказана трајекторија кретања робота по квадрату.



Слика 1.1.2.15.

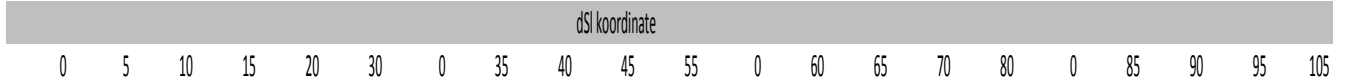
Координате које осликавају приказ идеалног кретања робота по квадрату су дате на сликама 1.1.2.16. до 1.1.2.20.

dSd koordinate

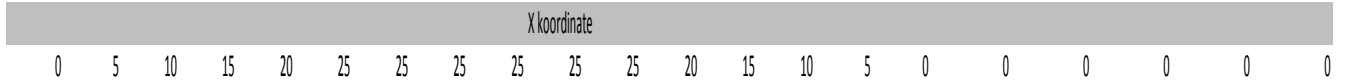
0 5 10 15 20 30 0 35 40 45 55 0 60 65 70 80 0 85 90 95 105

Слика 1.1.2.16. ΔSd координате идеалног квадратног кретања

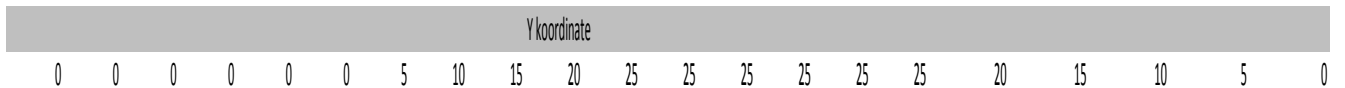
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



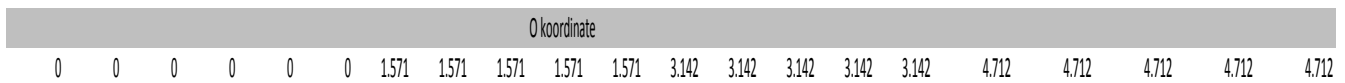
Слика 1.1.2.17. ΔSI координате идеалног квадратног кретања



Слика 1.1.2.18. x координате идеалног квадратног кретања

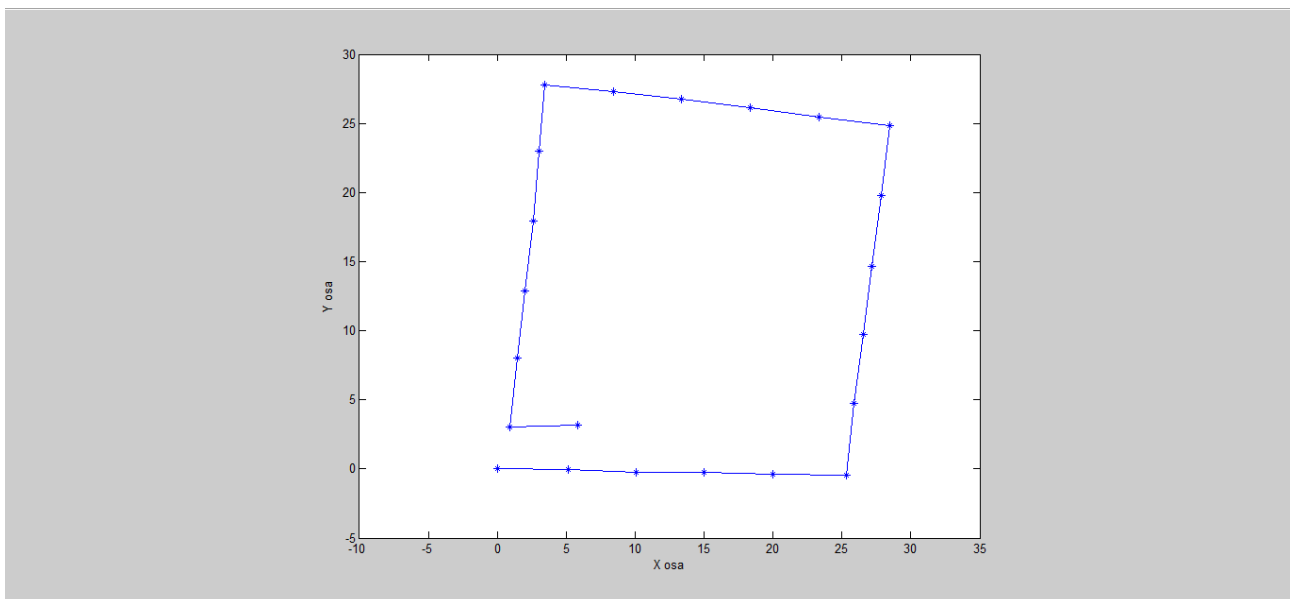


Слика 1.1.2.19. y координате идеалног квадратног кретања



Слика 1.1.2.20. θ координате идеалног квадратног кретања

У симулацију кретања робота такође је коришћена Гаусова расподела вероватноћа како би симулирали реалне услове кретања. Девијација у Гаусовој расподели износи 0,1. Трајекторија кретања робота је дата на слици 1.1.2.21.



Слика 1.1.2.21. Трајекторија кретања робота симулирањем реалних услова

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Координате које су добијене приликом ове симулације су дате на сликама 1.1.2.22. до 1.1.2.2

dSd koordinate

0 5.053767 9.827882 14.85976 19.8164 25.17424 30.47773 35.47143 40.45093 45.5999 50.74162 55.81334 60.86223 65.93492 70.96431 76.05315 80.9721969 86.11603492 91.04054209 95.86939045 100.8452457

Слика 1.1.2.22. ΔSd координате реалног квадратног кретања

dSI koordinate

0 5.183389 10.26961 15.13884 20.1731 25.45004 30.52258 35.59406 40.58164 45.72255 50.7897 55.95272 61.05619 66.02585 70.94712 75.83241 80.53798162 85.57050068 90.70753053 95.69730629 100.729227

Слика 1.1.2.23. ΔSI координате реалног квадратног кретања

X koordinate

0 5.118148 10.04481 14.99528 19.98956 25.3067 25.88599 26.54447 27.1813 27.83259 28.44301 23.36874 18.3359 13.34949 8.405379 3.441819 3.030679961 2.59829362 2.036527522 1.461662886 0.887850102

Слика 1.1.2.24. x координате реалног квадратног кретања

Y koordinate

0 -0.06635 -0.25213 -0.28095 -0.38942 -0.44124 4.714334 9.703654 14.64634 19.74989 24.81769 25.48046 26.14239 26.73222 27.28868 27.77232 22.97760333 17.90782987 12.90852485 8.032986364 3.062107784

Слика 1.1.2.25. y координате реалног квадратног кретања

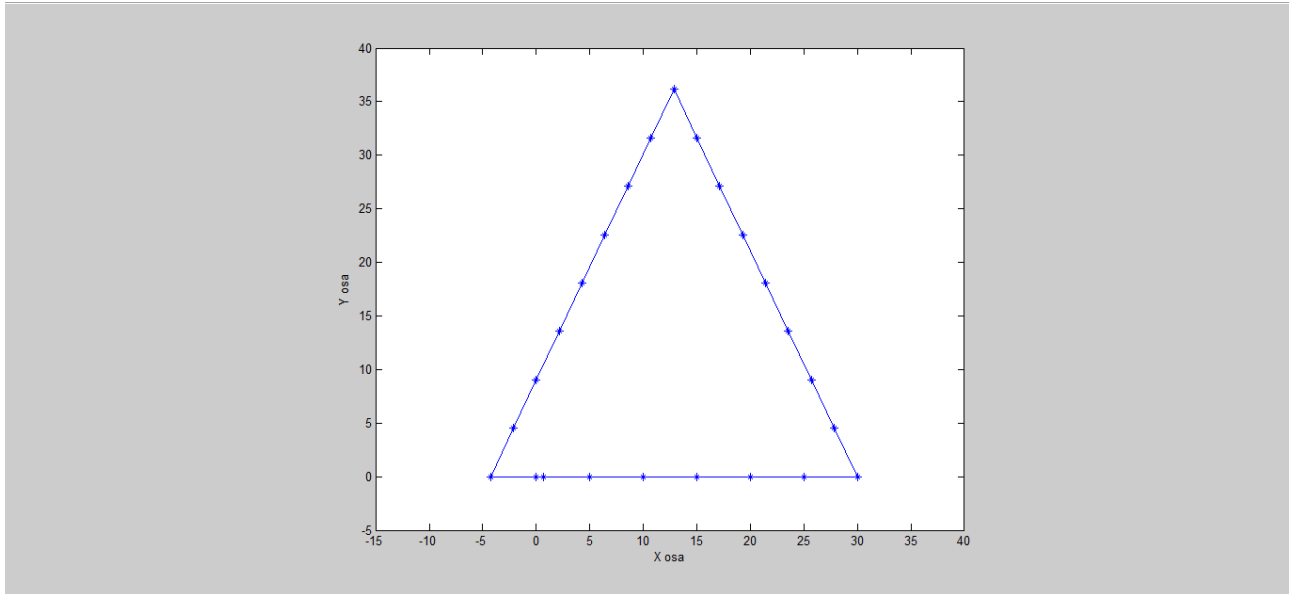
O koordinate

0 -0.00648 -0.02209 -0.01395 -0.01784 -0.01379 1.447355 1.443466 1.443062 1.443465 1.447194 3.016279 3.01355 3.018702 3.024107 3.034285 4.616175862 4.621741811 4.611115676 4.603069307 4.600266038

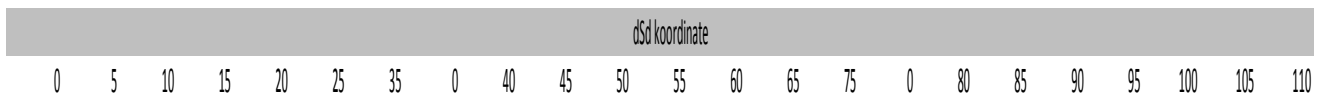
Слика 1.1.2.26. θ координате идеалног квадратног кретања

У трећем делу задатака тражено је да се симулира кретање робота по троуглу у позитивном математичком смеру. Коришћена је аналогија другом делу задатка и кретање по торуглу је разлжено на три трансаторна кретања. Између сваког трансаторног кретања је скретање са курса робота за одређени угао како би се трансаторна кретања повезала у трајекторију кретања по торуглу. На слици 1.1.2.27. приказана је идеална трајекторија робота који се креће по квадрату у позитивном математичком смеру. Трајекторија је приказана у Декартовом координатном систему. На сликама 1.1.2.28. до 1.1.2.32. приказане су координате оваквог кретања.

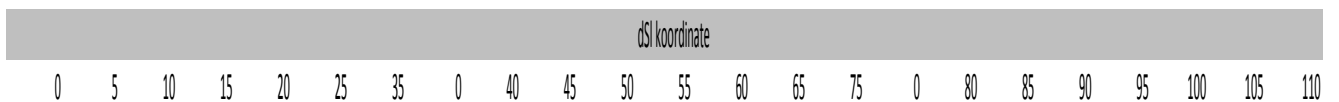
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



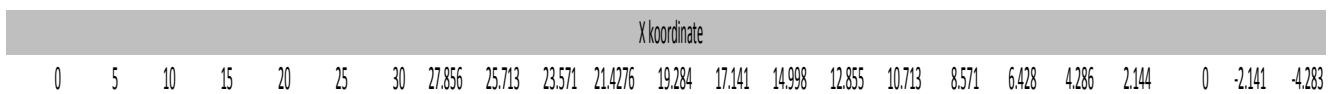
Слика 1.1.2.27. Трајекторија идеалне путање побота по троуглу



Слика 1.1.2.28. ΔSd координате идеалног кретања по троуглу



Слика 1.1.2.29. ΔSI координате идеалног кретања по троуглу



Слика 1.1.2.30. x координате идеалног кретања по троуглу



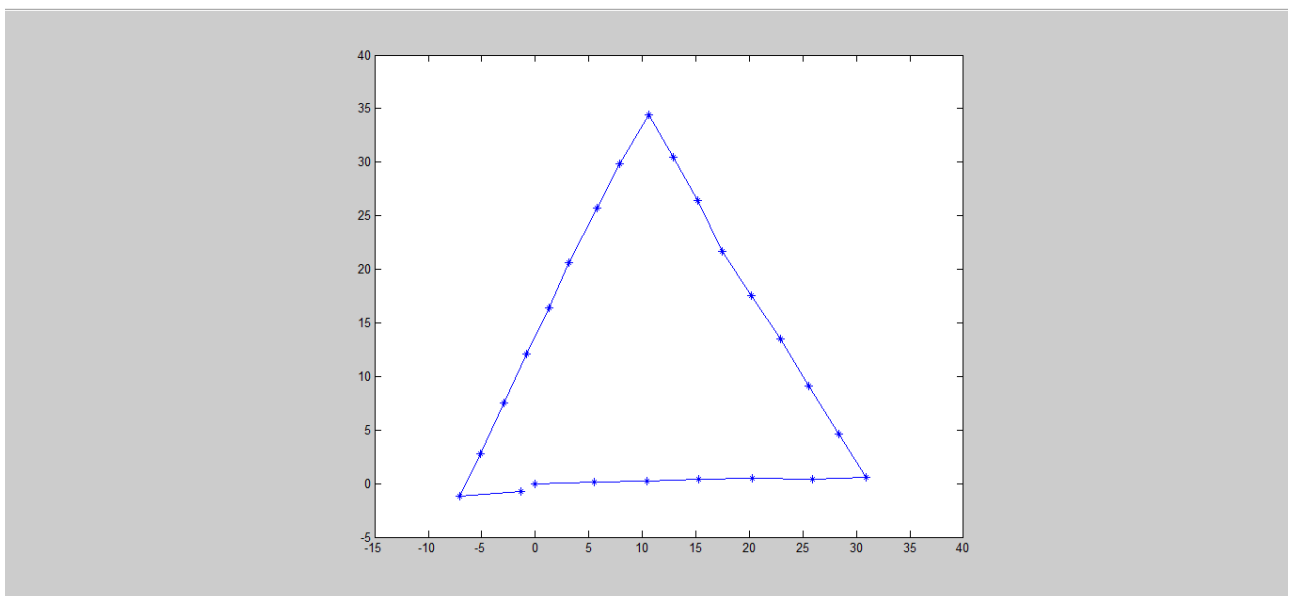
Слика 1.1.2.31. y координате идеалног кретања по троуглу

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

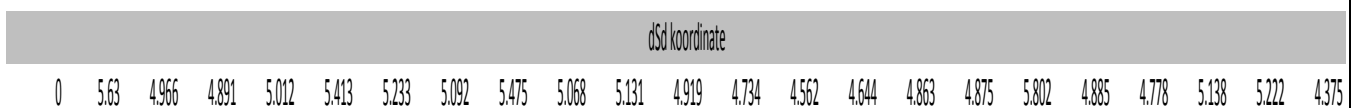


Слика 1.1.2.32. θ координате идеалног кретања по квадрату

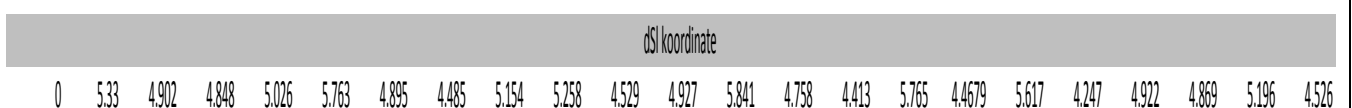
Симулација реалног кретања робота је урађена користећи Гаусову расподелу вероватноће за одређивање улазних координата за једничине 1.14, 1.15 и 1.16. На тај начин добијена је трајекторија која је приказана на слици 1.1.2.33. и координате које су приказане на сликама 1.1.2.34. до 1.1.2.38. У Гаусовој расподели је коришћена девијација 0,1.



Слика 1.1.2.33. Трајектрија реалног кретања робота по троуглу



Слика 1.1.2.34. ΔSd координате реалног кретања по троуглу



Слика 1.1.2.35. ΔSl координате реалног кретања по троуглу

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



X koordinate

0 5.47773 10.41083 15.27942 20.29711 25.8847 30.94573 28.37739 25.51907 22.89648 20.15929 17.49603 15.14239 12.92017 10.63095 7.843333 5.742771 3.165664 1.330146 -0.82311 -2.89063 -5.09425 -7.04297

Слика 1.1.2.36. x координате реалног кретања по троуглу

Y koordinate

0 0.164523 0.270012 0.379436 0.474393 0.388239 0.570194 4.611485 9.091371 13.53822 17.51773 21.65802 26.39282 30.48897 34.39617 29.87204 25.69923 20.6044 16.42352 12.07788 7.521277 2.801538 -1.19947

Слика 1.1.2.37. y координате реалног кретања по троуглу

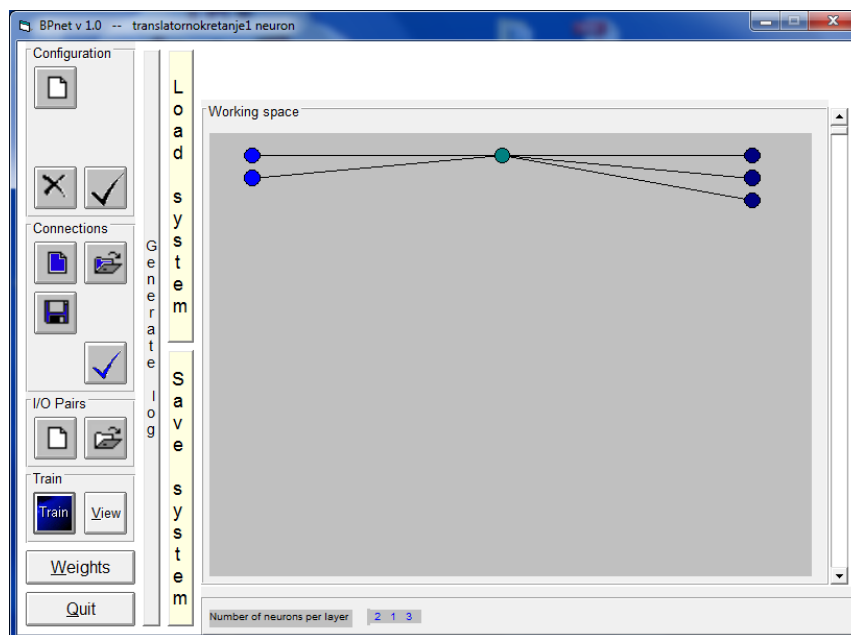
θ koordinate

0 0.015013 0.018197 0.020334 0.019628 0.002105 0.019021 2.106605 2.122659 2.113157 2.143229 2.142822 2.087469 2.077672 2.089227 4.205271 4.225651 4.234871 4.266784 4.259567 4.272998 4.274286 4.266718

Слика 1.1.2.38. θ координате идеалног кретања по квадрату

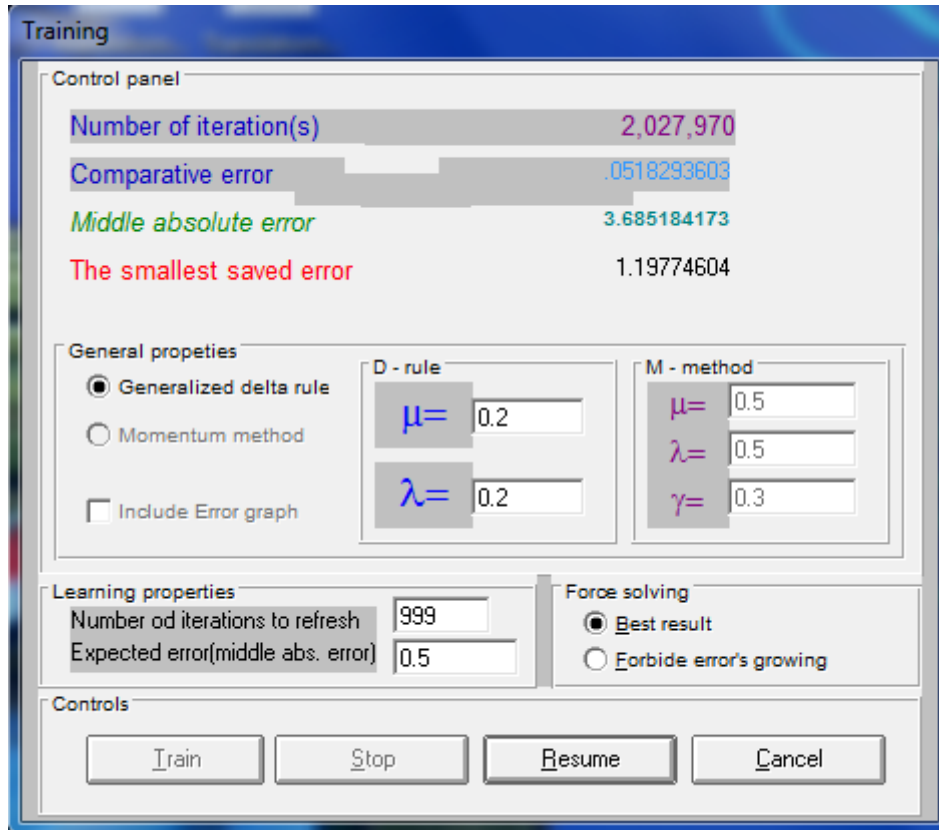
Задатак 1.2.1

Мрежу није било могуће истренирати уколико се постави мрежа са 1 или 2 неурона у средишњем слоју. За немогућност тренирања узимамо да мрежа не може да постигне тачност мању од 0,5 за 2 000 000 интерација при мењању свих параметара. Испитивали резултате које дају мреже да једним, два и више неурона у средњем слоју.

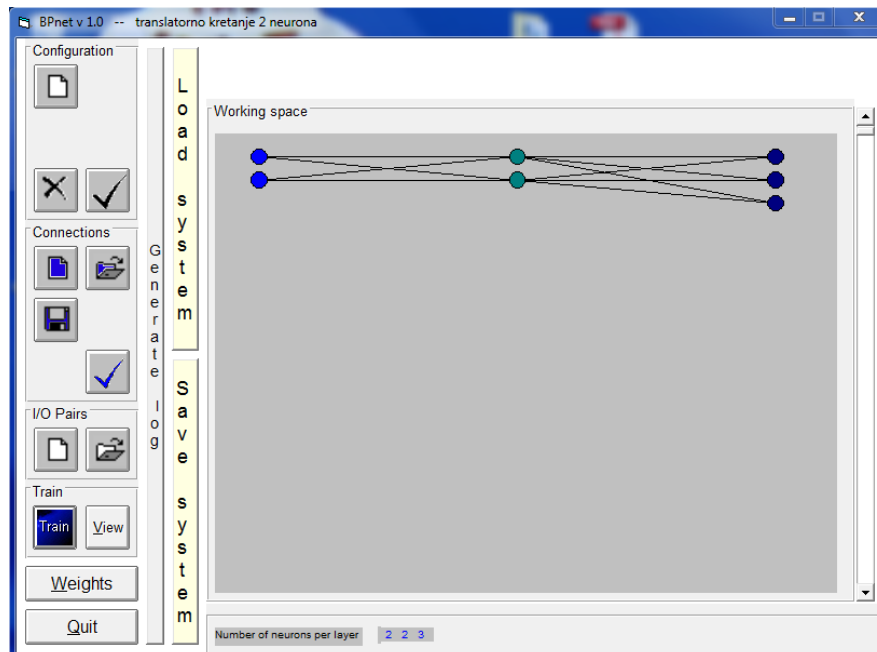


Слика 1.2.1.1. Мрежа са једним неуроном у средњем слоју

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

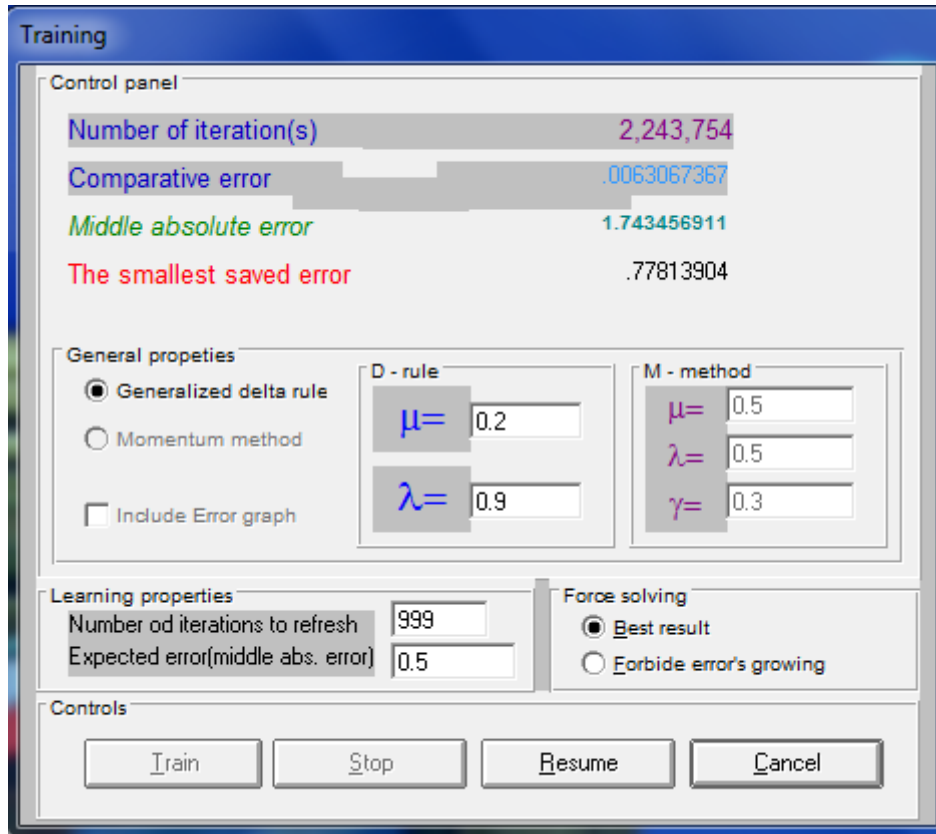


Слика 1.2.1.2. Тренирање мреже са једним неуроном у средњем слоју



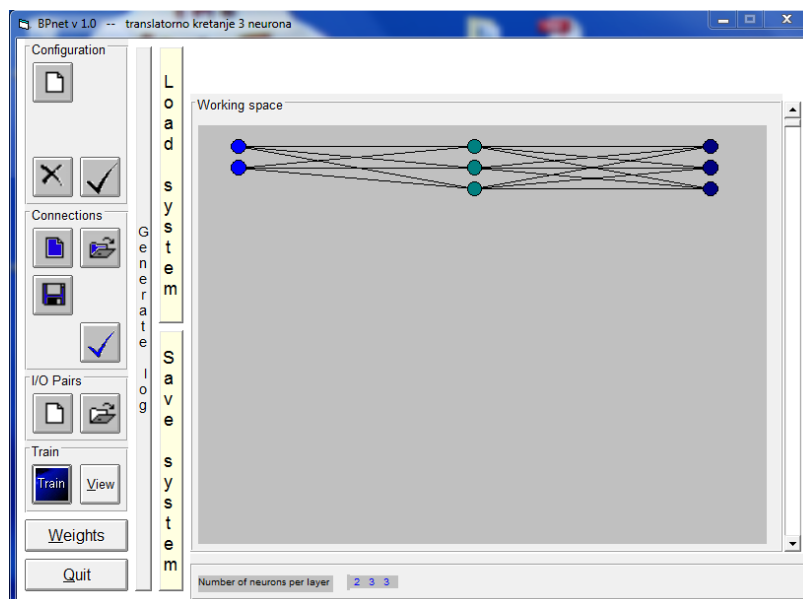
Слика 1.2.1.3. Мрежа са два неурона у средишњем слоју

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



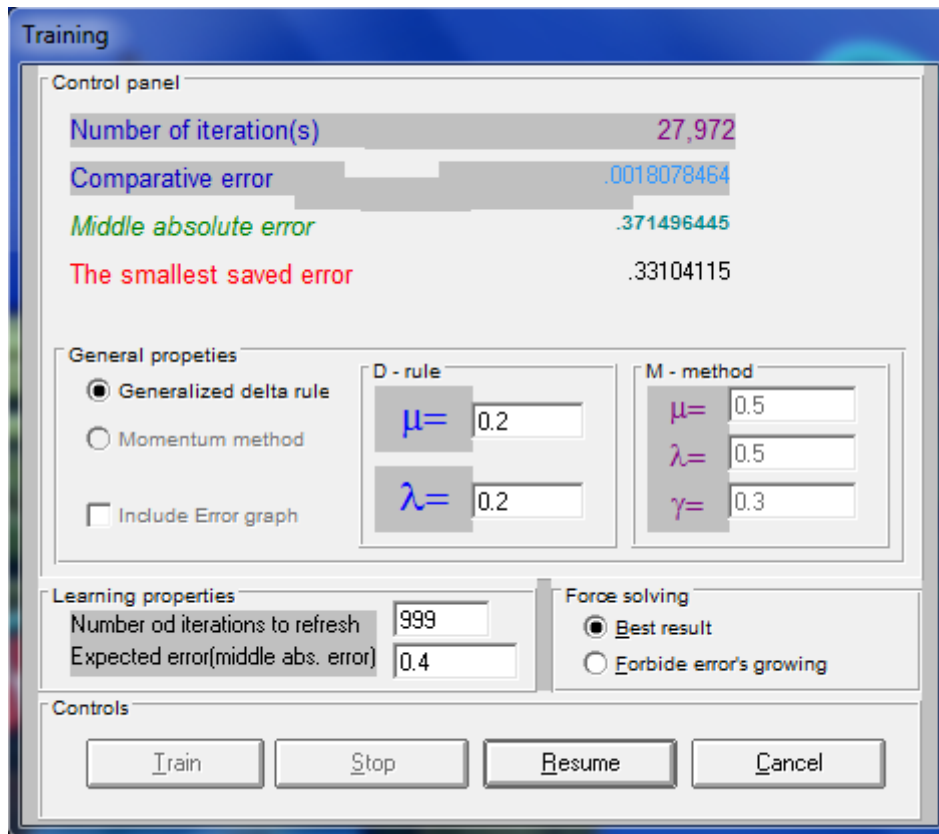
Слика 1.2.1.4. Тренирање мреже са два неурона у средњем слоју

- Са три неурона у средишњем слоју успели смо да истренирамо мрежу до тачности од 0,4. Проверавали смо резултате за 10 различитих вектора. Резултате тренирања можете видети на слици 1.2.1.7.



Слика 1.1.2.5. Мрежа са три неурона у средњем слоју

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 1.1.2.6. Тренирање мреже са три неурона у средњем слоју

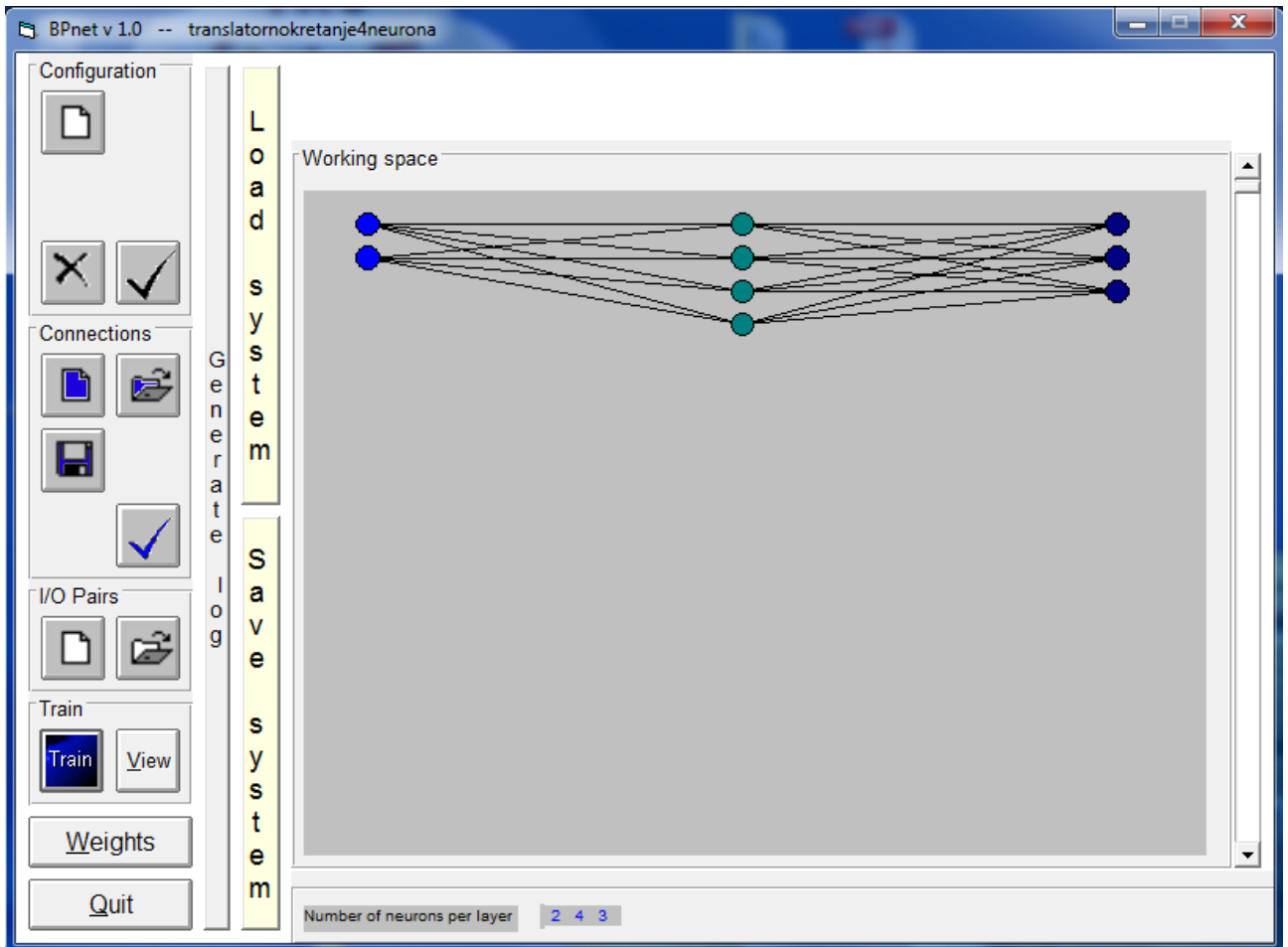
ulazne koordinate		koordinate			dobijene koordinate			razlike			
1	ΔS_d	ΔS_I	x	y	θ	x1	y1	θ_1	x-x1	y-y1	$\theta-\theta_1$
2	15.2133	14.9945	15.1026	0.1968	0.0109	9.577	-0.0229	0.003	5.5256	0.2197	0.0079
3	20.3031	19.9813	20.1397	0.3038	0.016	13.9522	-0.6703	0.0005	6.1875	0.9741	0.0155
4	25.2883	25.0821	25.1827	0.3266	0.0103	20.292	0.1234	-0.0062	4.8907	0.2032	0.0165
5	30.076	30.0316	30.05127	0.298	0.0022	27.569	-0.189	-0.0124	2.48227	0.487	0.0146
6	34.9489	34.9934	34.9685	0.2652	0.0022	34.6833	-0.2616	-0.0141	0.2852	0.5268	0.0163
7	74.5617	74.8733	74.709	-0.2265	-0.0155	74.3273	-0.3808	0.0007	0.3817	0.1543	0.0162
8	79.5596	79.8172	79.6796	-0.2771	-0.0128	79.6604	0.3602	0.0016	0.0192	0.6373	0.0144
9	50	50	50	0	0	50.8038	-0.3966	-0.0081	0.8038	0.3966	0.0081
10	60	60	60	0	0	59.7075	-0.4105	0.0032	0.2925	0.4105	0.0032

Слика 1.1.2.7. Резултати тренирања мреже

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

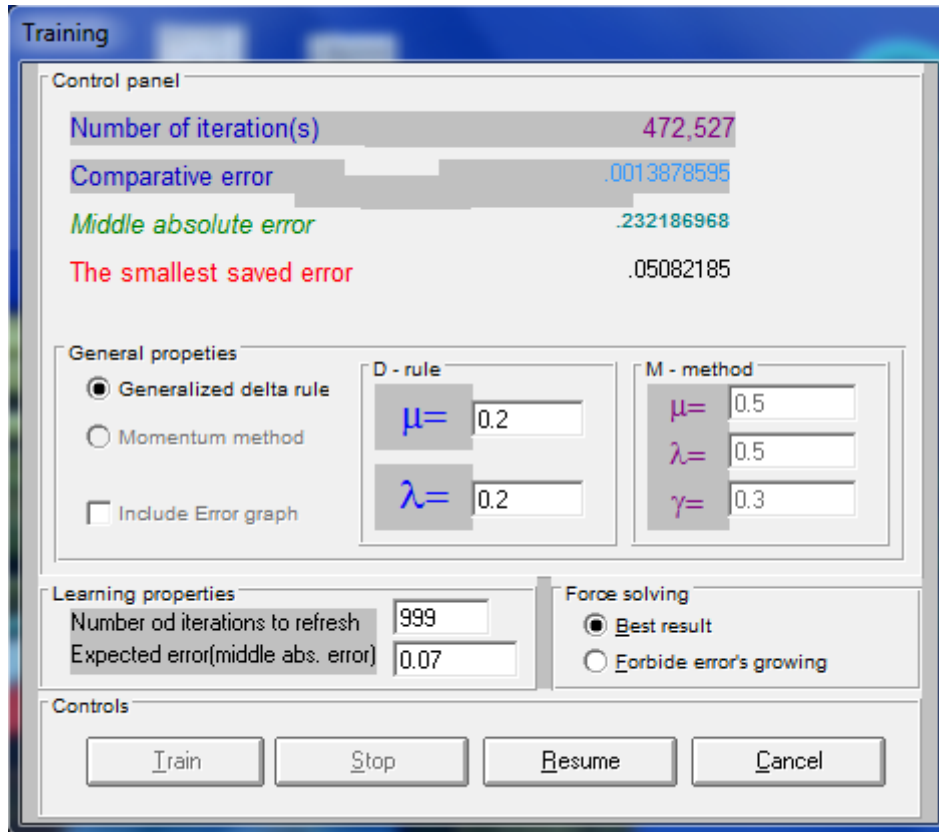


- При тренирању мреже са 4 неурона у скривеном слоју мрежа је завршила процес учења након преко 400000 итерација са грешком од 0,07. Скуп парова вектора којима је неуронска мрежа обучена, као и резултати дати су у табели 1.1.3.0.



Слика 1.1.2.8. Мрежа са 4 неурона у средњем слоју

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 1.1.2.9. Тренирање мреже са 4 неурона у средњем слоју

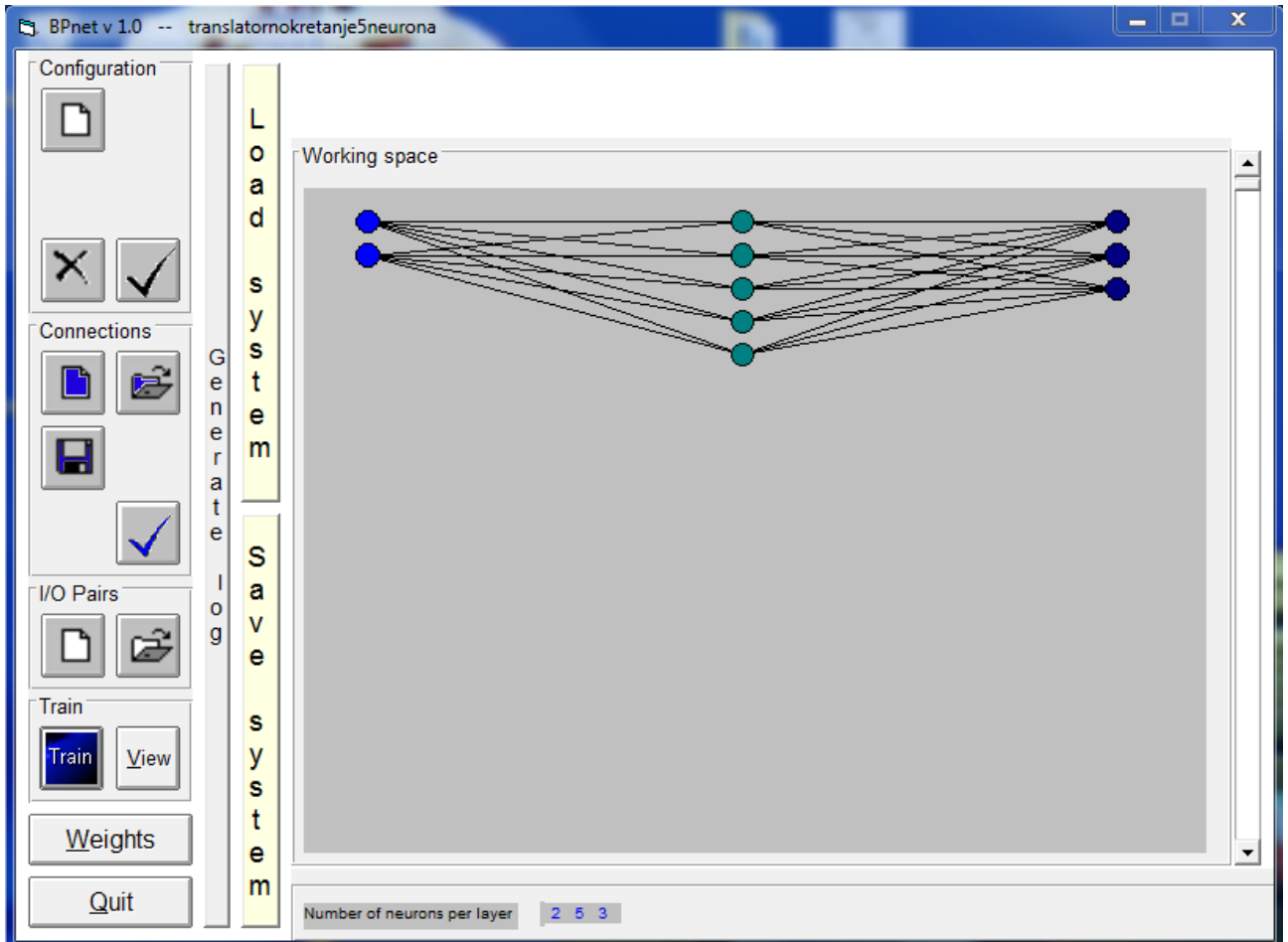
ulazne koordinate		koordinata			dobijene koordinate			razlike			
1 ΔSd	ΔSI	x	y	θ	x1	y1	θ1	x-x1	y-y1	θ-θ1	
2	15.2133	14.9945	15.1026	0.1968	0.0109	15.4278	0.0385	0.0035	0.3252	0.1583	0.0074
3	20.3031	19.9813	20.1397	0.3038	0.016	20.0751	0.0151	0.0009	0.0646	0.2887	0.0151
4	25.2883	25.0821	25.1827	0.3266	0.0103	24.7362	-0.0614	-0.006	0.4465	0.388	0.0163
5	30.076	30.0316	30.05127	0.298	0.0022	29.396	-0.1774	-0.0125	0.65527	0.4754	0.0147
6	34.9489	34.9934	34.9685	0.2652	0.0022	34.3978	0.2686	0.0141	0.5707	0.0034	0.0119
7	74.5617	74.8733	74.709	-0.2265	-0.0155	74.5904	-0.3829	0.0005	0.1186	0.1564	0.016
8	79.5596	79.8172	79.6796	-0.2771	-0.0128	81.0133	-0.3552	0.0017	1.3337	0.0781	0.0145
9	50	50	50	0	0	51.2121	-0.3944	-0.008	1.2121	0.3944	0.008
10	60	60	60	0	0	59.7196	0.4155	0.0034	0.2804	0.4155	0.0034

Слика 1.1.3.0. Резултати тренирања мреже

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

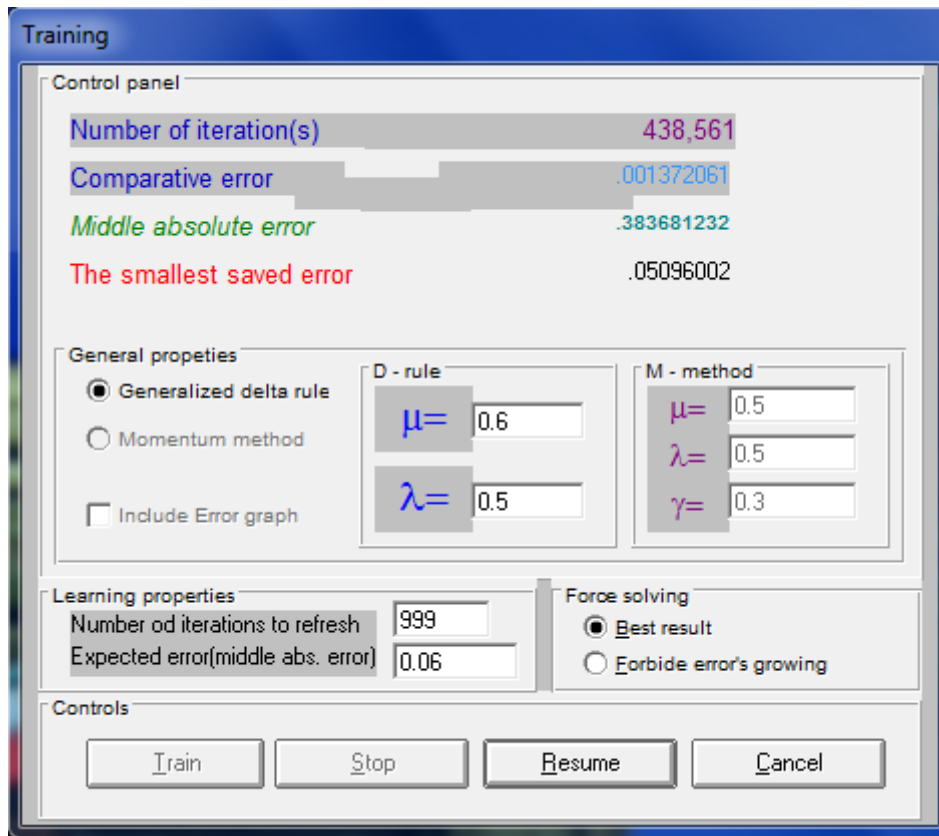


- Са слике 1.1.3.2. може се очитати вредност грешке за мрежу са 5 неурона. Њена вредност износи 0,06, што је мање него у претходном случају. Међутим при овом поређењу треба узети у обзир и то да је параметар учења је промењен и он је сада износио 0,6.



Слика 1.1.3.1. Мрежа са 5 неурона у средњем слоју

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



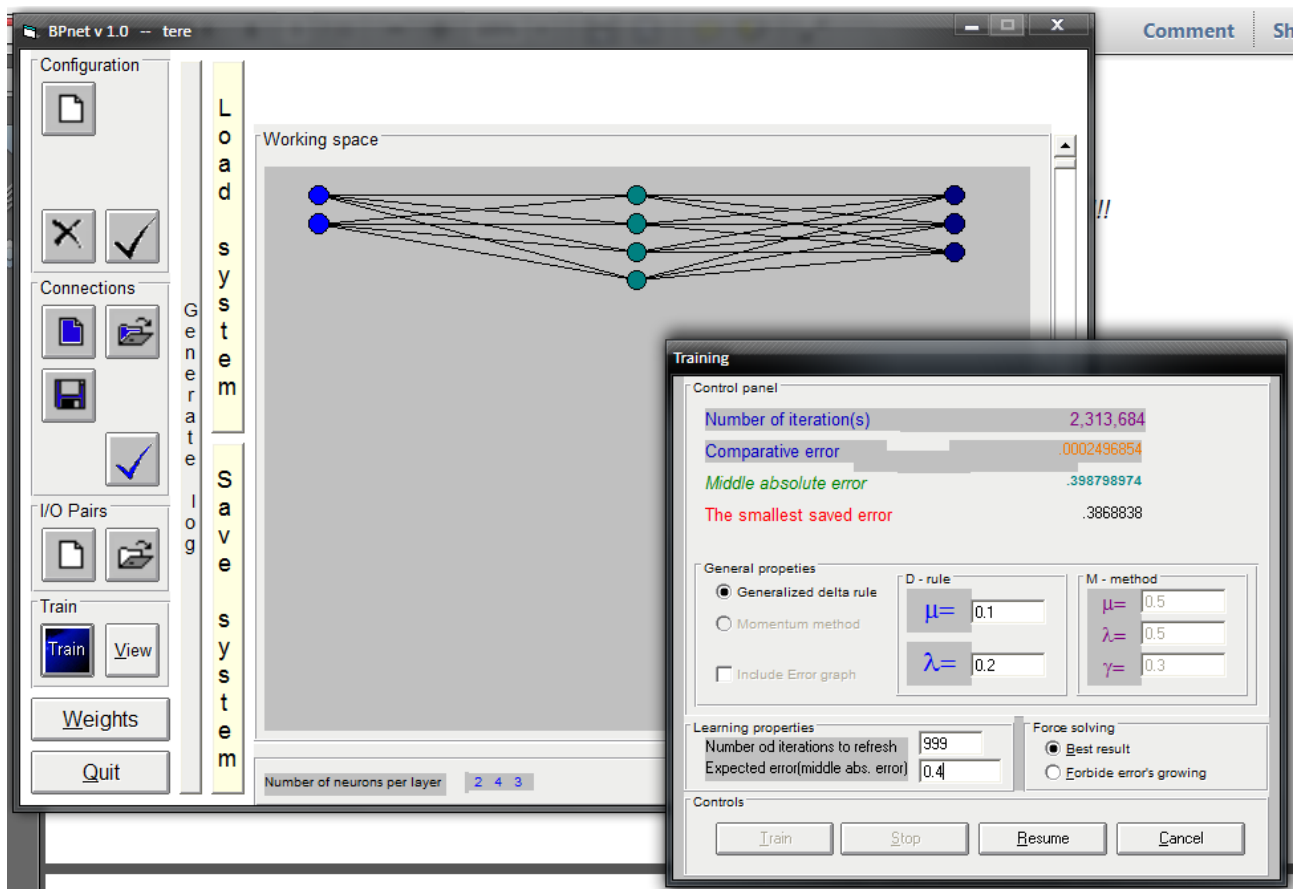
Слика 1.1.3.2. Тренирање мреже са 5 неурона у средњем слоју

ulazne koordinate		koordinate			dobijene koordinate				razlike			
1	ΔS_d	ΔS_l	x	y	θ	x1	y1	θ_1	θ	x-x1	y-y1	$\theta-\theta_1$
2	15.2133	14.9945	15.1026	0.1968	0.0109	17.6828	0.0389	0.005	0.005	2.5802	0.1579	0.0059
3	20.3031	19.9813	20.1397	0.3038	0.016	23.4213	0.0155	0.0039	0.0039	3.2816	0.2883	0.0121
4	25.2883	25.0821	25.1827	0.3266	0.0103	26.5544	-0.0556	-0.003	-0.003	1.3717	0.3822	0.0133
5	30.076	30.0316	30.05127	0.298	0.0022	28.9685	-0.1728	-0.0123	-0.0123	1.08277	0.4708	0.0145
6	34.9489	34.9934	34.9685	0.2652	0.0022	33.7579	0.2709	0.01437	0.01437	1.2106	0.0057	0.01217
7	74.5617	74.8733	74.709	-0.2265	-0.0155	74.2911	-0.3864	0.0006	0.0006	0.4179	0.1599	0.0161
8	79.5596	79.8172	79.6796	-0.2771	-0.0128	81.7153	-0.3533	0.002	0.002	2.0357	0.0762	0.0148
9	50	50	50	0	0	51.9557	-0.3918	-0.007	-0.007	1.9557	0.3918	0.007
10	60	60	60	0	0	59.6556	0.4138	0.0034	0.0034	0.3444	0.4138	0.0034

Слика 1.1.3.3. Резултати тренирања мреже

- Након извођења више експеримената са 1, 2 и више неурона у скривеном слоју, на основу остварених резултата дошли смо до закључка да је најбоље усвојити мрежу са 4 неурона у скривеном слоју.

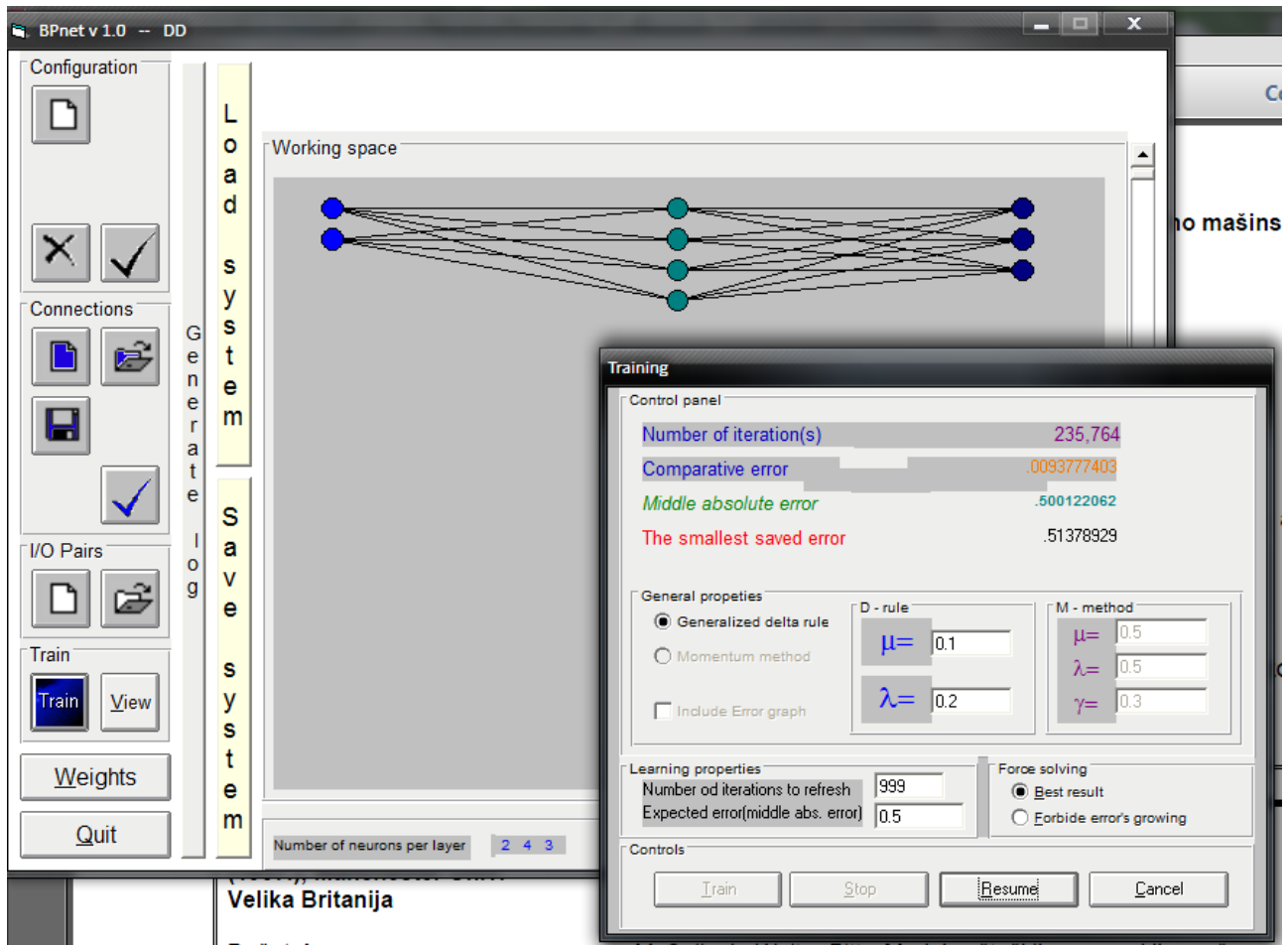
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 1.1.3.4. Приказ мреже за случај кретања робота по путањи троугла

Слика 1.1.3.4. приказује резултате тренирања мреже за случај кретања по путањи облика троугла. Ово је случај са 4 неурона у средњем слоју, те видимо да је грешка сведена на испод 0,4 што је прилично добар резултат. Такође видимо да је број итерација преко 2 милиона што је приличан број итерација. Међутим, нигде се не наводи број итерација тако да мрежа и са 4 неурона постиже добар резултат у учењу.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 1.1.3.5. Приказ тренирања мреже за кретање робота по квадрату

Обучавали смо кретање робота по квадратној путањи. Скривени слој садржи 4 неурона. На слици 1.1.3.5. се види да је после приближно 200000 интерација неуронска мрежа завршила процес учења, при чему је остварила грешку од 0,5. Параметар учења се није мењао и имао је вредност 0,1.

ЗАДАТАК 2:

Задатак 2.1

Применом „ART-1” вештачке неуронске мреже и одговарајућег софтвера „ ART Simulator” требали смо извршити препознавање следећа три представника фамилије делова:

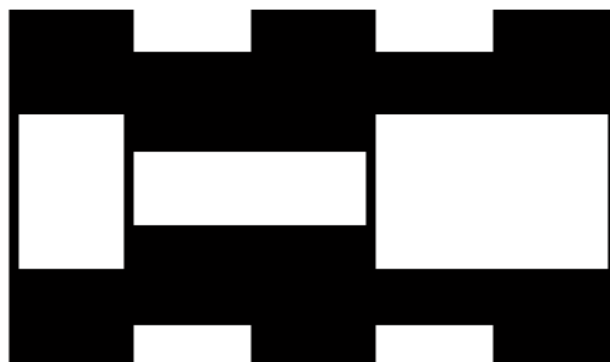
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 1. Фигура1- фамилија конвексно степенести делови



Слика 2. Фигура2- фамилија конкавно степенести делови

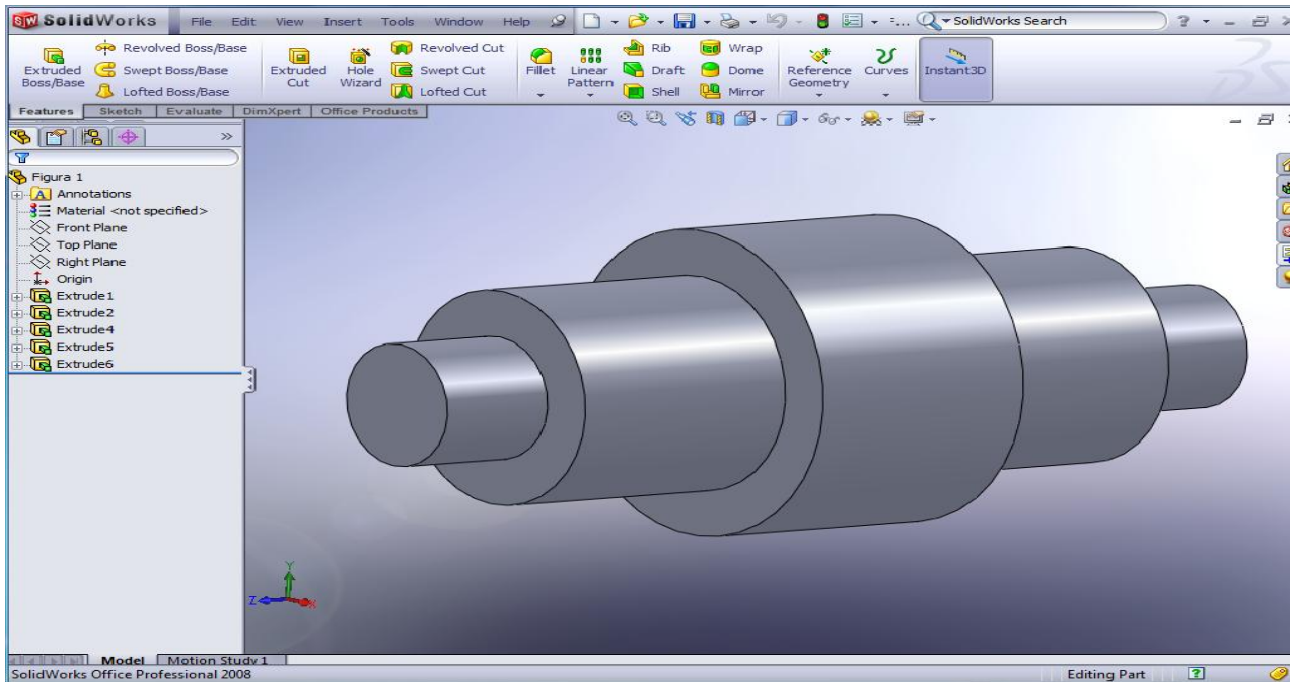


Слика3. Фигура3 - фамилија конкавно степенести делови

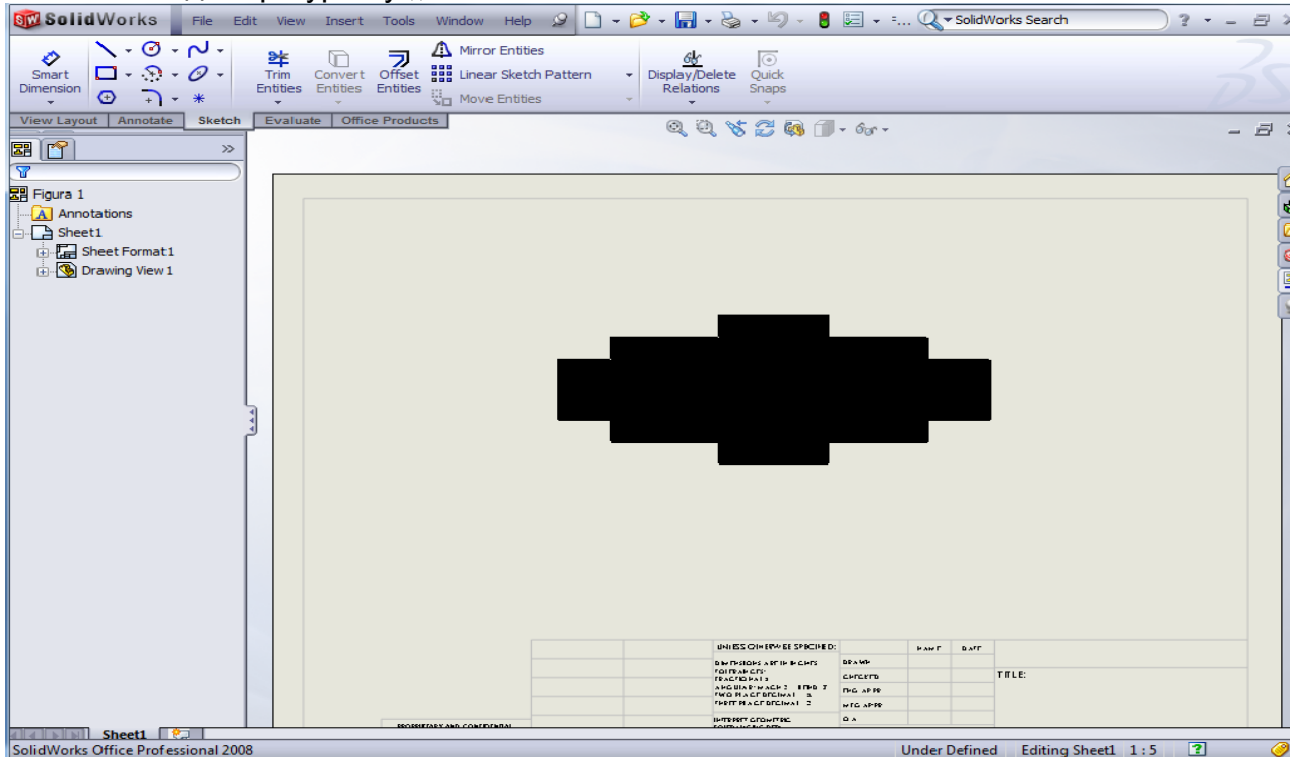
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слике 1, 2 и 3 су добијене помоћу програмског пакета „Solid Works“ у коме смо делове моделирали а потом нацртали њихове техничке цртеже које смо обрађивали у неком од програма за обраду слике, конкретно ја сам користио „Paint“.

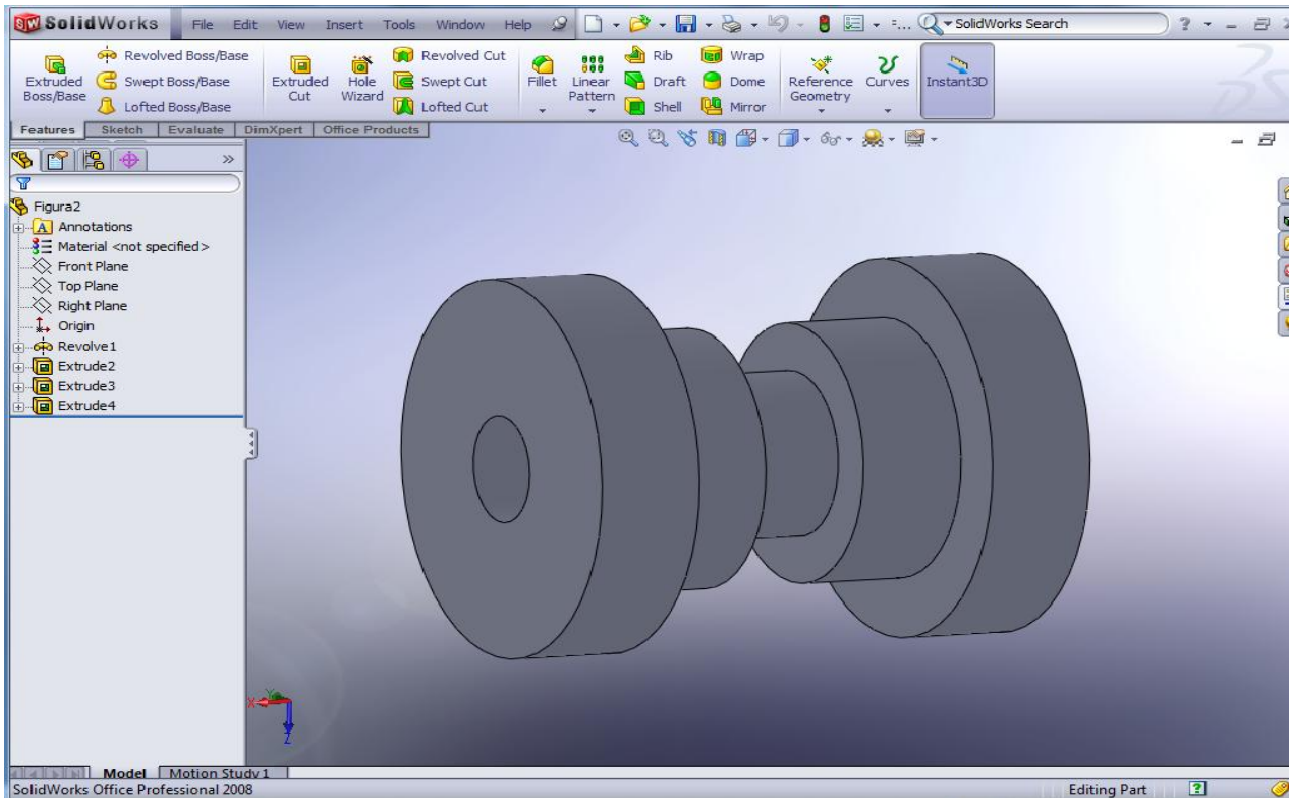


Слика 4. Модел фигуре1 у „Solid Works-u“

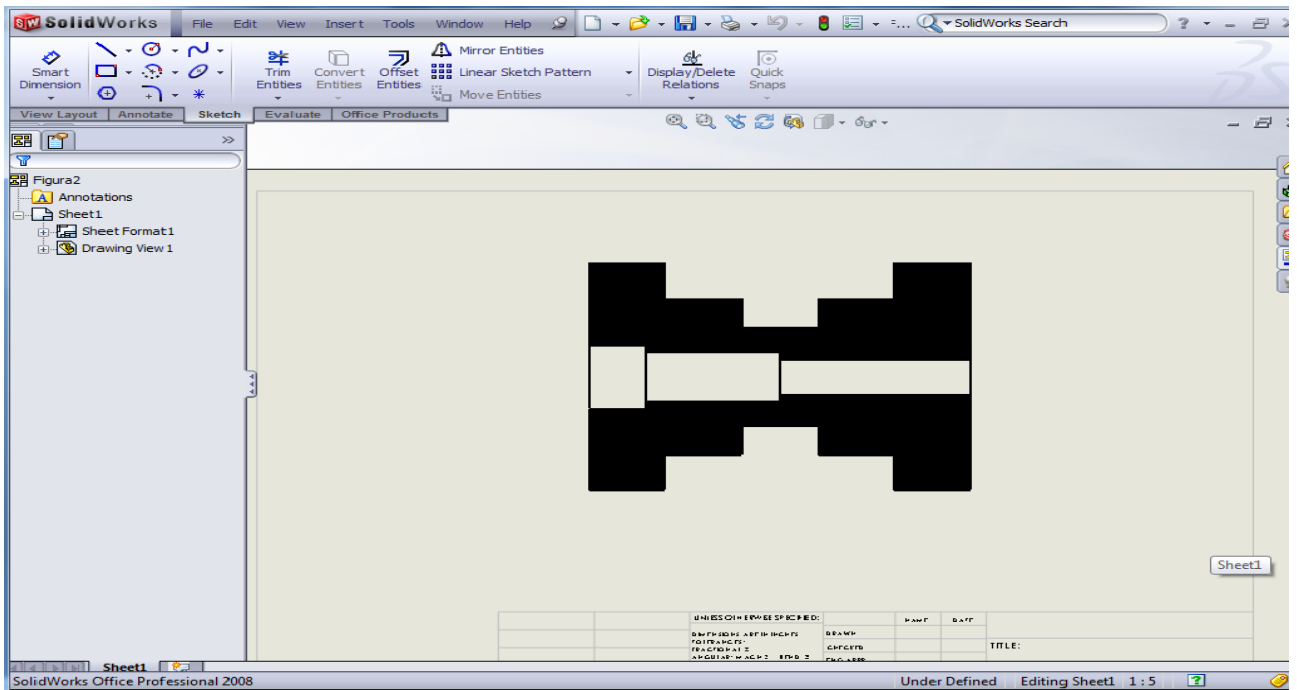


Слика 5. Радионички цртеж фигуре 1 у „Solid Works-u“

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

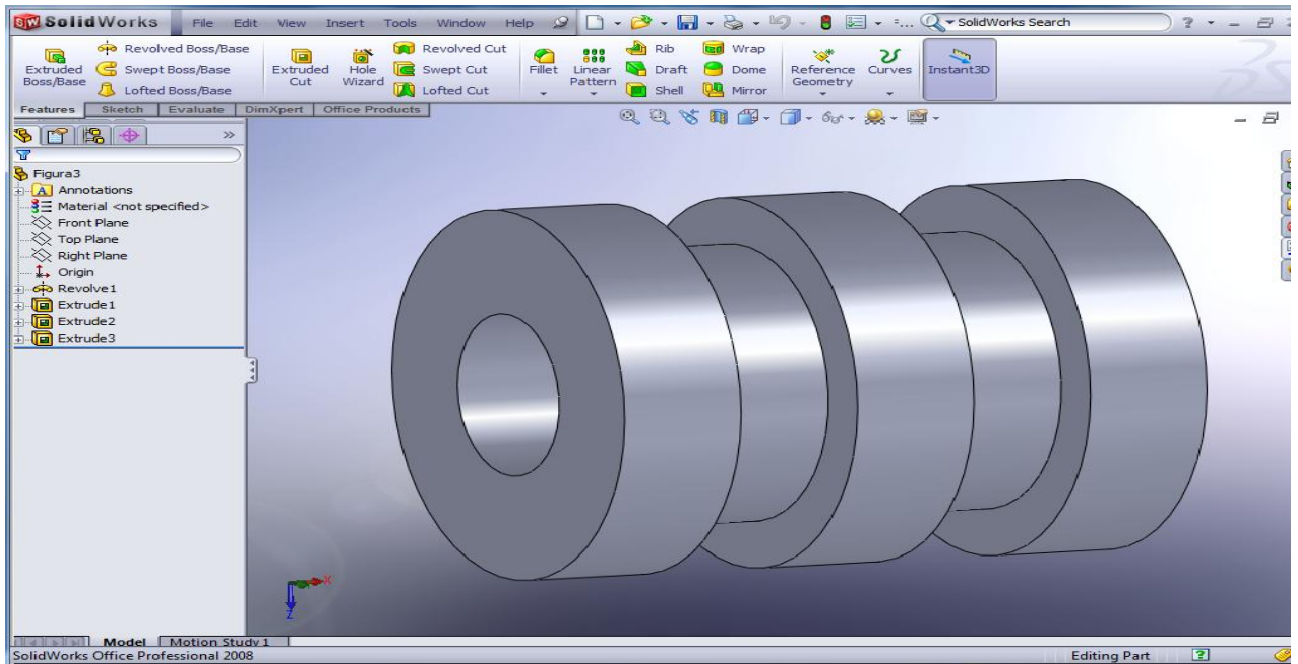


Слика 6. Модел фигуре 2 у „Solid Works-u”

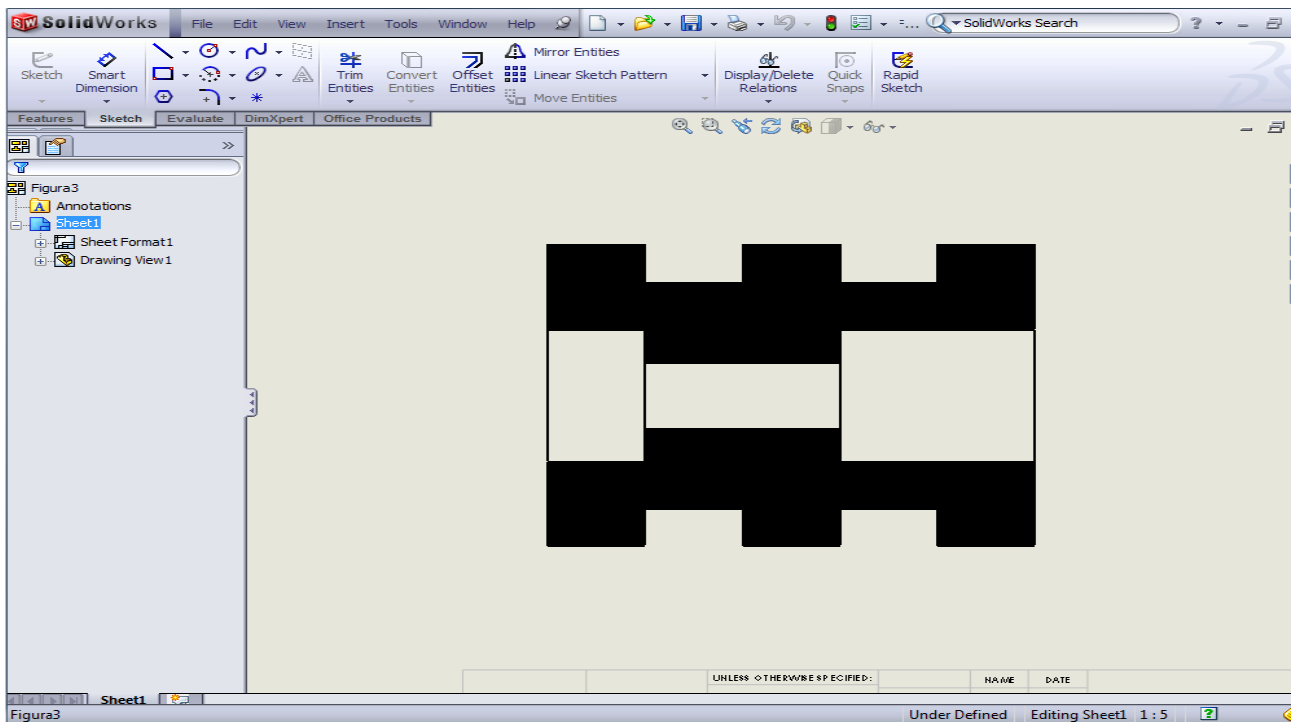


Слика 7. Радионички цртеж фигуре 2 у „Solid Works-u”

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 8. Модел фигуре 3 у „Solid Works-u”



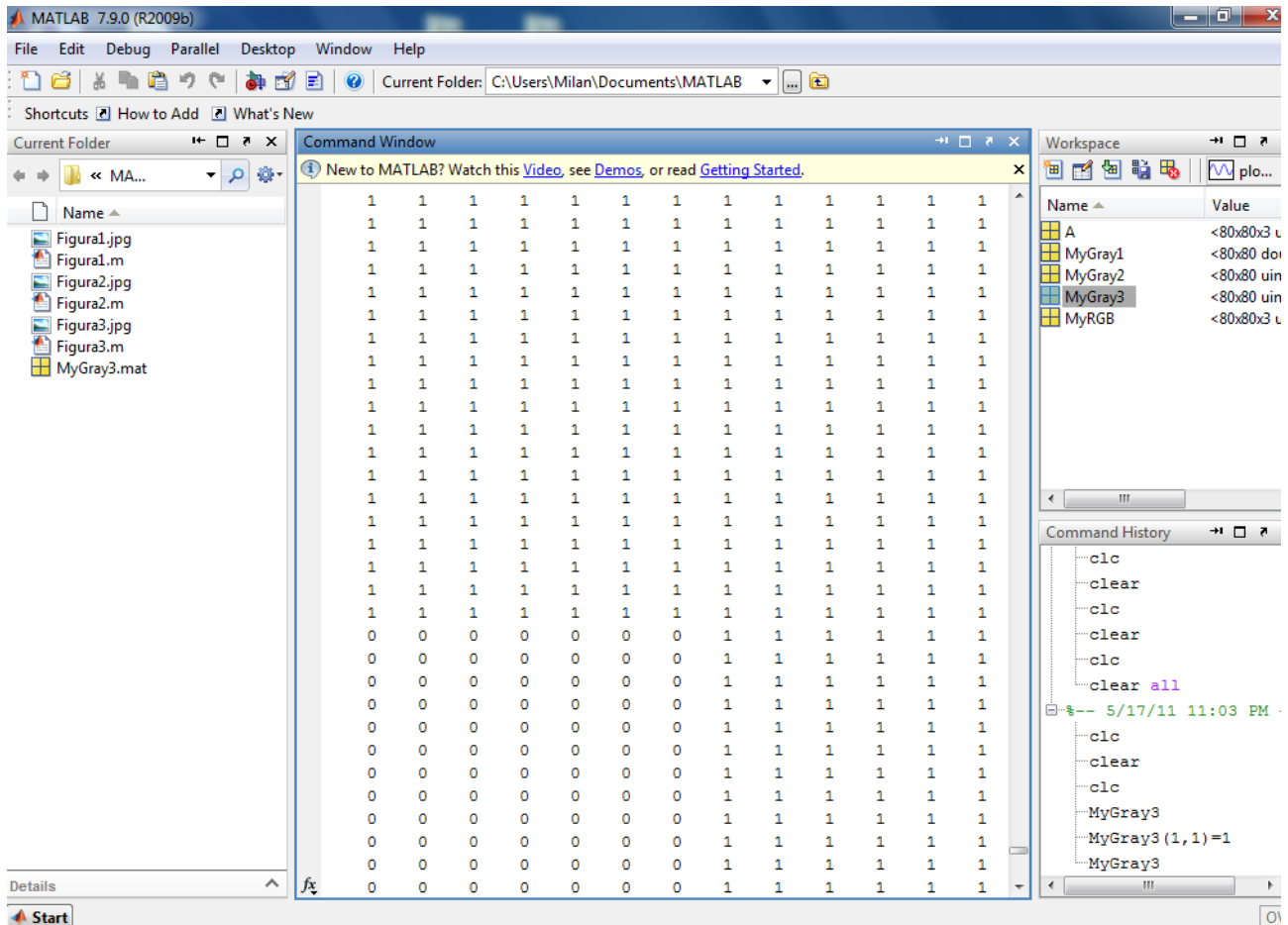
Слика 9. Радионички цртеж фигуре 3 у „Solid Works-u”

Приказане слике су величине 80 пута 80 пиксела, те се представљају вектором величине 6400 што је максимална величина вектора за симулатор који користимо за

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



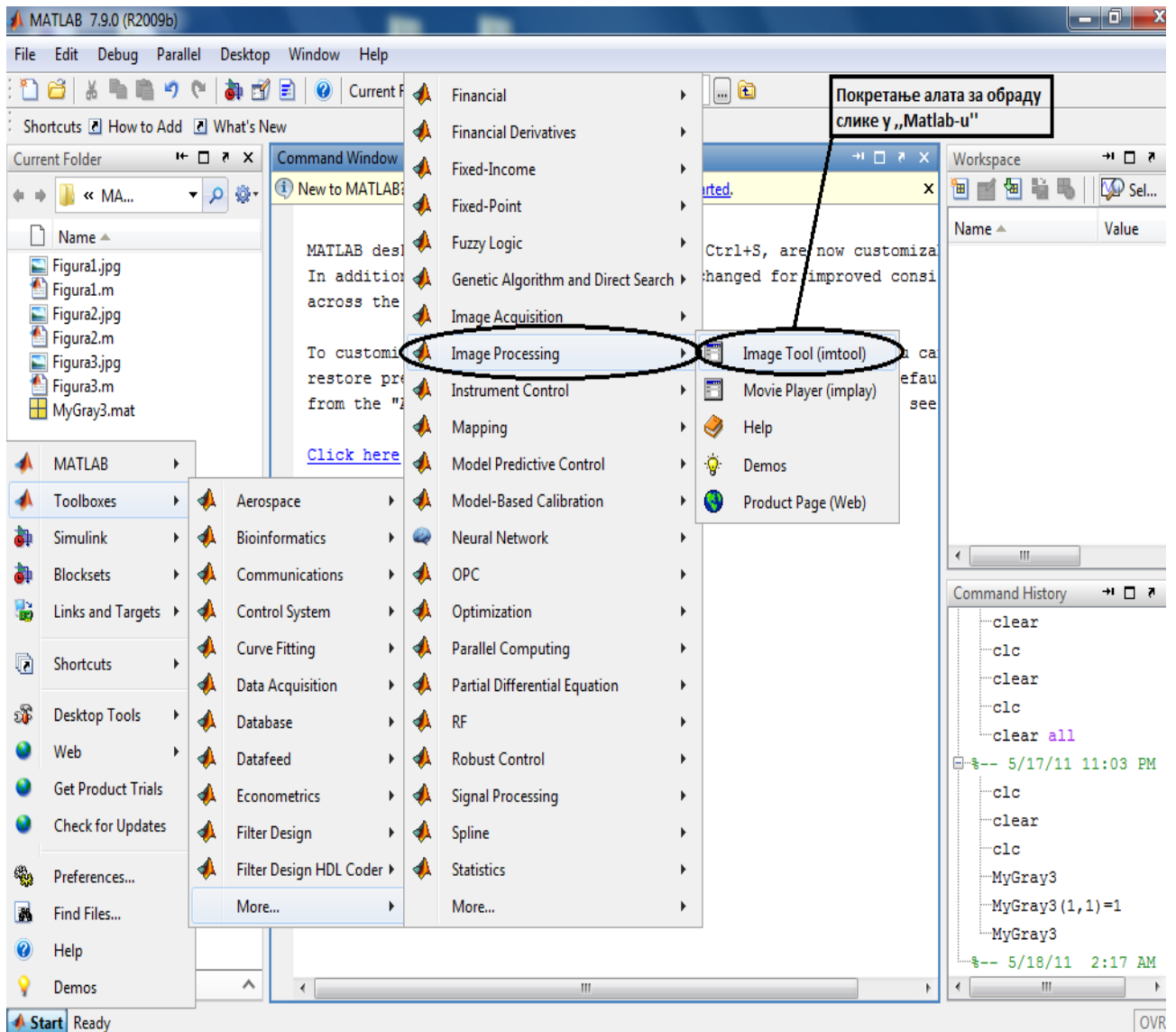
препознавање делова. Као што видимо слике се састоје из црних и белих пиксела. Да бисмо омогучили препознавање применом „ART Simulatora" неопходно је да слику представимо као матрицу димензија 80 пута 80 чије ће вредности бити нула на месту белих пиксела или 1 на месту црних пиксела. У ту сврху смо користили софтвер „MATLAB" (Слика10).



Слика10 - „ MATLAB" софтвер којим смо формирали векторе датих слика

На слици 11 је приказан начин покретања софтверског алата за процесирање слике који се налази у оквиру софтвера „MATLAB". Кликном на „Start" дугме у доњем левом углу отварају вам се падајући мени са разноврсним алатима којима располаже софтвер. У том менију одаберете опцију „Image Processing" , а потом „ Image tool".

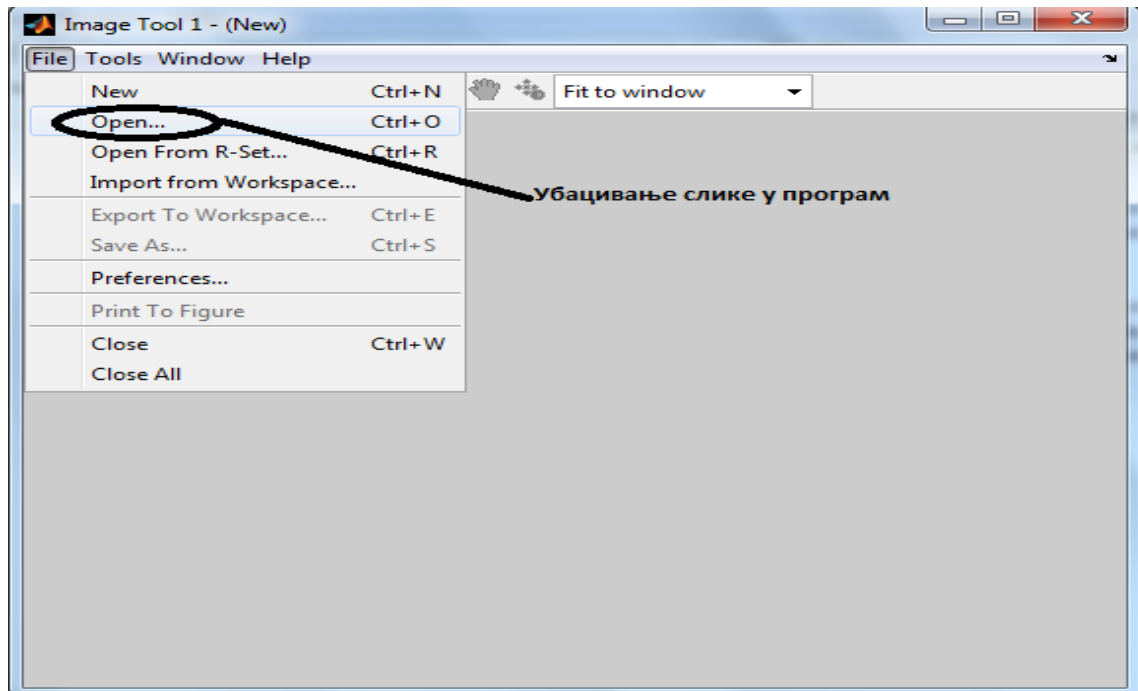
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



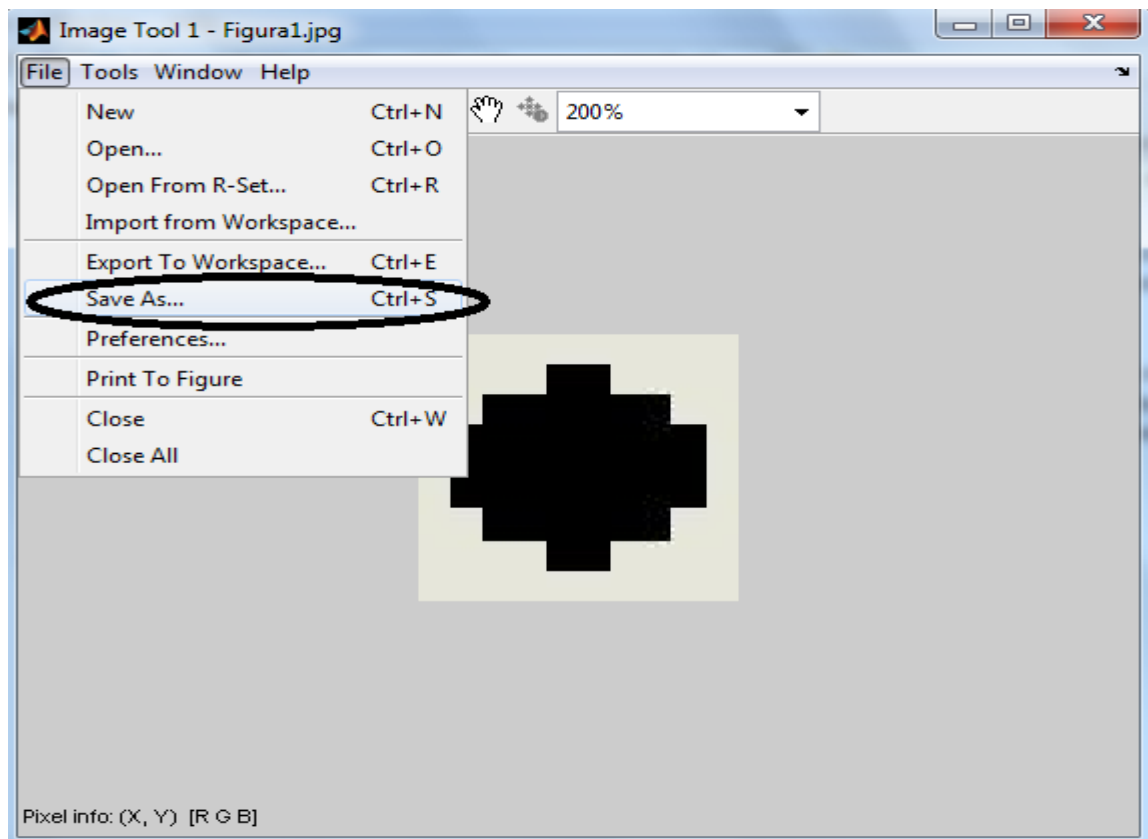
Слика11. – Софтвер за обраду слике у оквиру „ MATLAB-а“

На слици 12 је приказано убацавање слике у програм за обраду исте, или бисмо могли рећи у програм за конвертовање слике, пошто ће она после процесирања бити представљена матрицом нула и јединица димензија 80 пута 80. Након отварања фајла добијамо прозор који изгледа као на слици 7. Као што видимо ово је наш део 1. Након што смо учитали слику у програм, неопходно је да је сачувамо као би била учитана и у сам „MATLAB“ те уз помоћ програмског кода извршена њена трансформација. Исто урадимо и за преостала два дела. Ово је сликовито илустровано на слици 13.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

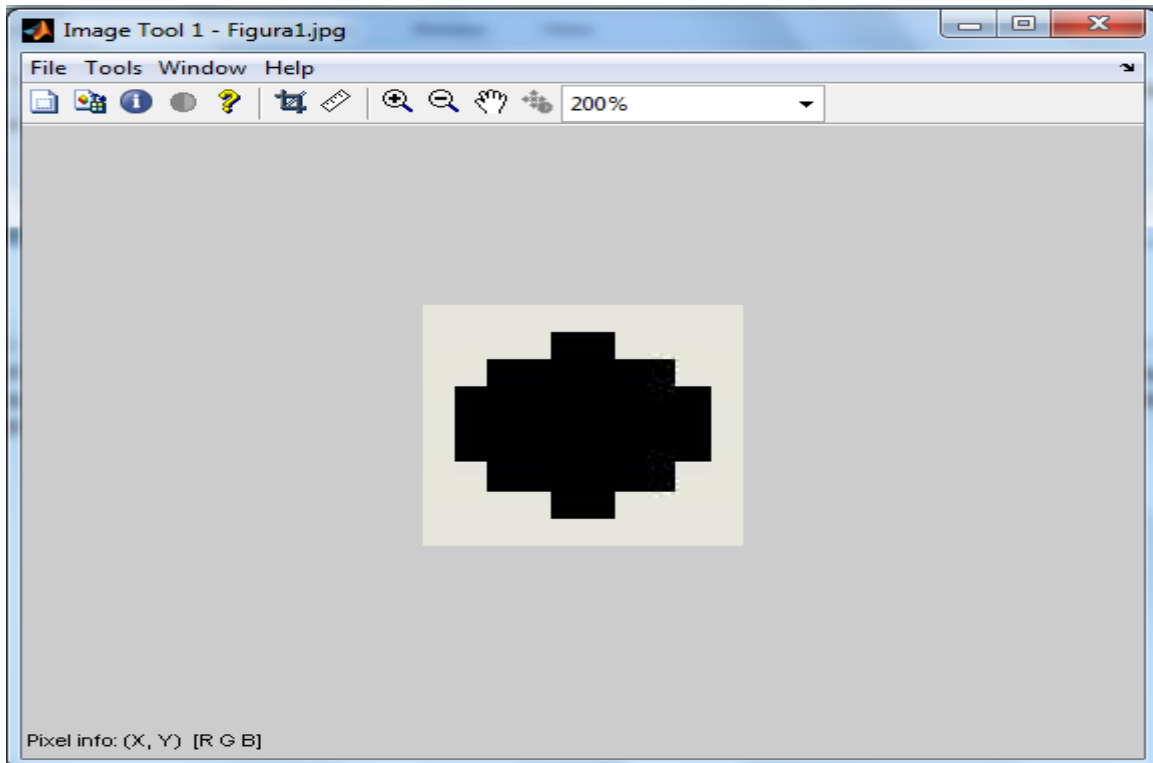


Слика 12. Убацавање слике у програм „Image Processing“

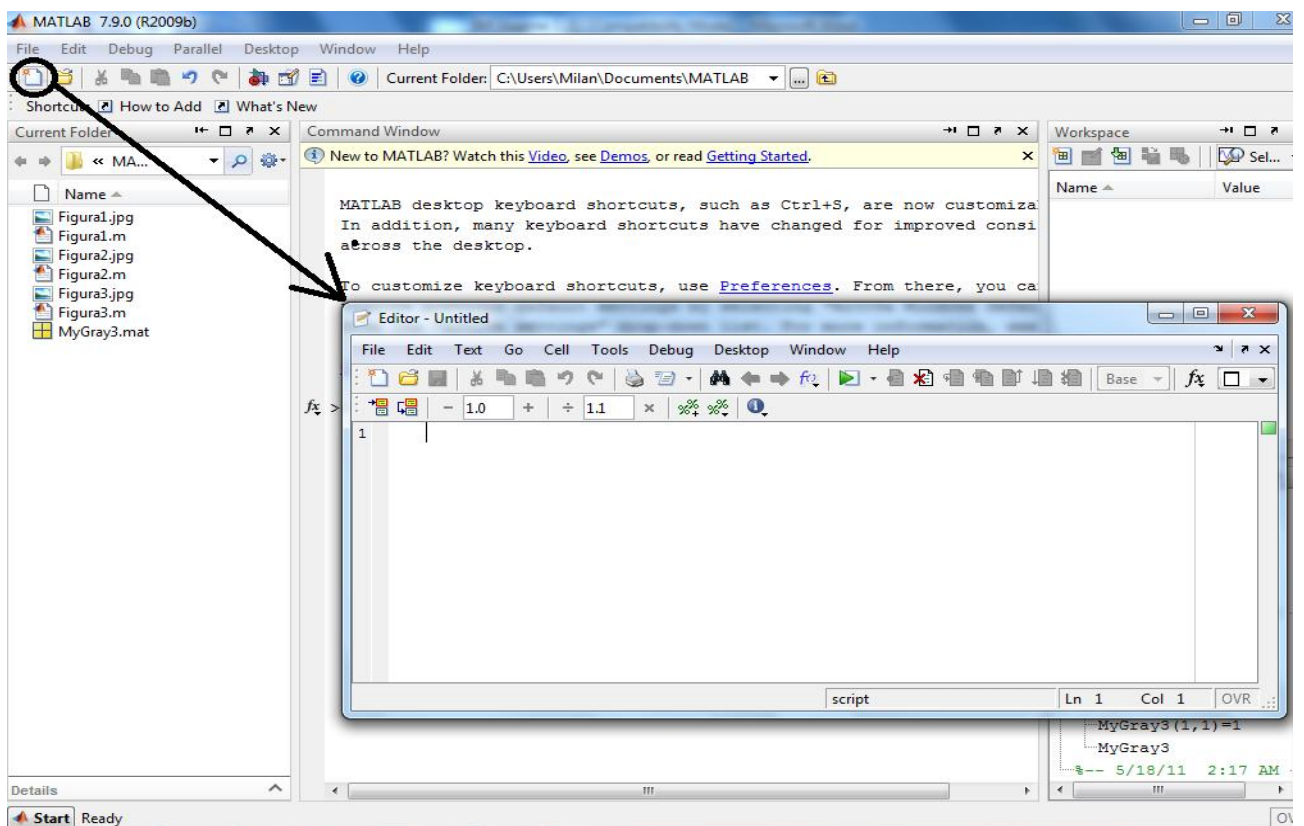


Слика 13. Чување слике како би била упамћена у „MATLAB-у“

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 14. Жељена слика убачена у програм „Image Processing”.

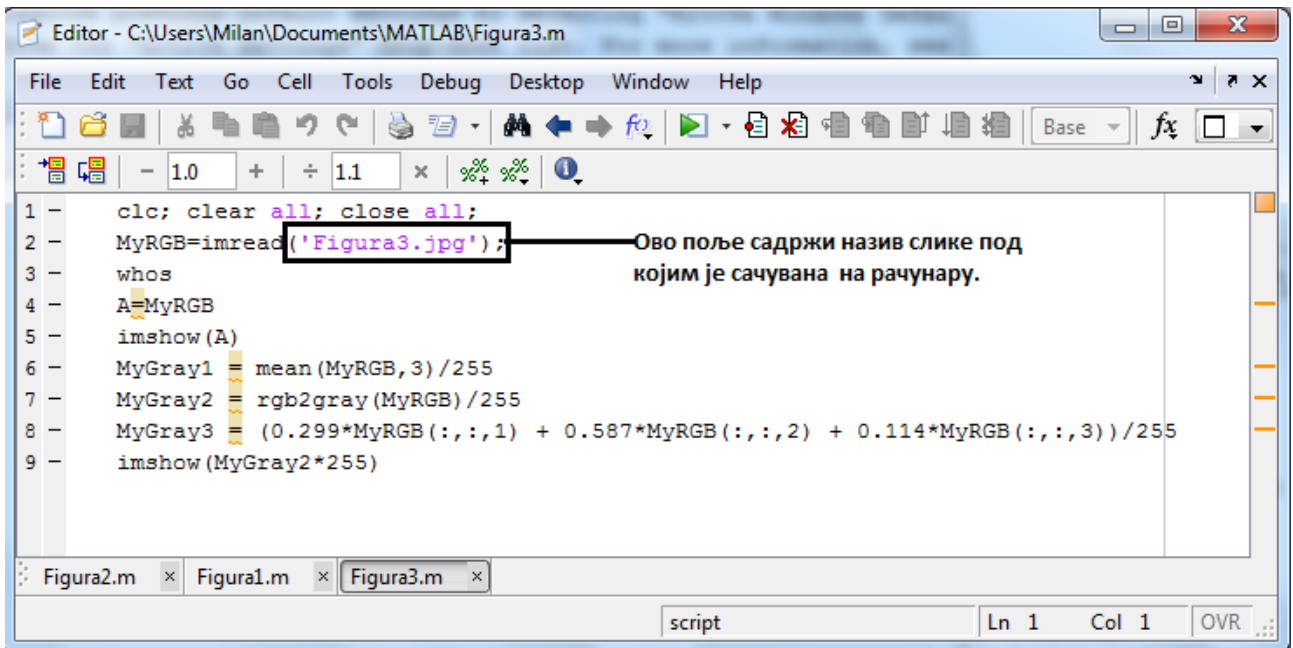


Слика 15. Покретање едитора текста за уписивање програмског кода

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

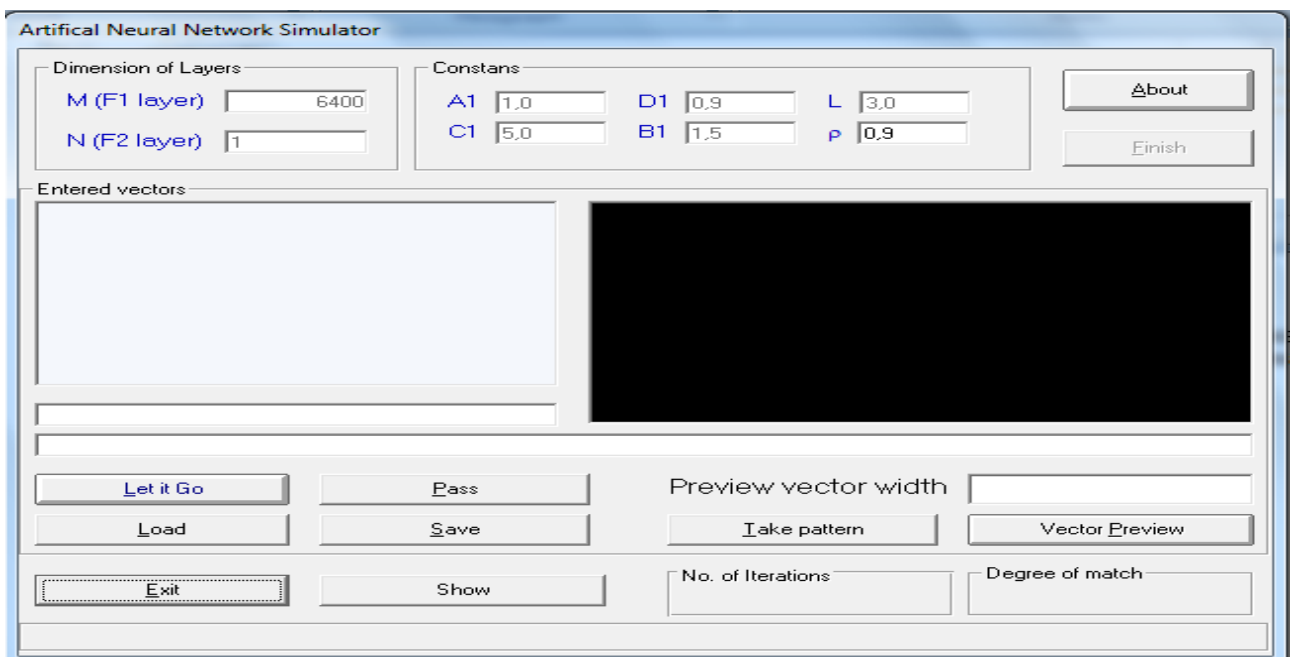


Након покретања едитора текста што је илустровано на слици 15 потребно је да у њега укуцамо одговарајући код који ће омогућити трансформацију счлике у бројне вредности. Тај програмски код је приказан на слици 16.



Слика 16. Програмски код којим трансформисемо слику у матрицу.

Након свих ових поступака дошли смо и до онога што је наш главни задатак, формирања матрица нула и јединица које ће бити убачене у „ART Simulator”.(Слика 17)

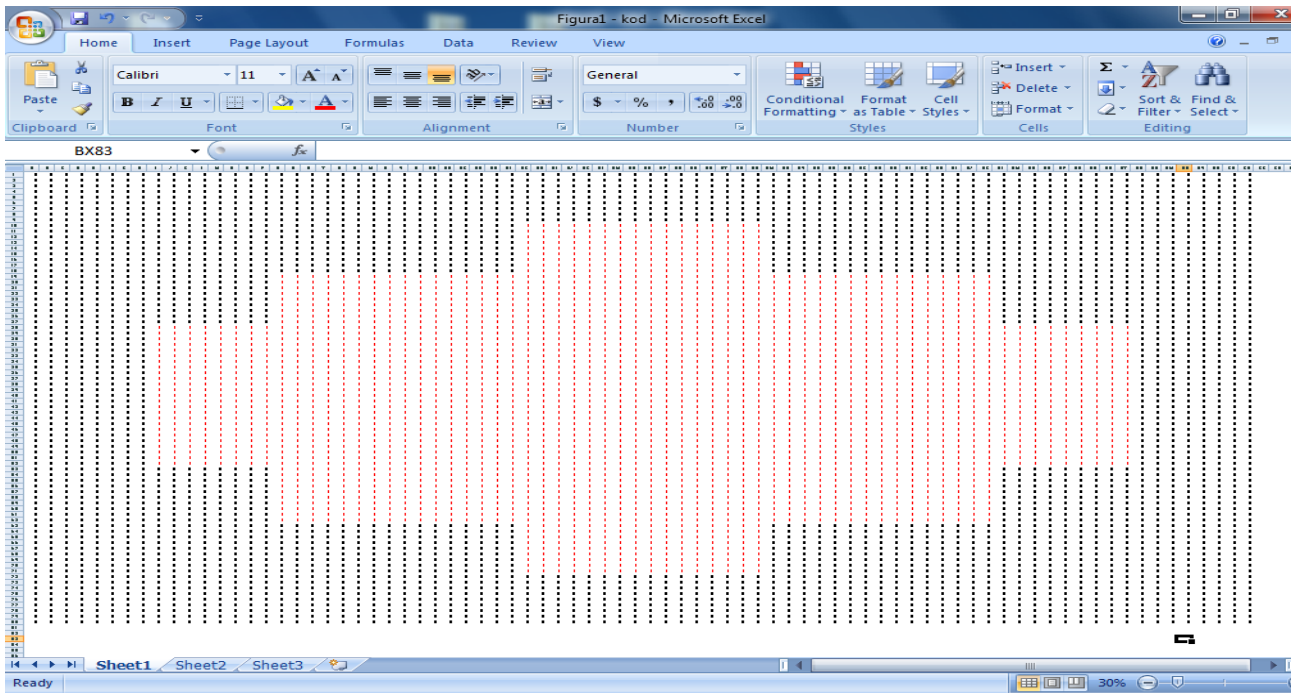


Слика 17. „ART Simulator”

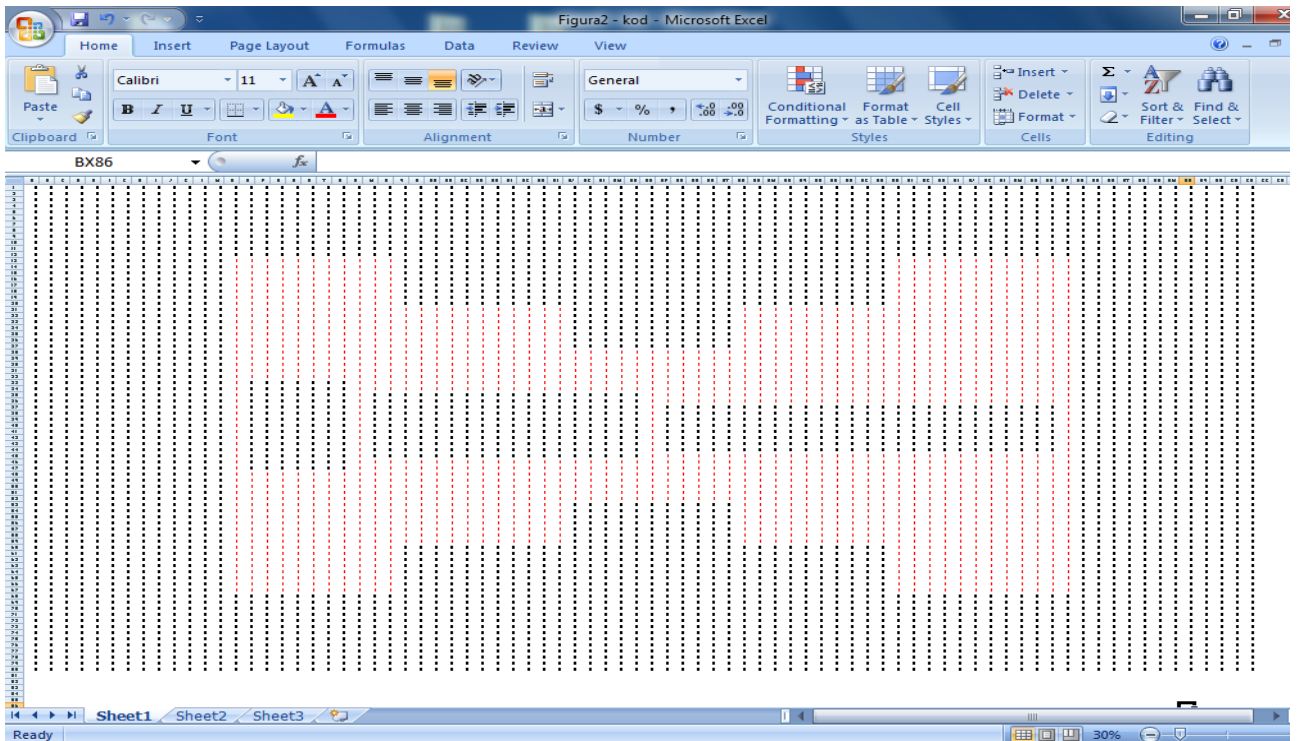
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Након процесирања слика добили смо три матрице нула и јединица(слике 18, 19 и 20). Матрице су ради лакше манипулације и прегледности пренешене у „Excel”.

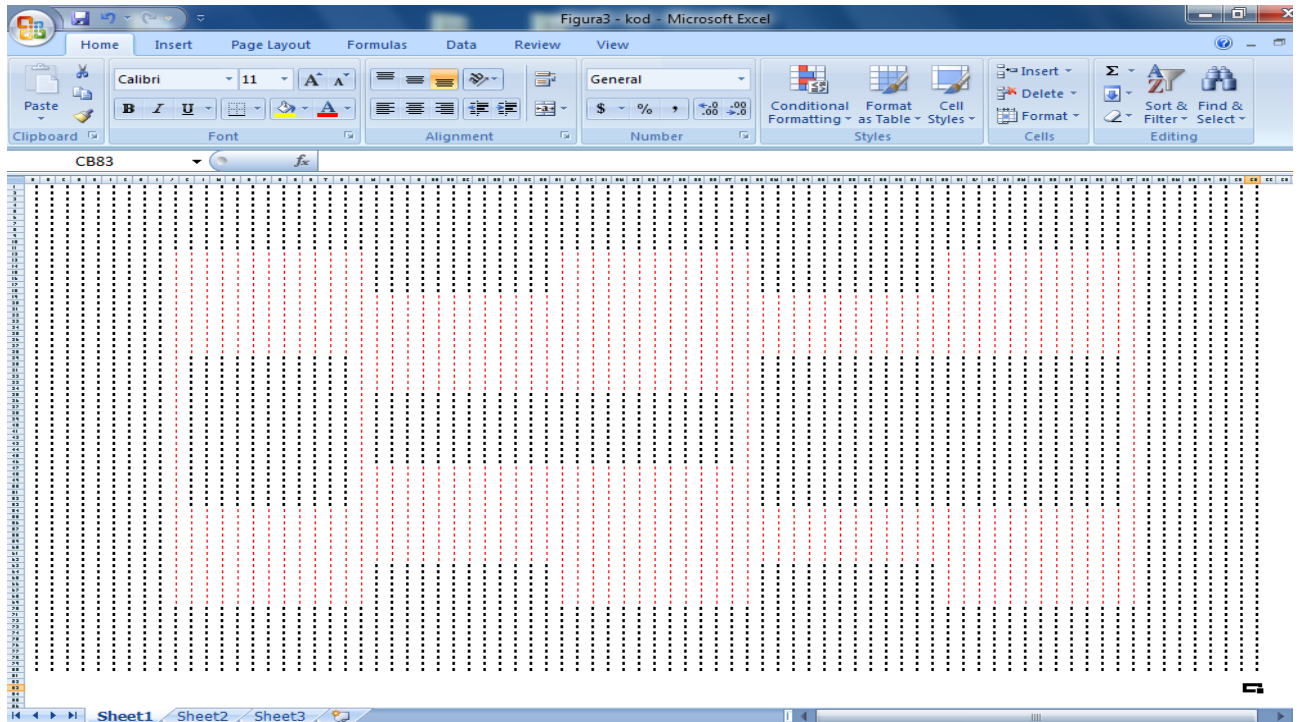


Слика 18. Матрица нула и јединица за фигуру 1.



Слика 19. Матрица нула и јединица за фигуру 2.

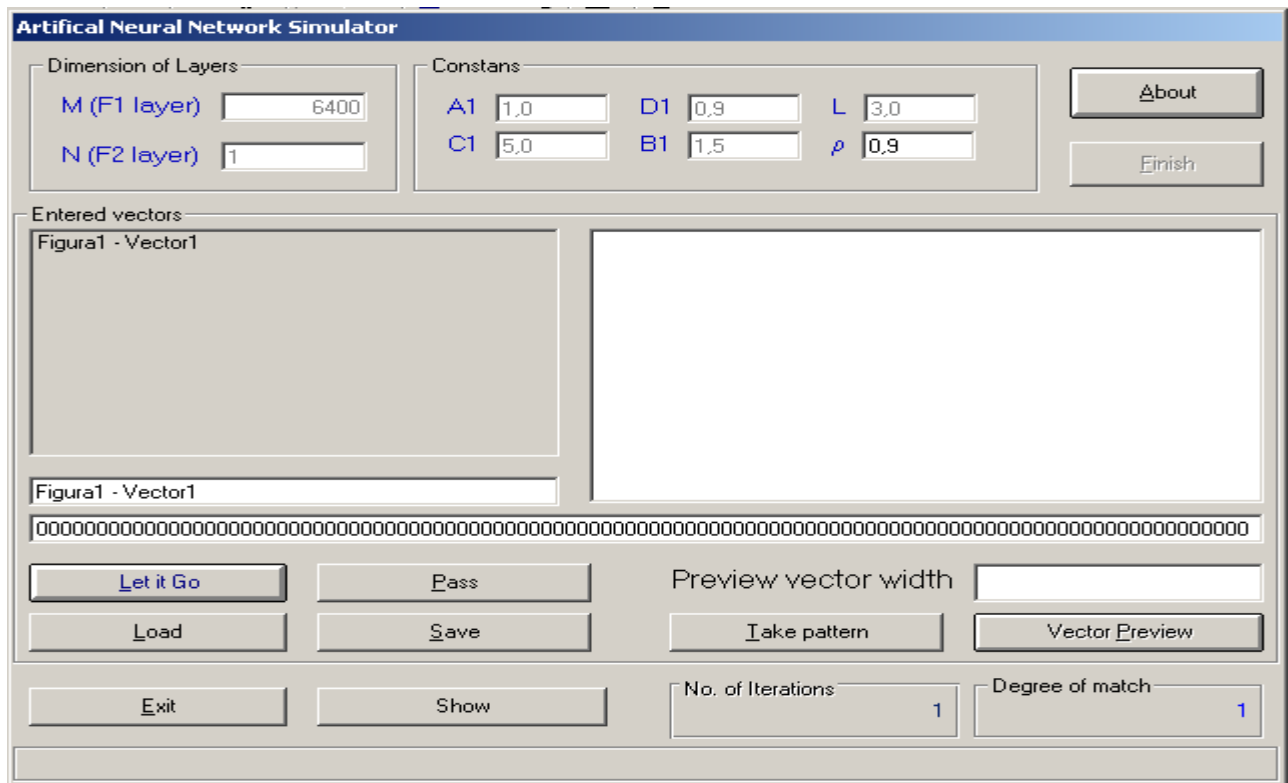
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



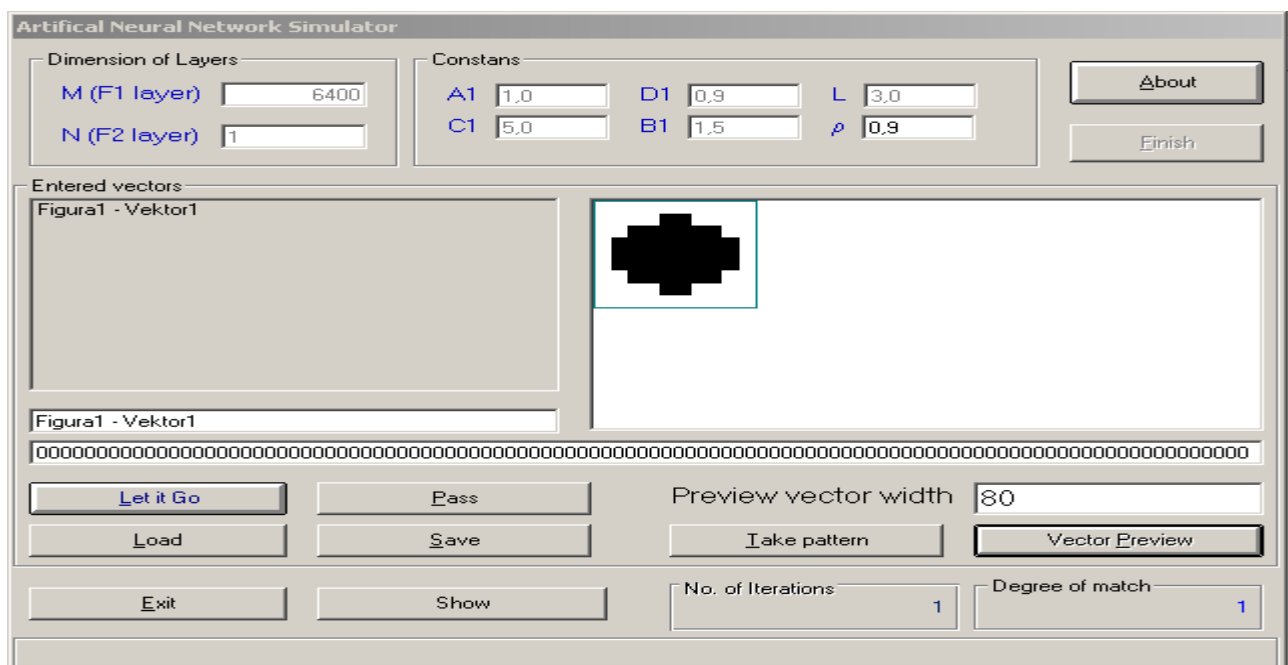
Слика 20. Матрица нула и јединица за фигуру 3.

Слике 18, 19 и 20 су као што смо рекли матрице одговарајућих слика делова, односно фигура које смо имали да измоделирамо. На сликама су црвеном бојом ради лакшег препознавања означене јединице, а црном бојом су означене нуле. Ако мало погледате слике наших фигура, а потом их упоредите са црвеном бојом у овим табелама видећете да су то управо наше фигуре изражене преко бинарних бројева.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

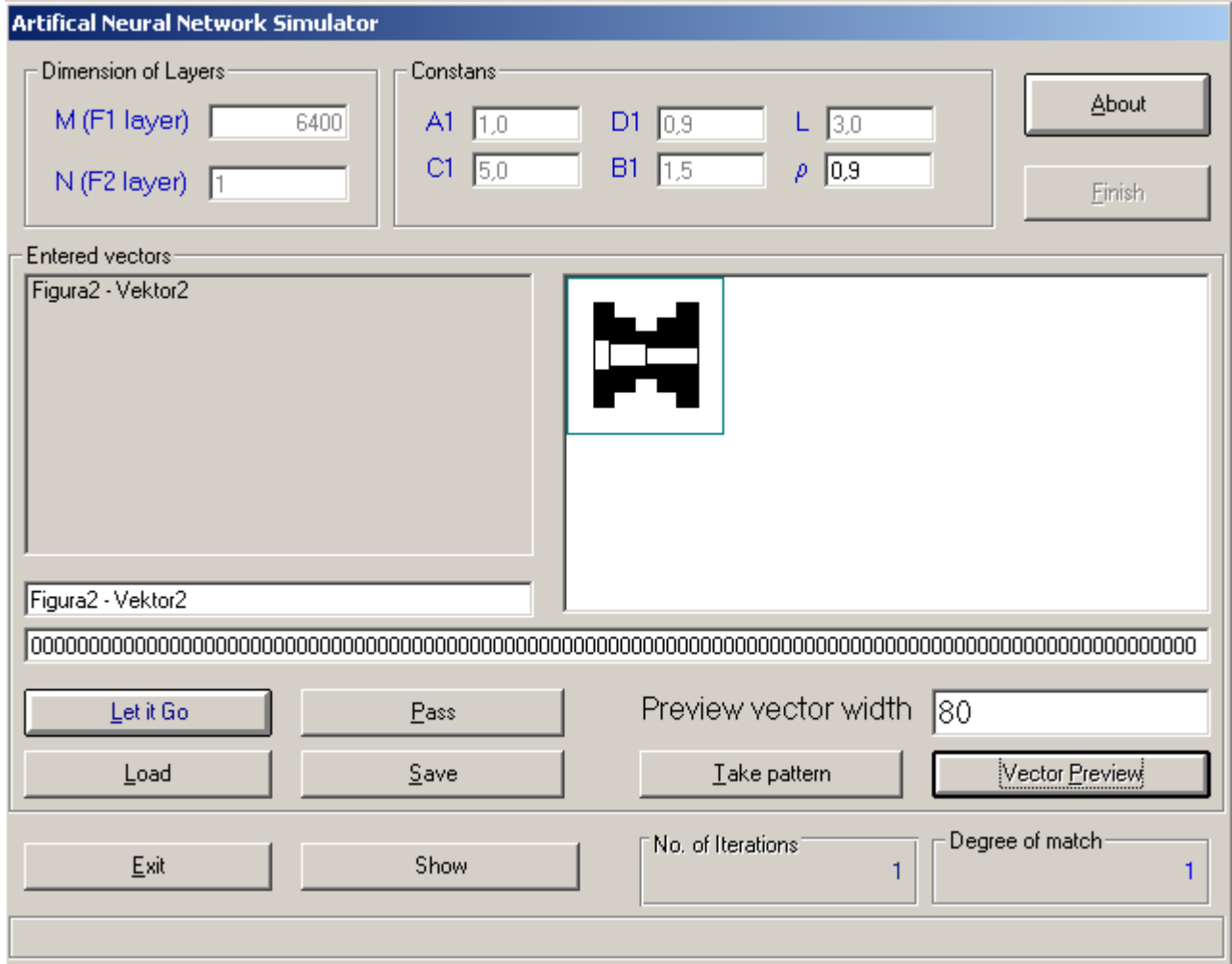


Слика 21. АРТ симулатор са вредностима матрице слике



Слика 22. АРТ препознаје слику на основу матрице нула и јединица коју смо унели

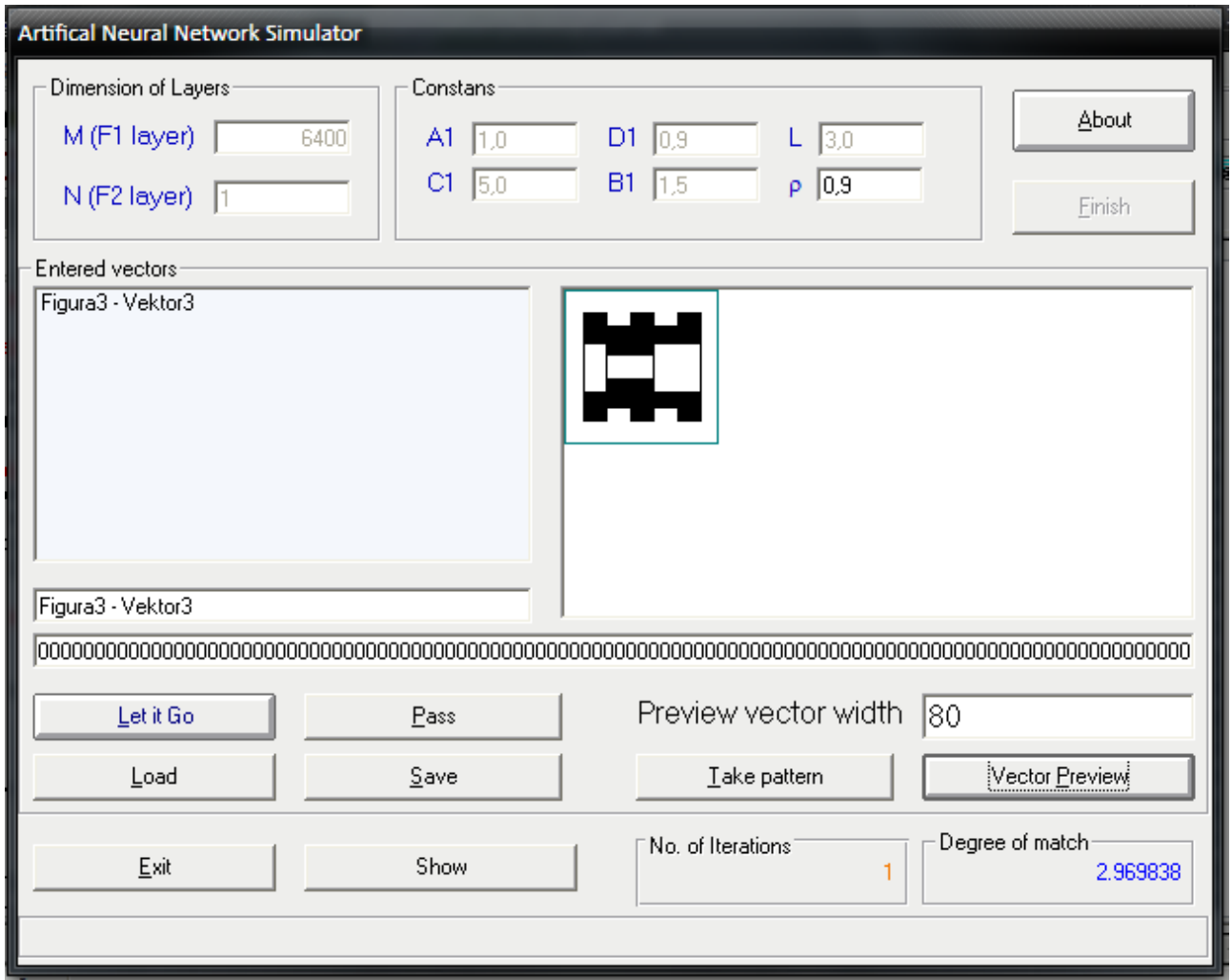
Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 23. АРТ препознаје другу фигуру

Као што смо видели, на слици 22 АРТ симулатор је препознао о ком телу (слици је реч). Иста је ситуација и на сликама 23 и 24 само је реч о другим фигурама. Потребно је напоменути да се иза овог препознавања крије мрежа са 6400 неурона у првом слоју. Други слој има само један неурон јер је потребно пренети само резултат до излаза тако да више слојева и није потребно.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Слика 24. АРТ препознаје трећу фигуру

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Задатак 2.2

За познате вредности улаза у неки технички систем, на излазу из система мерена је промена која настаје као резултат улазне величине. Применом вештачких неуронских мрежа потребно је апроксимирати функционалну везу, која постоји између улазних и излазних величина. Ради лакшег израчунавања и подешавања тежинских односа у мрежи приступа се скалирању улазних и излазних података у интервалу од 0 до 1. Скалирање улазних података врши се према следећем изразу, у колико користимо линеарно скалирање:

$$X_{skal} = \overline{X_{min}} + \frac{X_{tren} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} (\overline{X_{max}} - \overline{X_{min}}) \quad (2.2.1)$$

У нашем случају формула за скалирање улазних вредности дата је у следећем облику:

$$X_{skal} = 0 + \frac{X_{tren} - 0.5}{5 - 0.5} (1 - 0) \quad (2.2.2)$$

док је формула за скалирање излазних података следећа:

$$Y_{lin} = 0.5 + \frac{Y_{tren} - 0.25}{25 - 0.25} (0.8 - 0.5) \quad (2.2.3)$$

На основу горе написаних формула добијамо скалиране вредности улаза и излаза које ће надаље бити коришћене у обучавању вештачких неуронских мрежа. У нашем задатку тренирали смо следеће архитектуре вештачких неуронских мрежа:

1-[1]-1; 1-[3]-1; 1-[5]-1; 1-[8]-1; 1-[1-1]-1; 1-[3-2]-1; 1-[5-2]-1; 1-[8-4]-1; 1-[2-2-2]-1;
1-[4-3-2]-1; 1-[8-3-2]-1; 1-[8-4-3]-1.

Табела 1. Улазне и излазне вредности и њихове скалиране вредности.

Улазне вредности	Изразне вредности	Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности
0.5	0.25	0	0.5
1	1	0.111111111	0.509090909
1.5	2.25	0.222222222	0.524242424
2	4	0.333333333	0.545454545
2.5	6.25	0.444444444	0.572727273
3	9	0.555555556	0.606060606
3.5	12.25	0.666666667	0.645454545
4	16	0.777777778	0.690909091
4.5	20.25	0.888888889	0.742424242
5	25	1	0.8

На основу горње табеле могу се формирати још две табеле.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Табела 2. Сет података за обуку неуронске мреже

Сет података за обуку	
Улазне вредности	Излазне вредности
0	0.5
0.111111111	0.509090909
0.222222222	0.524242424
0.333333333	0.545454545
0.444444444	0.572727273
0.555555556	0.606060606

Табела 3. Сет података за валидацију

Сет података за валидацију	
Улазне вредности	Излазне вредности
0.666666667	0.645454545
0.777777778	0.690909091

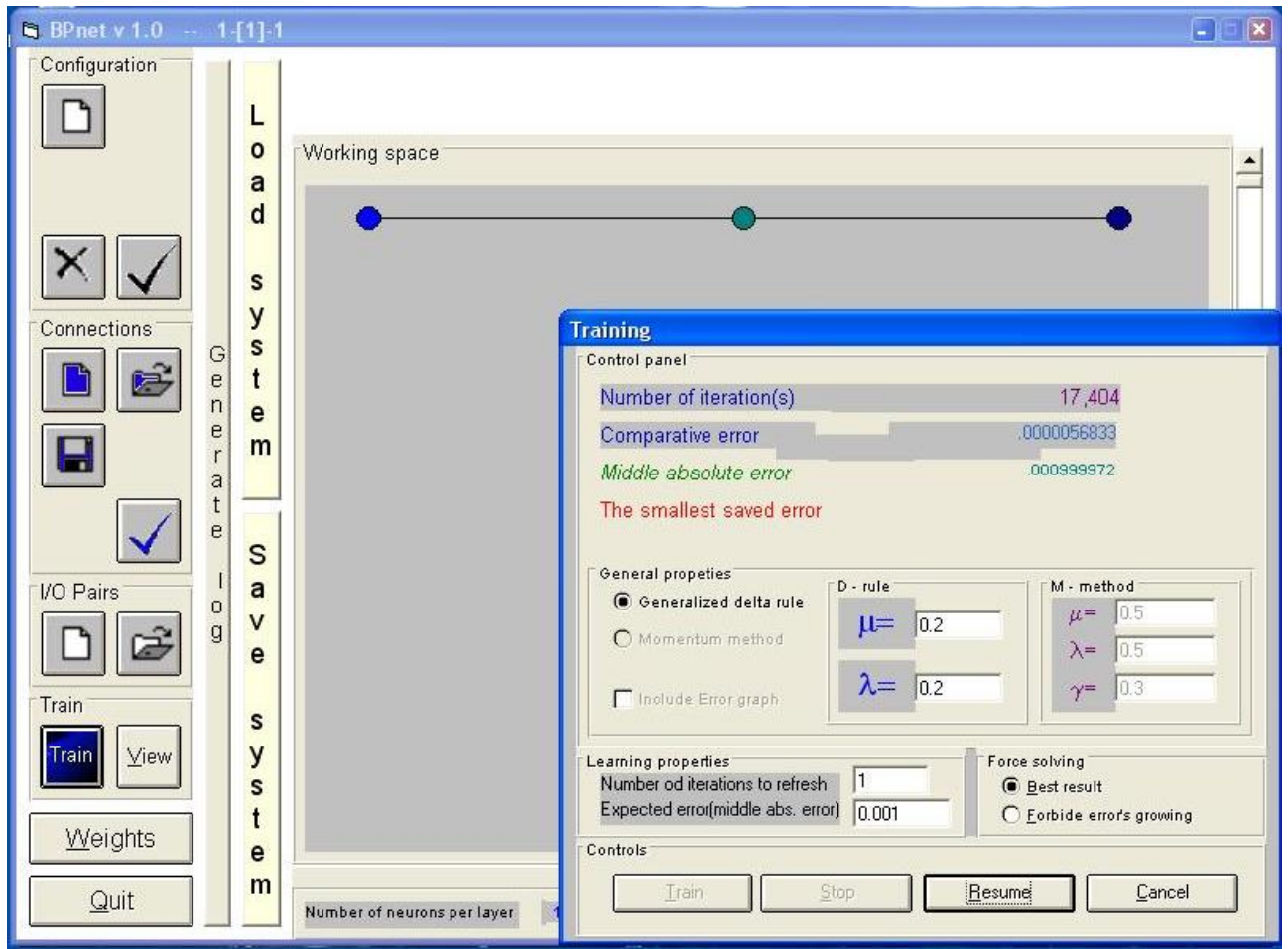
Табела 4. Сет података за тестирање

Сет података за тестирање	
Улазне вредности	Излазне вредности
0.888888889	0.742424242
1	0.8

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[1]-1:



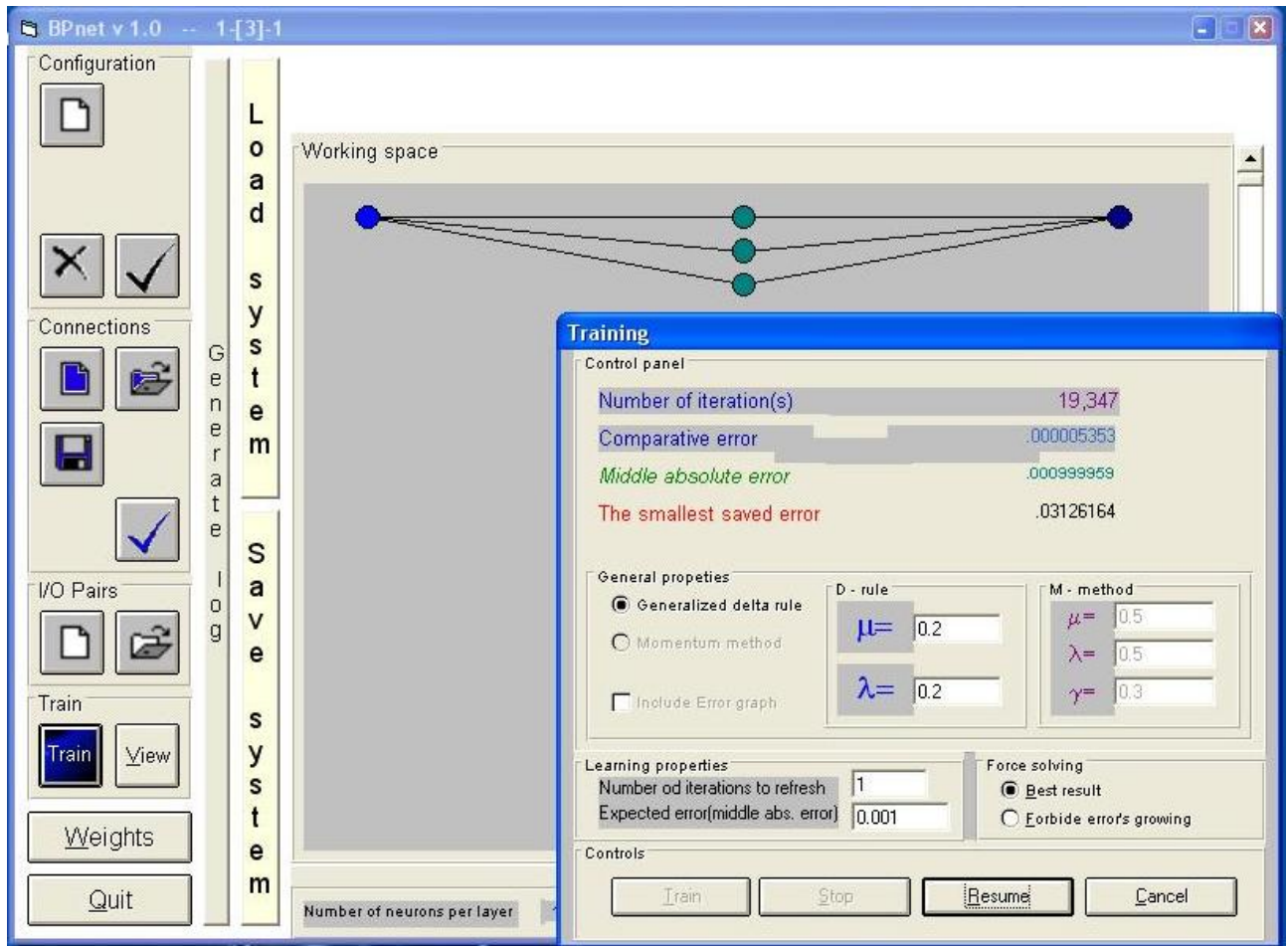
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.498601708166245
0.111111111	0.509090909	0.509145473360608
0.222222222	0.524242424	0.52467922395925
0.333333333	0.545454545	0.546416102393954
0.444444444	0.572727273	0.574030922453503
0.555555556	0.606060606	0.604216099788562

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.63154958057182
0.777777778	0.690909091	0.652129289662618
0.888888889	0.742424242	0.665617633290609
1	0.8	0.6738066455445429

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[3]-1:



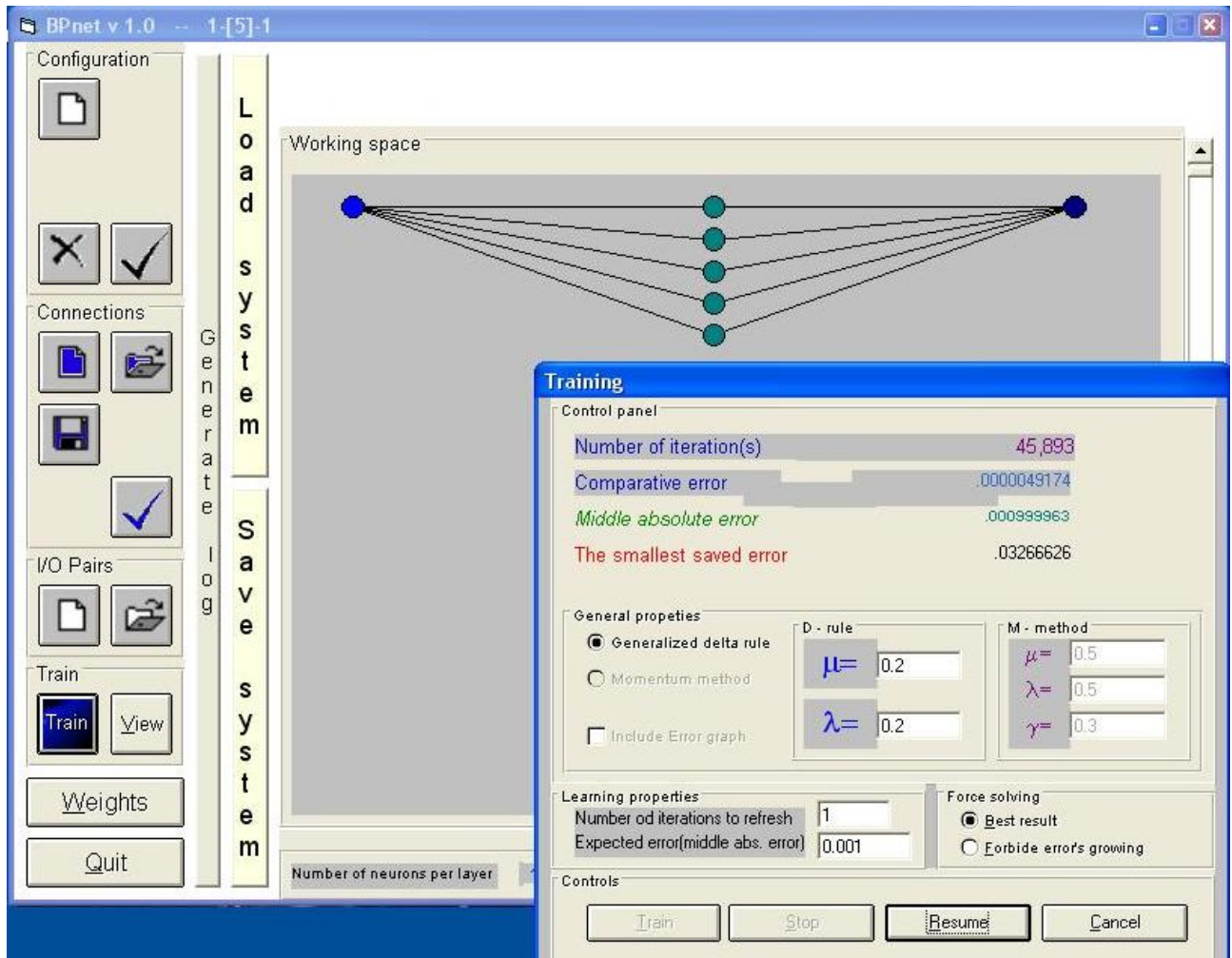
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.498517976577199
0.111111111	0.509090909	0.509226255845496
0.222222222	0.524242424	0.524762786329676
0.333333333	0.545454545	0.546379884371138
0.444444444	0.572727273	0.573922715459493
0.555555556	0.606060606	0.604319828104425

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.632165221909923
0.777777778	0.690909091	0.653282111193432
0.888888889	0.742424242	0.667108783222463
1	0.8	0.675432029598317

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[5]-1:



Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.498294774342943
0.111111111	0.509090909	0.509349205544612
0.222222222	0.524242424	0.524944168843197
0.333333333	0.545454545	0.546330357688886
0.444444444	0.572727273	0.573680672735558
0.555555556	0.606060606	0.604555602550157

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.633778849764026
0.777777778	0.690909091	0.656508718929465
0.888888889	0.742424242	0.671428075272427

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		

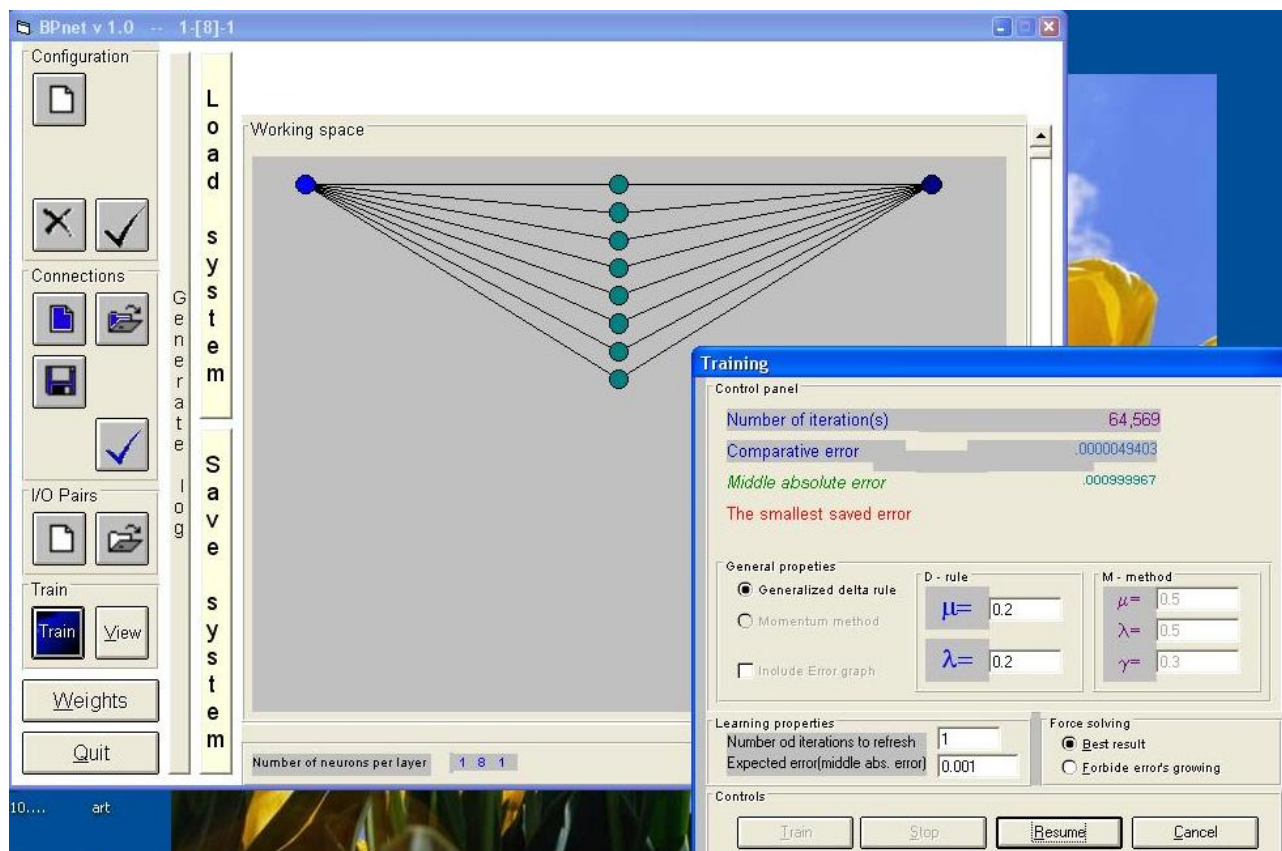


1

0.8

0.680198850173996

Архитектура 1-[8]-1:



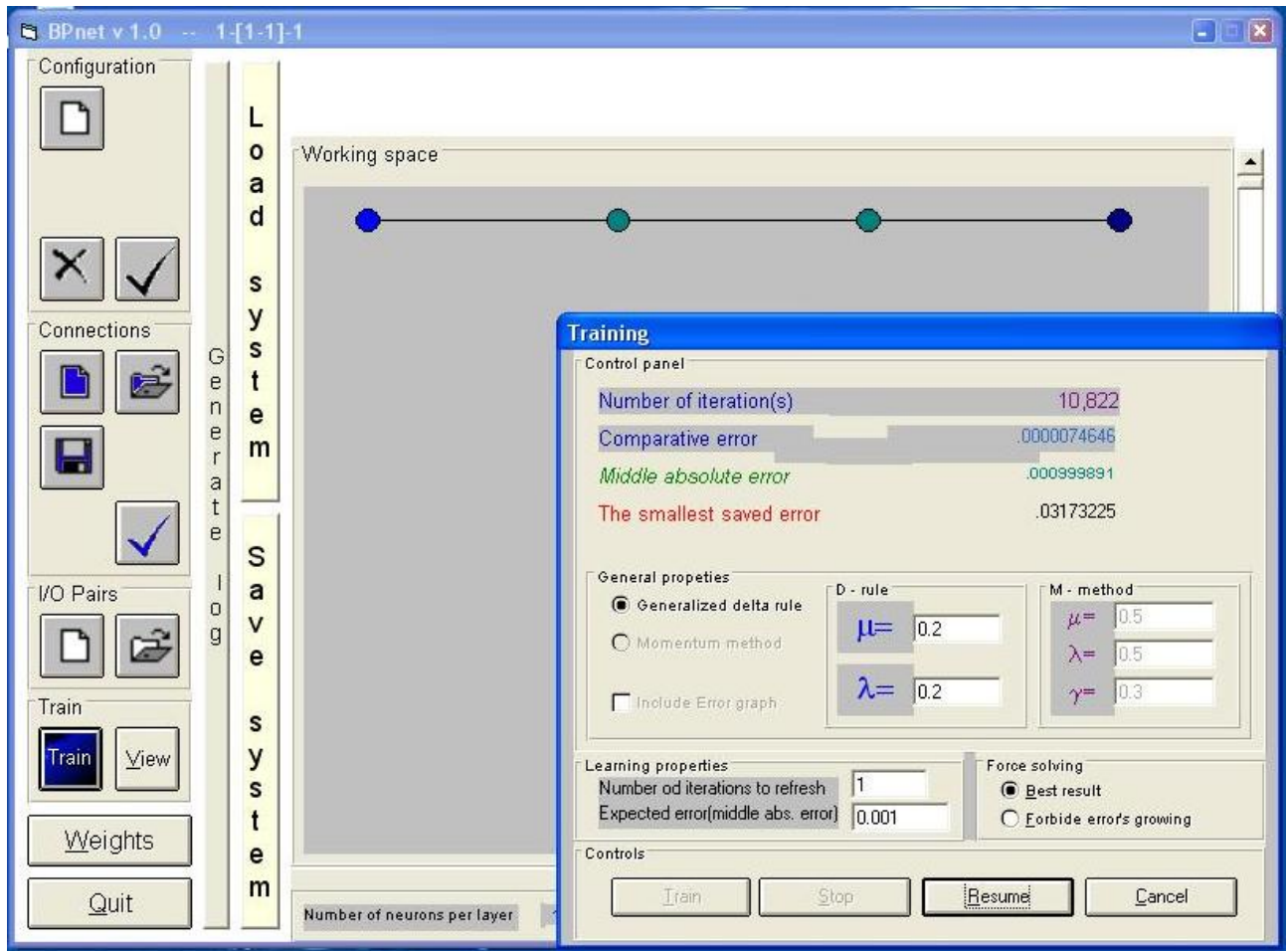
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.49831148416061
0.111111111	0.509090909	0.50933480845073
0.222222222	0.524242424	0.524939995465732
0.333333333	0.545454545	0.54634341742158
0.444444444	0.572727273	0.573684837015243
0.555555556	0.606060606	0.604537495461233

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.633792884080474
0.777777778	0.690909091	0.656639358605154
0.888888889	0.742424242	0.671702022913526
1	0.8	0.680579176813557

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[1-1]-1:



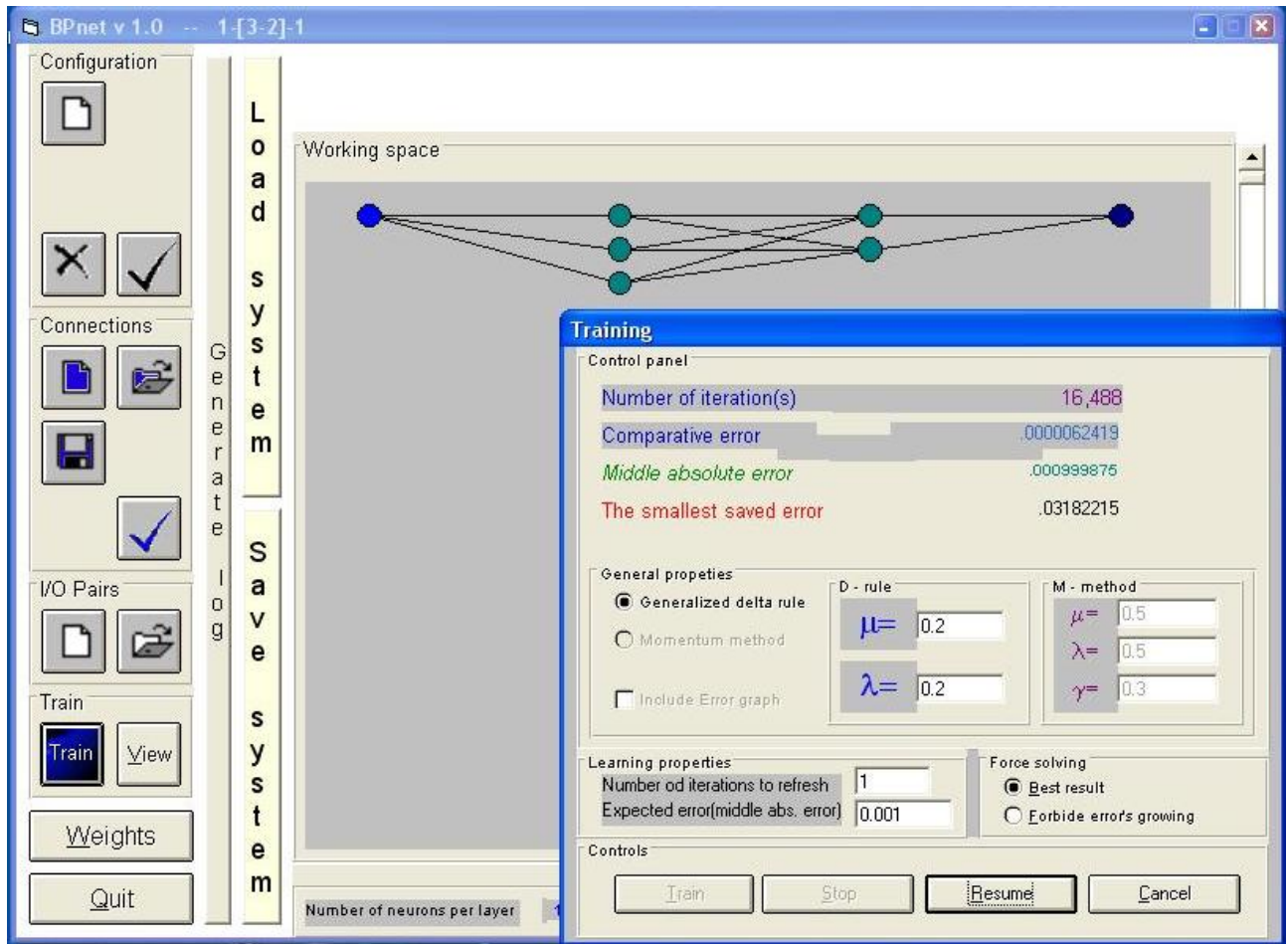
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499237515332361
0.111111111	0.509090909	0.50899133778672
0.222222222	0.524242424	0.524168416699347
0.333333333	0.545454545	0.546337560947087
0.444444444	0.572727273	0.574599501977218
0.555555556	0.606060606	0.603753630571174

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.62708992265928
0.777777778	0.690909091	0.643609442644295
0.888888889	0.742424242	0.653506296527318
1	0.8	0.659415745179921

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[3-2]-1:



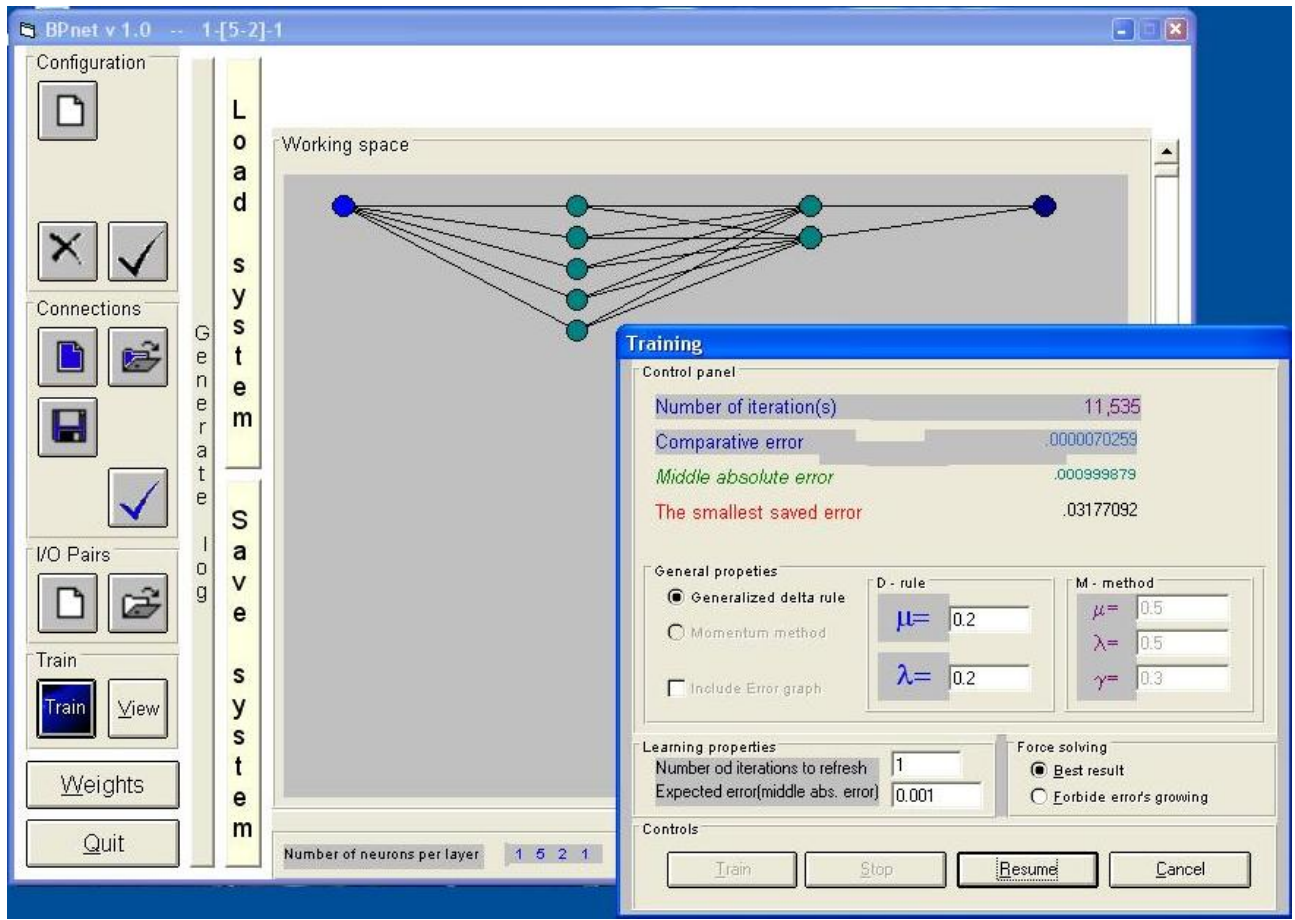
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.498790785859006
0.111111111	0.509090909	0.509116799327469
0.222222222	0.524242424	0.524532087098025
0.333333333	0.545454545	0.546400169529899
0.444444444	0.572727273	0.574227663157369
0.555555556	0.606060606	0.604033077307526

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.630013071435513
0.777777778	0.690909091	0.648878553099971
0.888888889	0.742424242	0.661066847426416
1	0.8	0.668568945012

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[5-2]-1:



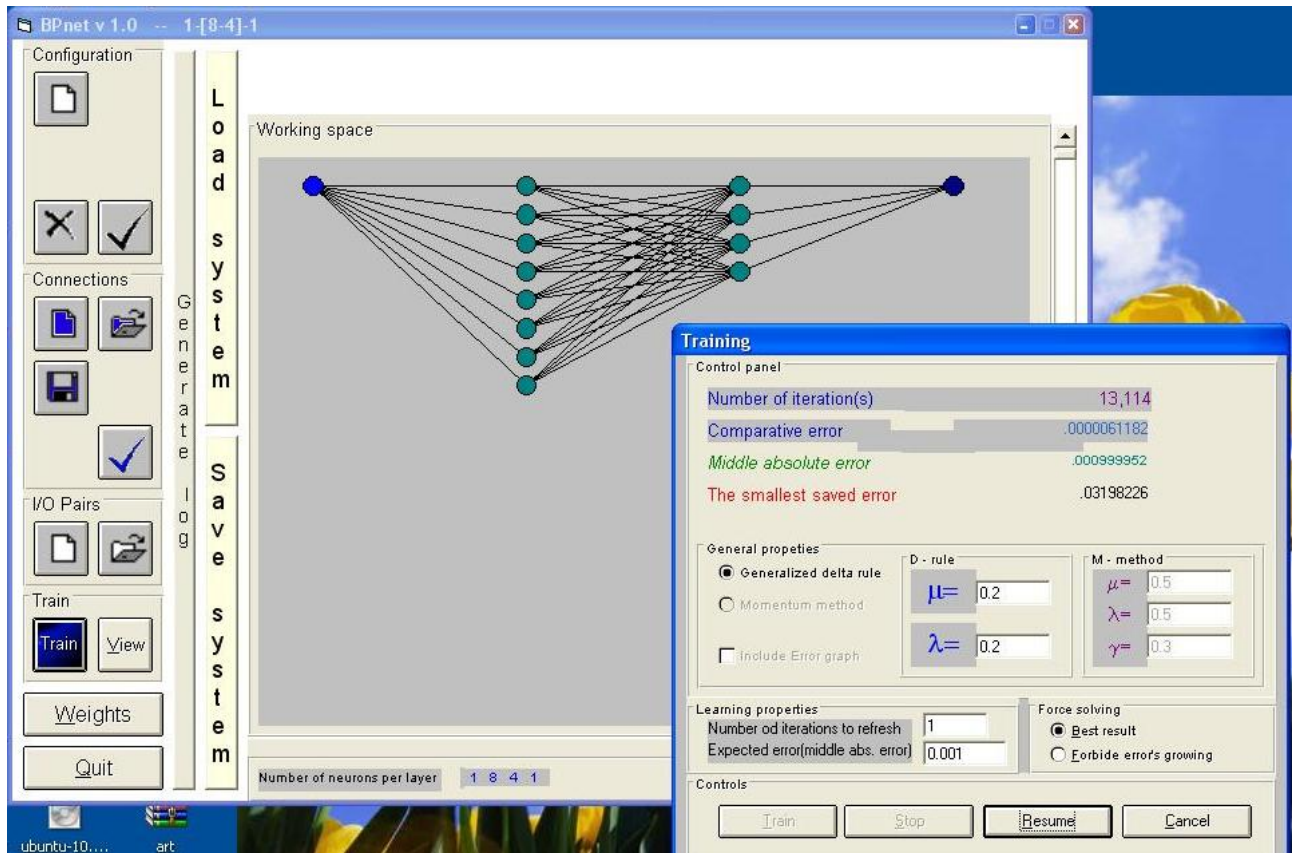
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499008320108629
0.111111111	0.509090909	0.509089212599381
0.222222222	0.524242424	0.524381590279445
0.333333333	0.545454545	0.546390718926458
0.444444444	0.572727273	0.574422494215101
0.555555556	0.606060606	0.603826650743306

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.62852957380731
0.777777778	0.690909091	0.645844008747473
0.888888889	0.742424242	0.656801928519286
1	0.8	0.663514428899462

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[8-4]-1:



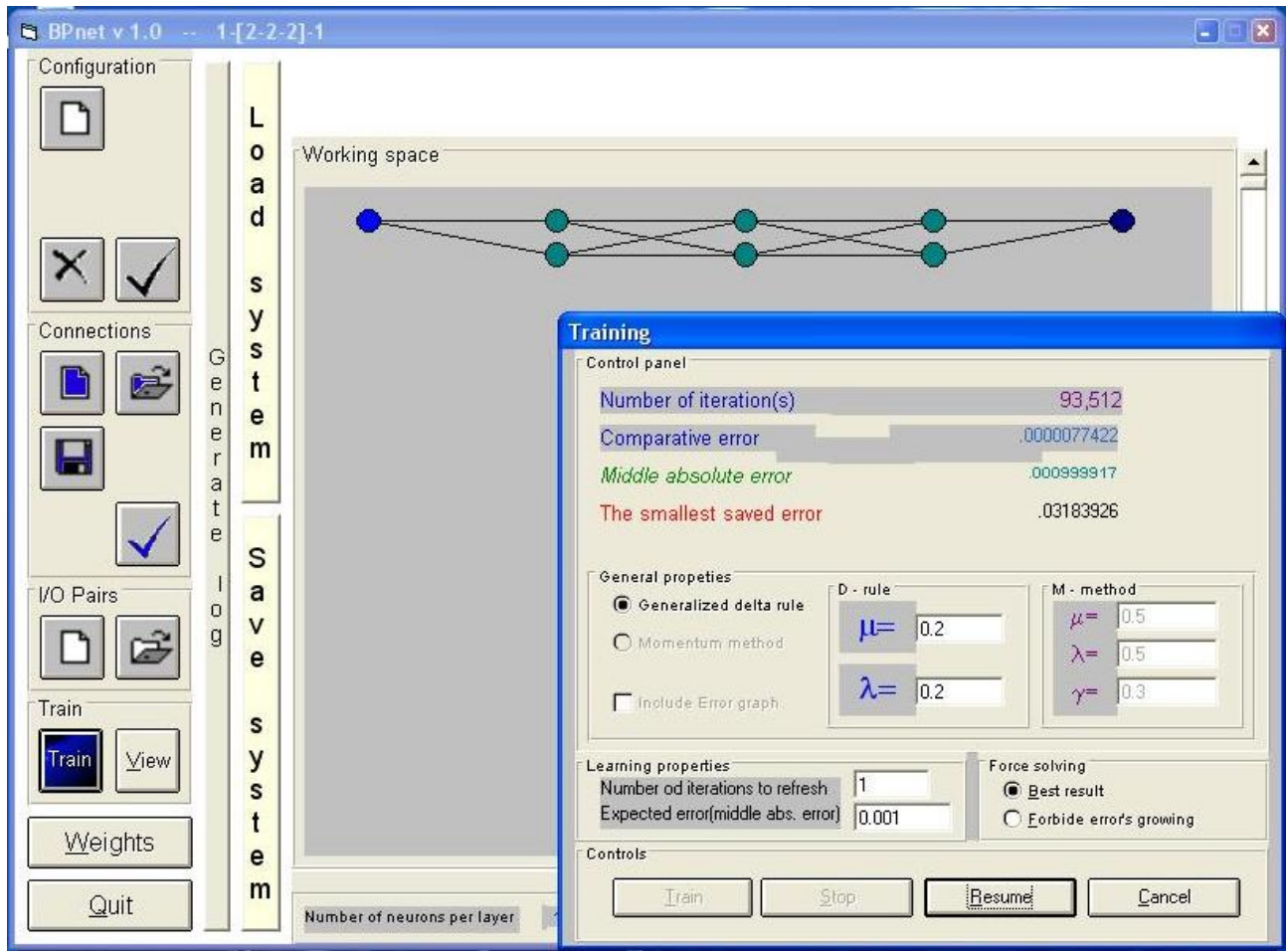
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.498814098782634
0.111111111	0.509090909	0.509158160589653
0.222222222	0.524242424	0.52456106703009
0.333333333	0.545454545	0.5463936161658
0.444444444	0.572727273	0.57418753069903
0.555555556	0.606060606	0.604033311752246

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.630198143699438
0.777777778	0.690909091	0.64936013330071
0.888888889	0.742424242	0.66186544187097
1	0.8	0.669651364630296

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[2-2-2]-1:



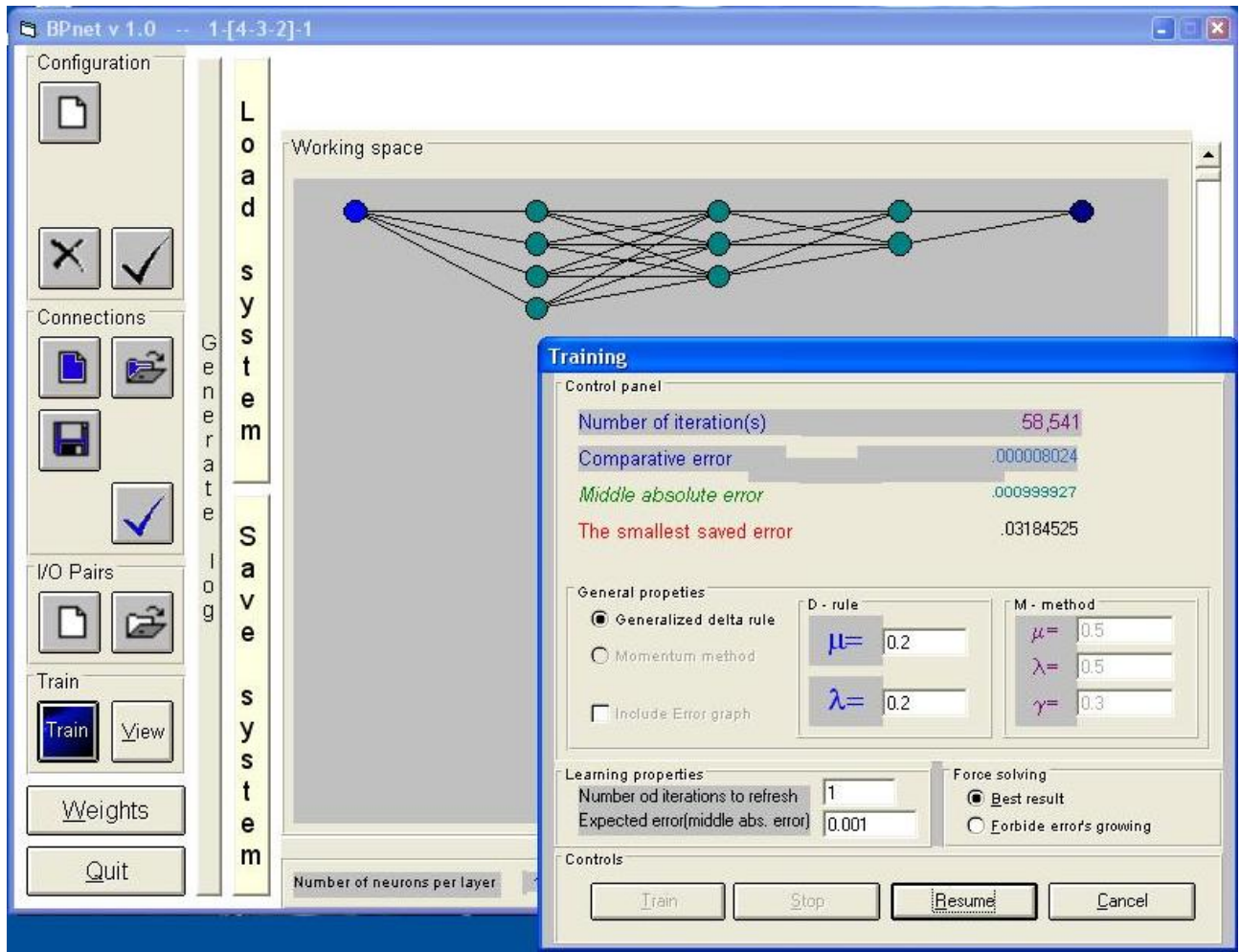
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499386435712528
0.111111111	0.509090909	0.509023261482325
0.222222222	0.524242424	0.524065982019326
0.333333333	0.545454545	0.546264871903807
0.444444444	0.572727273	0.574675682481151
0.555555556	0.606060606	0.60367889899929

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.626902927355262
0.777777778	0.690909091	0.642508521134433
0.888888889	0.742424242	0.652190493788903
1	0.8	0.658131515931049

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[4-3-2]-1:



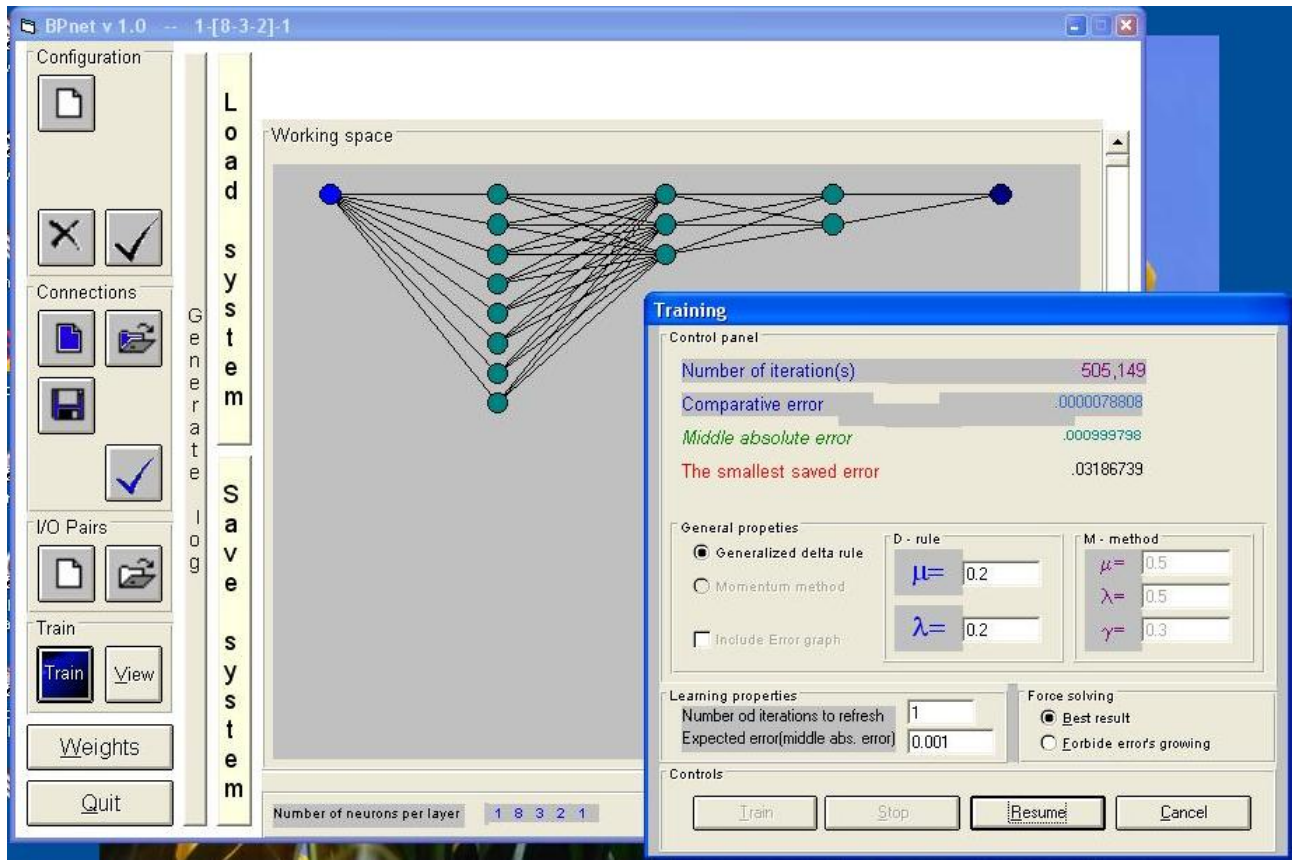
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499740587474376
0.111111111	0.509090909	0.508952560610862
0.222222222	0.524242424	0.523826126174276
0.333333333	0.545454545	0.546168227268147
0.444444444	0.572727273	0.574794794282577
0.555555556	0.606060606	0.603657739854547

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.626377079959502
0.777777778	0.690909091	0.641449242598429
0.888888889	0.742424242	0.650746513028899
1	0.8	0.656448834008558

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[8-3-2]-1:



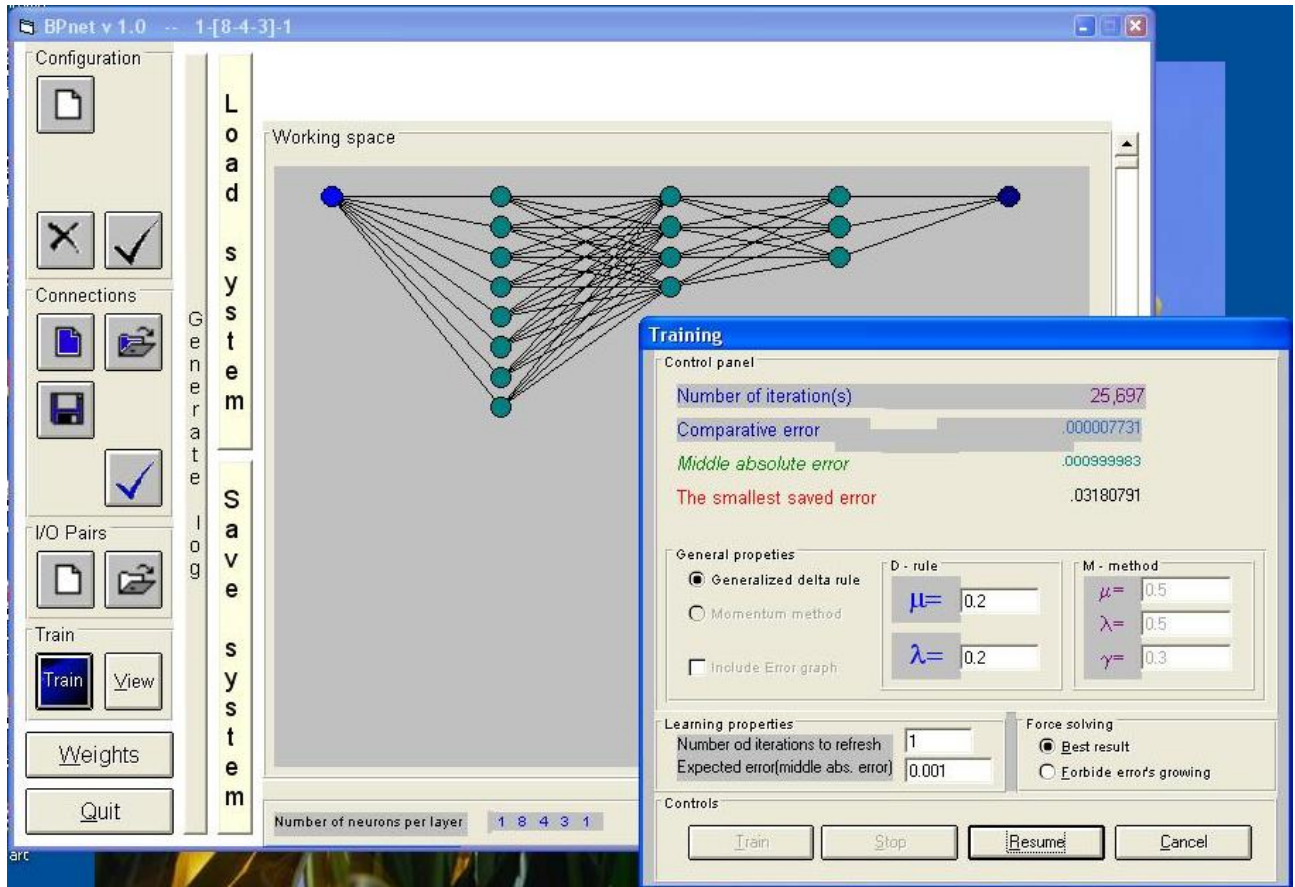
Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499551661177706
0.111111111	0.509090909	0.508992916989539
0.222222222	0.524242424	0.524001188788919
0.333333333	0.545454545	0.546271420049445
0.444444444	0.572727273	0.574705114524262
0.555555556	0.606060606	0.603645781225302

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.626853158141838
0.777777778	0.690909091	0.64253321997356
0.888888889	0.742424242	0.652328930490181
1	0.8	0.658383946493986

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		



Архитектура 1-[8-4-3]-1:



Скалиране улазне вредности	Скалиране излазне вредности	BP-net излази
0	0.5	0.499280928210774
0.111111111	0.509090909	0.509033835336937
0.222222222	0.524242424	0.52418973230855
0.333333333	0.545454545	0.546345614966087
0.444444444	0.572727273	0.574604967258501
0.555555556	0.606060606	0.603666709835453

Сет података за тестирање		
Улазне вредности	Излазне вредности	BP-net излази
0.666666667	0.645454545	0.627281820198639
0.777777778	0.690909091	0.643356657564801
0.888888889	0.742424242	0.653398589920904
1	0.8	0.65957736074358

Група:	Бројеви индекса чланова групе:					Шк. год.	Датум:	Прегледао:
Група 1	4/09	216/09	317/09	350/09	477/09	2010/11.		