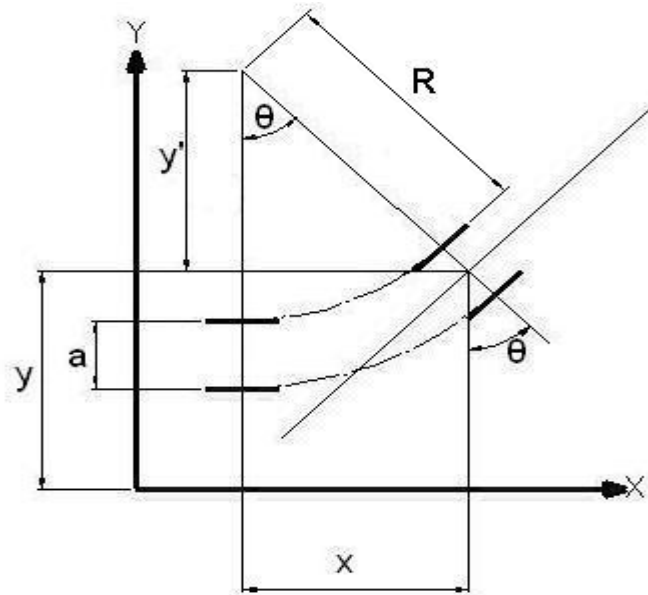




Задатак 4.1.1



Слика 1 Графички приказ кретања робота

Одређивање једначина кретања по X-y, Y-y и углу θ :

$$\frac{x}{y'} = \tan \theta \quad y' = \frac{x}{\tan \theta}$$

$$\Delta S_l = \theta R \quad \rightarrow \quad R = \frac{\Delta S_l}{\theta} = \frac{a \Delta S_l}{\Delta S_d - \Delta S_l}$$

$$\Delta S_d = \theta(R + a) \quad \theta R + \theta a - \theta R = \Delta S_d - \Delta S_l$$

$$\theta a = \Delta S_d - \Delta S_l \quad \theta = \frac{\Delta S_d - \Delta S_l}{a}$$

$$\begin{aligned} X: \quad x &= \sin \theta \left(R + \frac{a}{2} \right) = \sin \theta \left(\frac{a \Delta S_l}{\Delta S_d - \Delta S_l} + \frac{a}{2} \right) = \\ &= \sin \theta \left(\frac{2a \Delta S_l + \Delta S_d - a \Delta S_l}{2(\Delta S_d - \Delta S_l)} \right) = \sin \theta \left(\frac{a(\Delta S_l + \Delta S_d)}{2(\Delta S_d - \Delta S_l)} \right) = \\ &= \sin \theta \left(\frac{a(\Delta S_l + \Delta S_d)}{2\theta a} \right) = \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \frac{1}{\theta} \sin \theta = \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \cos(\theta_1 + \theta) = \\ &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \cos\left(\theta + \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2}\right) \end{aligned}$$

За јако мало θ када θ тежи нули $\theta = \tan \theta$

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



$$\begin{aligned}
 Y: \quad y = R + \frac{a}{2} - y' = R + \frac{a}{2} - \frac{\Delta S_l + \Delta S_d \cos \theta}{2 \tan \theta} &= \frac{a \Delta S_l}{\Delta S_d - \Delta S_l} + \frac{a}{2} - \frac{\Delta S_l + \Delta S_d \cos \theta}{2 \tan \theta} = \\
 &= \frac{2a \Delta S_l + a \Delta S_d - a \Delta S_l}{2(\Delta S_d - \Delta S_l)} - \frac{\Delta S_l + \Delta S_d \cos \theta}{2 \tan \theta} = \\
 &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2\theta} - \frac{\Delta S_l + \Delta S_d \cos \theta}{2\theta} = \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2\theta} (1 - \cos \theta) \\
 y &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} - \left(\frac{\cos \theta - \cos^2 \theta}{\sin \theta} \right)
 \end{aligned}$$

За јако мали угао θ можемо рећи да је $\cos \theta \approx 1 \rightarrow \cos \theta = 1$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \left(\frac{\cos \theta - 1 + \sin^2 \theta}{\sin \theta} \right) = \\
 &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \sin \theta \\
 y &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \sin(\theta_1 + \theta) = \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \sin\left(\theta + \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2}\right)
 \end{aligned}$$

Добијене су следеће једначине кретања:

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{\Delta S_d + \Delta S_l}{a} \\
 x &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \cos\left(\theta + \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2}\right) \\
 y &= \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2} \sin\left(\theta + \frac{\Delta S_l + \Delta S_d}{2}\right)
 \end{aligned}$$

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		

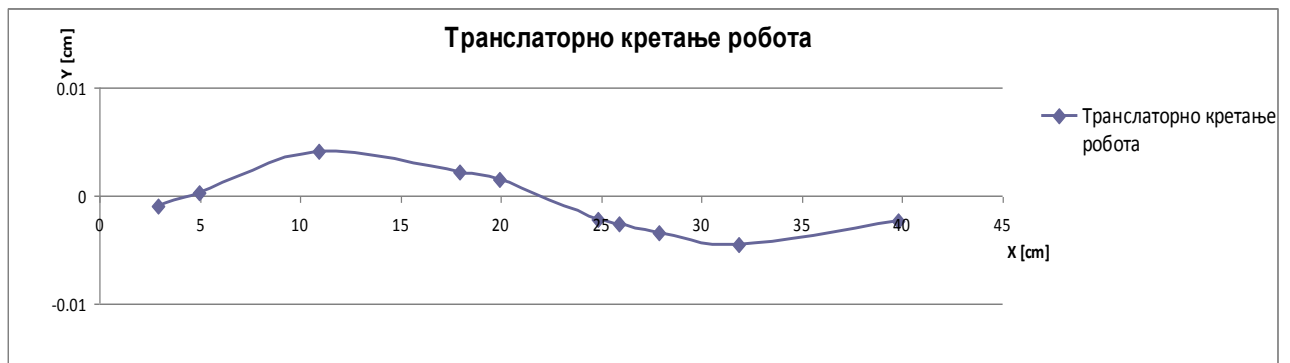


Задатак 4.1.2

Табела 1 Транслаторно кретање робота

ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Транслаторно кретање по x-оси [cm]	θ [rad]	x [cm]	y [cm]
		Итерације	$\theta = (\Delta S_d - \Delta S_l) / a$	$x = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * \cos(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2)$	$y = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * \sin(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2)$
2.960438	2.974391	1	-9.30201E-05	2.967414349	-0.000276029
2.060629	1.935042	2	0.000837245	4.965249509	0.00121081
5.978649	5.996966	3	-0.000122114	10.95305553	0.005492876
7.002599	7.038874	4	-0.000241831	17.97379136	0.002937712
1.938556	1.975214	5	-0.000244388	19.93067615	0.001986237
4.971159	4.963249	6	5.27372E-05	24.89787992	0.001034268
1.043865	1.05431	7	-6.96304E-05	25.94696768	0.001016546
1.905182	2.031025	8	-0.000838954	27.91507069	-0.000771643
3.9954	3.952568	9	0.000285548	31.88905401	-0.002970872
7.994608	7.917483	10	0.000514166	39.84509702	0.003391685

Растојање између два независна погонска точка смо обележили са константом "a". Док променљиве ΔS_d и ΔS_l представљају помераје десног односно левог погонског точка.



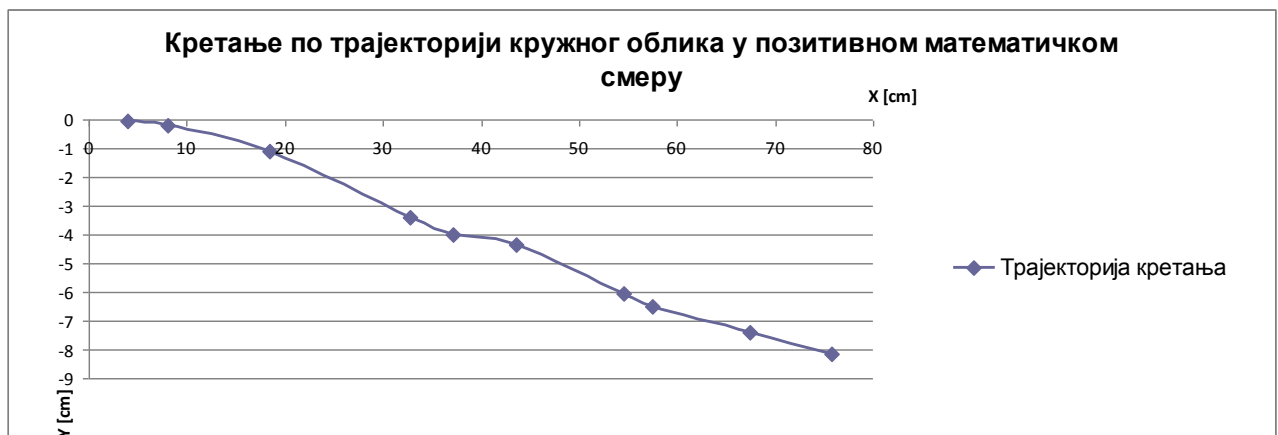
Слика 1 Транслаторно кретања робота

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 2 Кретање робота у позитивном математичком смеру

ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Кретање по траекторији кружног облика у позитивном математичком смеру	θ [rad]	x [cm]	y [cm]
		Итерације	$\theta = (\Delta S_d - \Delta S_l) / a$	$x = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * \cos(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2)$	$y = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * \sin(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2)$
2.930308	4.98763	1	-0.013715476	3.958596572	-0.054297442
2.033152	5.923623	2	-0.025936476	7.933856786	-0.212006932
5.975707	14.91152	3	-0.059572101	18.33931415	-1.103937686
7.062789	22.07415	4	-0.100075742	32.72252109	-3.419895104
1.905854	6.954683	5	-0.033658861	37.1132311	-4.010610813
4.942423	7.92076	6	-0.019855585	43.53561542	-4.354629617
1.085622	21.015	7	-0.132862551	54.45731687	-6.035660672
1.987782	4.098438	8	-0.014071041	57.46763602	-6.48118854
3.912367	15.94921	9	-0.080245617	67.3542872	-7.4164393
7.985166	8.93545	10	-0.00633523	75.78290488	-8.148025118



Слика 2 Кретање робота у позитивном математичком смеру

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 3 Кретање робота у негативном математичком смеру

ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Кретање по траекторији кружног облика у негативном математичком смеру	θ [rad]	x [cm]	y [cm]
		Итерације	$\theta = (\Delta S_d - \Delta S_l) / a$	$x = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * \cos(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2)$	$y = ((\Delta S_d + \Delta S_l) / 2) * (\sin(\theta + (\Delta S_d + \Delta S_l) / 2))$
14.95513	2.988562	1	0.079777145	8.943312386	0.714989401
12.03777	1.98697	2	0.067005309	15.88027487	1.740589938
16.95135	5.900297	3	0.073673701	27.19322389	3.342667061
21.01806	7.084025	4	0.092893561	41.04979539	5.672303174
4.936858	1.975897	5	0.019739741	44.48427196	6.060783791
4.993365	4.978211	6	0.00010103	49.46907886	6.159699185
8.077077	1.011356	7	0.047104809	54.00823297	6.374133072
1.962201	2.075983	8	-0.000758545	56.02515696	6.46767695
3.980437	3.984228	9	-2.52695E-05	60.00748836	6.464555539
24.91344	7.937364	10	0.113173816	76.32785697	8.319102623



Слика 3 Кретање робота у негативном математичком смеру

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Задатак 4.2.1

Табела 1 Експериментисање са бројем скривених слојева као и са бројем неурона у Vpnet-у

Број експеримента	Број скривених слојева	Број неурона по слоју	Коефицијенти учења μ и λ	Тражена минимална грешка	Број итерација	Добијена минимална грешка
1.	1	3	0.2	0.025	269 949	0.407543
2.	1	3	0.7	0.025	107 982	0.408728
3.	1	4	0.2	0.025	227 555	0.024999986
4.	1	4	0.7	0.025	81 389	0.024999988
5.	1	2	0.2	0.025	140 040	0.15204158
6.	1	3	0.7	0.025	46 488	0.22977346
7.	2	3 3	0.5	0.025	98 313	0.04636256
8.	2	2 1	0.5	0.025	123 947	0.57475008
9.	2	2 2	0.5	0.025	77 927	0.25221867
10.	2	5 5	0.5	0.025	195 264	0.024999632
11.	3	1 1 1	0.5	0.025	195 538	0.715796905
12.	3	2 3 2	0.5	0.025	192 028	0.07496304
13.	3	1 2 3	0.5	0.025	234 268	0.41368166
14.	3	2 2 3	0.5	0.025	267 189	0.09935036
15.	4	2 2 3 2	0.5	0.025	595 608	0.16811045

Напомена:

Вештачке неуронске мреже које нису биле у стању да остваре минималну тражену грешку тј. да приведу експеримент крају, стога оне се више неће разматрати.

Код таквих експеримената добијена минимална грешка не одговара горе наведеном броју итерација пошто смо обучавали мрежу дуже време како би се пронашло решење. Експеримен је обустављен оног тренутка када грешка крене да расте.

Од свих изведених експеримената једини који ће се даље разматрати су експерименти под бројем 3, 4 и 10. Како бисмо установили који од њих је најпогоднији спровешћемо нове експерименте како би утврдили суму свих грешака односно колико вредности, које неуронска мрежа даје, одступају од задатих улазних.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 2 Детаљни прорачун укупне грешке над експериментом по редном броју три

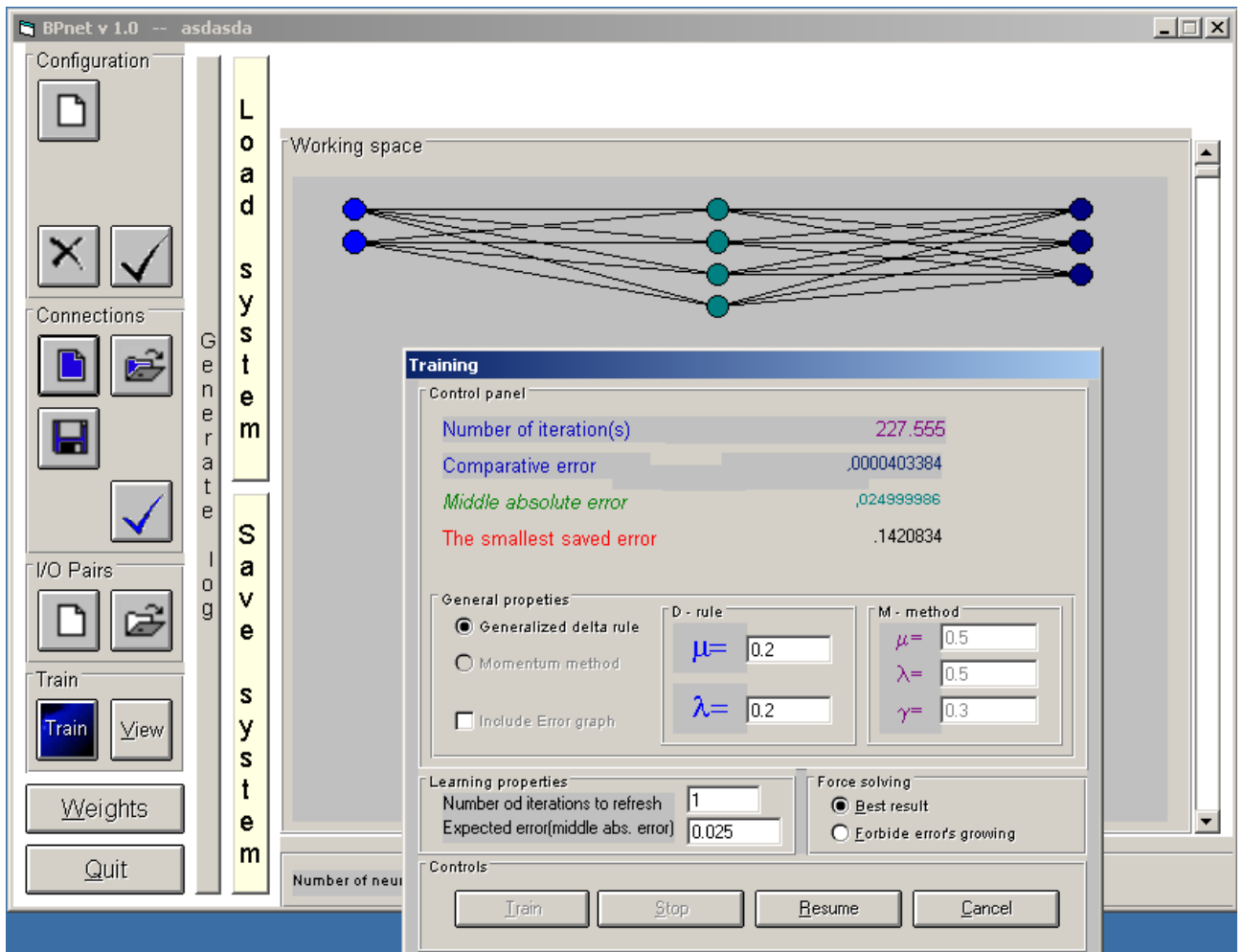
ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Математички добијене вредности при урачунатој грешки од 3%			Неуронска мрежа са једним скривеним слојем и четири неурона при коефицијенту учења 0.2		
		Угао θ [rad]	Померај по X [cm]	Померај по Y [cm]	Угао θ_{net} [rad]	Померај по X _{net} [cm]	Померај по Y _{net} [cm]
2.90091	2.974832	-4.93E-04	2.94	-1.45E-03	-3.74E-04	2.88	3.35E-03
5.978482	5.988194	-6.47E-05	5.98	-3.87E-04	2.55E-05	6.02	1.10E-02
1.94719	1.976919	-1.98E-04	1.96	-3.89E-04	-3.25E-04	1.94	-4.85E-03
1.013172	1.098106	-5.66E-04	1.06	-5.98E-04	-1.00E-03	1.19	-1.67E-02
3.933381	3.903266	2.01E-04	3.92	7.87E-04	4.66E-04	3.89E	1.24E-02
7.904618	7.913092	-5.65E-05	7.91	-4.47E-04	-7.04E-04	7.84	-9.02E-03
2.983718	4.968768	-1.32E-02	3.98	-5.26E-02	-1.32E-02	3.98	-4.79E-02
5.90232	14.95722	-6.04E-02	1.04E+01	-6.29E-01	-5.98E-02	1.05	-6.19E-01
1.927536	6.96169	-3.36E-02	4.44	-1.49E-01	-3.26E-02	4.55	-1.54E-01
1.941483	4.082347	-1.43E-02	3.01	4.30E-02	-1.41E-02	2.98	-5.00E-02
7.957254	8.9069	-6.33E-03	8.43	-5.34E-02	-8.03E-03	8.33	-7.23E-02
14.99719	2.918516	8.05E-02	8.93	7.21E-01	7.85E-02	9.11	6.93E-01
16.99692	5.968245	7.35E-02	1.15E+01	8.43E-01	7.72E-02	1.14	8.61E-01
4.974086	1.985415	1.99E-02	3.48	6.93E-02	2.05E-02	3.40	8.84E-02
8.095922	1.015623	4.72E-02	4.55	2.15E-01	4.70E-02	4.54	2.27E-01
24.99939	7.937696	1.14E-01	1.64E+01	1.87	1.13E-01	1.64	1.87

Сума свих грешака

$$\sum_1^{16} (f - f_{net})^2$$

9,84E-02

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Слика 1 Практични пример експеримента под редним бројем три

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 3 Детаљни прорачун укупне грешке над експериментом по редном броју четири

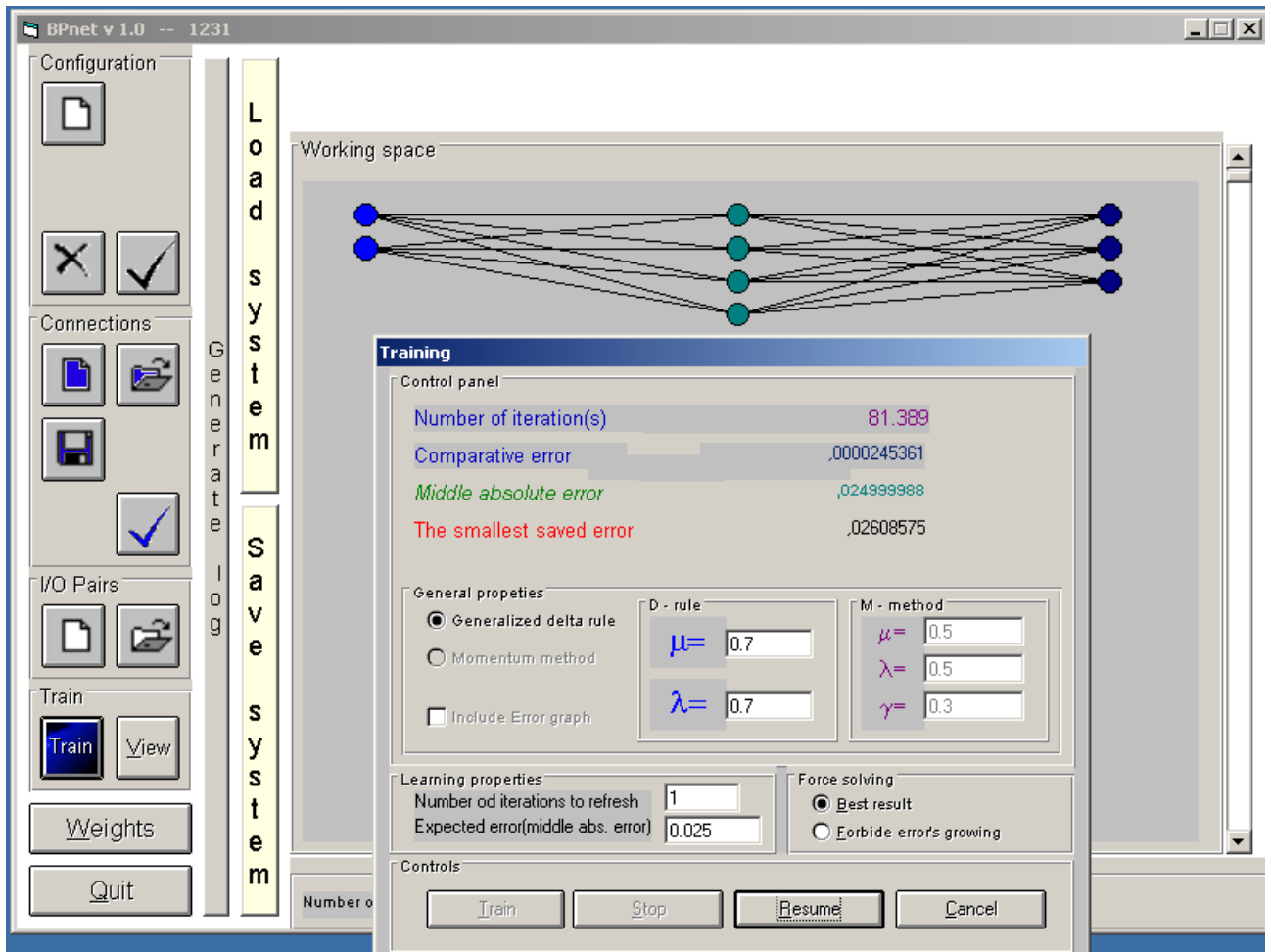
ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Математички добијене вредности при урачунатој грешки од 3 %			Неуронска мрежа са једним скривеним слојем и четири неурона при коефицијенту учења 0.7		
		Угао θ [rad]	Померај по X [cm]	Померај по Y [cm]	Угао θ_{net} [rad]	Померај по X _{net} [cm]	Померај по Y _{net} [cm]
2.90091	2.974832	-4.93E-04	2.94	-1.45E-03	-4.70E-04	2.91	4.97E-03
5.978482	5.988194	-6.47E-05	5.98	-3.87E-04	2.84E-04	6.06	7.20E-04
1.94719	1.976919	-1.98E-04	1.96	-3.89E-04	-9.23E-04	2.02	1.02E-02
1.013172	1.098106	-5.66E-04	1.06	-5.98E-04	-2.24E-03	1.29	1.41E-02
3.933381	3.903266	2.01E-04	3.92	7.87E-04	6.43E-04	3.90	4.48E-03
7.904618	7.913092	-5.65E-05	7.91	-4.47E-04	-8.68E-04	7.96	2.53E-03
2.983718	4.968768	-1.32E-02	3.98	-5.26E-02	-1.24E-02	3.93	-5.58E-02
5.90232	14.95722	-6.04E-02	1.04E+01	-6.29E-01	-6.09E-02	1.04E+01	-6.16E-01
1.927536	6.96169	-3.36E-02	4.44	-1.49E-01	-3.15E-02	4.34	-1.87E-01
1.941483	4.082347	-1.43E-02	3.01	4.30E-02	-1.38E-02	2.94	-4.93E-02
7.957254	8.9069	-6.33E-03	8.43	-5.34E-02	-7.40E-03	8.46	-4.41E-02
14.99719	2.918516	8.05E-02	8.93	7.21E-01	8.07E-02	9.02	7.21E-01
16.99692	5.968245	7.35E-02	1.15E+01	8.43E-01	7.31E-02	1.14E+01	8.49E-01
4.974086	1.985415	1.99E-02	3.48	6.93E-02	2.02E-02	3.45	7.22E-02
8.095922	1.015623	4.72E-02	4.55	2.15E-01	4.79E-02	4.43	1.95E-01
24.99939	7.937696	1.14E-01	1.64E+01	1.87	1.14E-01	1.64E+01	1.87

Сума свих грешака

$$\sum_1^{16} (f - f_{net})^2$$

1,17E-01

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Слика 2 Практични пример експеримента под редним бројем четири

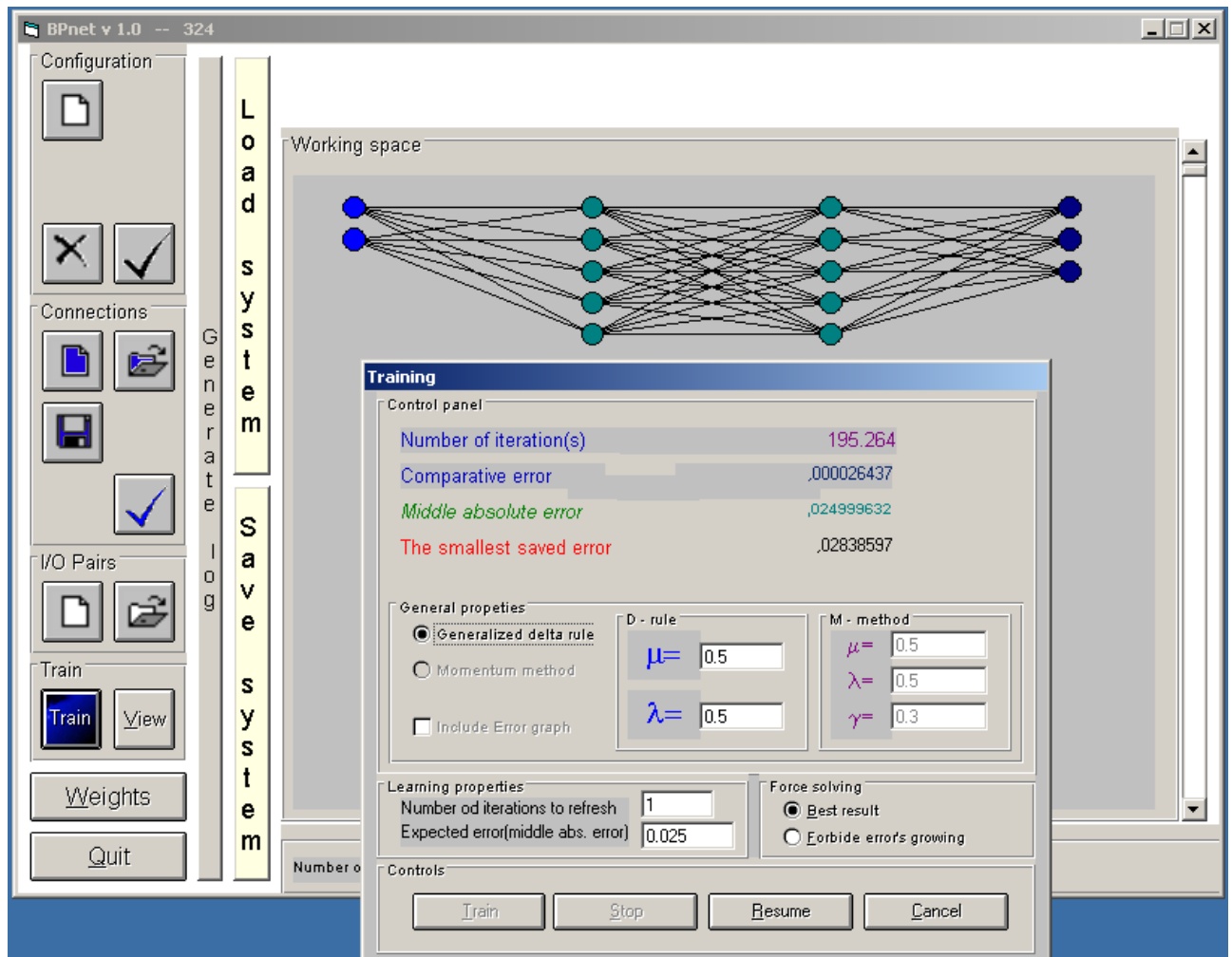
Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 4 Детаљни прорачун укупне грешке над експериментом по редном броју десет

ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	Математички добијене вредности при урачунатој грешки од 3%			Неуронска мрежа са два скривена слоја и са по пет неурона при коефицијенту учења 0.5		
		Угао θ [rad]	Померај по X [cm]	Померај по Y [cm]	Угао θ_{net} [rad]	Померај по X_{net} [cm]	Померај по Y_{net} [cm]
2.90091	2.974832	-4.93E-04	2.94	-1.45E-03	-1.29E-03	2.83	-1.66E-03
5.978482	5.988194	-6.47E-05	5.98	-3.87E-04	-1.03E-03	5.99	-5.42E-03
1.94719	1.976919	-1.98E-04	1.96	-3.89E-04	-1.26E-03	1.91	1.02E-03
1.013172	1.098106	-5.66E-04	1.06	-5.98E-04	-2.13E-03	1.15	2.57E-03
3.933381	3.903266	2.01E-04	3.92	7.87E-04	-5.20E-04	3.83	-1.46E-03
7.904618	7.913092	-5.65E-05	7.91	-4.47E-04	-1.33E-03	7.86	-7.53E-03
2.983718	4.968768	-1.32E-02	3.98	-5.26E-02	-1.39E-02	3.88	-4.66E-02
5.90232	14.95722	-6.04E-02	1.04E+01	-6.29E-01	-6.10E-02	1.03E+01	-6.28E-01
1.927536	6.96169	-3.36E-02	4.44	-1.49E-01	-3.34E-02	7.37	-1.66E-01
1.941483	4.082347	-1.43E-02	3.01	4.30E-02	-1.50E-02	2.89	-4.10E-02
7.957254	8.9069	-6.33E-03	8.43	-5.34E-02	-7.35E-03	8.32	-4.70E-02
14.99719	2.918516	8.05E-02	8.93	7.21E-01	7.82E-02	8.91	7.22E-01
16.99692	5.968245	7.35E-02	1.15E+01	8.43E-01	7.36E-02	1.13E+01	6.37E-01
4.974086	1.985415	1.99E-02	3.48	6.93E-02	1.98E-02	3.38	5.65E-02
8.095922	1.015623	4.72E-02	4.55	2.15E-01	4.75E-02	4.45	2.05E-01
24.99939	7.937696	1.14E-01	1.64E+01	1.87	1.14E-01	1.63E+01	1.86
					Сума свих грешака		
					$\sum_1^{16} (f - f_{net})^2$		
					1,16E-01		

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Слика 3 Практични пример експеримента под редним бројем десет

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 5 Приказ укупне грешке за сва три експеримента

Број експеримента	Број скривених слојева	Број неурона по слоју	Коефицијенти учења μ и λ	Сума свих грешака помераја добијених вредности од неуронске мреже у односу на задате улазне:
				$\sum_1^{16} (f - f_{net})^2 [cm]$
3.	1	4	0.2	9,84E-02
4.	1	4	0.7	1,17E-01
10.	2	5 5	0.5	1,16E-01

Као што се може видети експеримент са два скривена слоја са по пет неурона даје такве резултате са најмањом грешком. Из тих разлога за даље разматрање кретања робота користиће се управо ова неуронска мрежа као најпогоднија.

Задатак 4.2.2

Табела 1 Задавање нових улазних података које мрежа до сада није „видела”

Пејединачно добијене вредности за померај по X-оси, Y-оси и углу θ за вредности пређеног пута које мрежа до сада није „видела”					
Итерације	ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	X [cm]	θ [rad]	Y [cm]
1	3	3	2.890564353034400	-0.000776481278679	-0.000540553901550
2	5	5	4.966446274428540	-0.000810396759528	-0.003717786520755
3	10	10	9.575338738588290	-1.283094887368250	-0.005735383041383
4	6	1	3.413452718447720	0.033703807332928	0.109310307912808
5	5	1	2.924132325033730	0.026840563590039	0.076134591355643
6	13	1	6.964660367354160	0.077158462120223	0.590176062548475
7	2	18	10.991307229585500	-0.082607901277809	-0.917050720315815
8	1	17	10.345932016991900	-0.082554065335167	-0.910559725084637
9	8	17	11.589555941323600	-0.060243003998222	-0.649136915206720
10	9	15	10.973228201662000	-0.413467890517605	-0.040927708032199

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Табела 2 Добијени излази редно сабрани

Пејединачно добијене вредности за померај по X-оси, Y-оси и углу θ редно сабране					
Итерације	ΔS_d [cm]	ΔS_l [cm]	X [cm]	θ [rad]	Y [cm]
1	3	3	2.890564353034400	-0.000776481278679	-0.000540553901550
2	5	5	7.857010627462940	-0.001586878038207	-0.004258340422305
3	10	10	17.432349366051200	-1.284681765406460	-0.009993723463688
4	6	1	20.845802084498900	-1.250977958073530	0.099316584449120
5	5	1	23.769934409532700	-1.224137394483490	0.175451175804762
6	13	1	30.734594776886800	-1.146978932363270	0.765627238353237
7	2	18	41.725902006472300	-1.229586833641080	-0.151423481962578
8	1	17	52.071834023464200	-1.312140898976240	-1.061983207047210
9	8	17	63.661389964787800	-1.372383902974460	-1.711120122253930
10	9	15	74.634618166449800	-1.785851793492070	-1.752047830286130



Слика 1 Графички приказ жељене и добијене трајекторије

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		



Закључак:

Првобитно су доказани закони кретања нашег робота. Тиме се стиче право да се на исте једначине позовемо као и да их користимо. На основу тих једначина и услова да мора постојати грешка од 3% добијене су путање по којима ће се робот кретати и то: транслаторно, у позитивном математичком смеру и у негативном математичком смеру. Извршено је по десет итерација за свако кретање а 50% од сваког начина кретања је унето у неуронску мрежу. Уследили су експерименти са бројем скривених слојева, бројем неурона по сваком слоју и коефицијентима учења μ и λ . Првих шест експеримената је рађено по датим формулама и то: $n = \frac{2(N_x + N_y)}{3}$; $n < 2N_x$; $n = \sqrt{N_x N_y}$ где је n број неурона у скривеном слоју а N_x и N_y број улаза и број излаза. Међутим нисмо добили велики број експеримената који су испунили услов да минимална грешка износи 0.025 тиме се за наше даље разматрање број експеримената све на три. Ти експерименти су се даље проверавали како би се установило који од њих има најмању грешку. Добијено је да тај услов задовољава неуронска мрежа са два скривена слоја са по пет неурона у сваком слоју. Да бисмо проверили колико је мрежа добро обучена задати су улази које до тада још никад није „видела”. Дато је нових десет итерација за пређене путеве десног односно левог погонског точка и мрежа је реаговала тако да када је извршена сума добијених пређених путева по X-у, Y-у и углу ротације θ добијена је више него добра путања кретања.

Група:	Бројеви индекса чланова групе:				Шк. год.	Датум:	Прегледао:
2	92/08	161/08	207/08	514/08	2009/10.		