

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MẠNG NƠ RON ĐỂ NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN CÁNҺ TAY ROBOT – MỘT ĐỐI TƯỢNG ĐỘNG HỌC PHI TUYẾN

RESEARCH ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN IDENTIFICATION AND CONTROL OF ROBOT ARMS – A NONLINEAR DYNAMIC OBJECT

Nguyễn Hữu Công

Đại học Thái Nguyên; conghn@tnu.edu.vn

Tóm tắt - Mạng nơ ron có khả năng xấp xỉ vạn năng, nên trong những năm gần đây chúng được sử dụng rộng rãi và có hiệu quả trong việc nhận dạng và điều khiển các đối tượng động học phi tuyến. Tuy nhiên, khi thiết kế hệ thống, việc chọn mô hình mạng như thế nào cho đơn giản nhất và phù hợp với lớp đối tượng cụ thể vẫn là bài toán khó khăn. Bài báo này nghiên cứu việc ứng dụng mô hình mạng nơ ron để nhận dạng và điều khiển cánh tay robot – một đối tượng động học phi tuyến. Bài báo cũng giới thiệu các bước và bản chất của việc thiết kế bộ điều khiển bằng mạng nơ ron theo mô hình mẫu. Các kết quả mô phỏng đã thể hiện sự đúng đắn của phương pháp và mở ra khả năng ứng dụng vào thực tiễn.

Từ khóa - nhận dạng; điều khiển; hệ thống động học phi tuyến; mạng nơ ron; cánh tay robot.

Abstract - Neural networks can have approximate multipower, so in recent years they have been used widely and effectively in identification and control of nonlinear dynamic objects. However, when a systems is designed, choosing a network model which is simple and suitable for a specific object is still a difficult problem. This article studies the application of neural network models to identify and control robot arm – a nonlinear dynamic object. This article also introduces the procedure and nature of designing a neural network controller following the models. The simulation results shows the correctness of the method and opens up the possibility for practical application.

Key words - Identification; control; nonlinear dynamic systems; neural networks; robot arm.

1. Đặt vấn đề

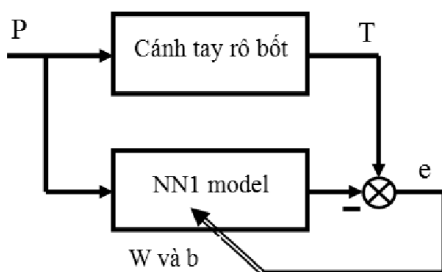
Mạng nơ ron nhân tạo ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhận dạng và điều khiển, đặc biệt là các đối tượng phi tuyến. Cơ sở toán học của việc khẳng định rằng mạng nơ ron là công cụ xấp xỉ vạn năng các hàm số liên tục là dựa trên các định lý Stone – Weierstrass và Kolmogorov [1], [2].

Việc sử dụng định lý Stone – Weierstrass để chứng minh khả năng xấp xỉ của mạng nơ ron đã được các tác giả Hornic et al., Funahashi, Cotter, Blum đưa ra từ năm 1989. Các mạng nơ ron thỏa mãn định lý Stone – Weierstrass có thể kể đến là mạng lượng giác, mạng hai lớp với hàm kích hoạt sigmoid, mạng hai lớp với hàm kích hoạt McCulloch – Pitts (MC - P) và mạng với hàm cơ sở xuyên tâm (RBF), mạng hồi quy thời gian liên tục [1], [2], [4].

Việc sử dụng định lý Kolmogorov để biểu diễn chính xác hàm liên tục và đưa ra sơ đồ mạng nơ ron tương ứng đã được Hecht - Nielson và Lorents công bố [1], [2].

Phần tiếp theo của bài báo sẽ trình bày về mô hình động học phi tuyến của cánh tay robot và việc sử dụng mạng nơ ron có thể để nhận dạng và điều khiển đối tượng.

2. Nhận dạng cánh tay robot



Hình 1. Nhận dạng cánh tay Robot bằng NN (neural network)

Bài toán được thiết lập như sau: Đối tượng cần nhận

dạng là cánh tay robot có đặc tính động học phi tuyến. Sử dụng một mạng nơ ron làm mô hình thay thế. Yêu cầu của bài toán là xác định cấu trúc và tham số của mạng nơ ron sao cho sai lệch mse (Mean squared error) giữa đầu ra của mạng nơ ron và đối tượng là nhỏ nhất.

Hệ thống nhận dạng cánh tay robot bằng mạng nơ ron như Hình 1 [3].

Mạng nơ ron được sử dụng làm mô hình ký hiệu là NN1 model.



Hình 2. Cánh tay Robot

Đối tượng điều khiển là cánh tay robot như Hình 2, là một đối tượng có đặc tính động học và phi tuyến có mô hình toán học biểu diễn dưới dạng phương trình vi phân có dạng như sau [3]:

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} = -a \sin \phi - b \frac{d\phi}{dt} + cu \quad (1)$$

Trong đó: ϕ là vị trí góc của cánh tay robot; u là mô men do động cơ một chiều tạo ra. Tính phi tuyến của đối tượng thể hiện ở hàm $\sin \phi$ trong phương trình vi phân (1).

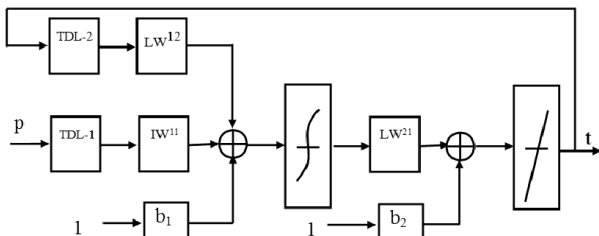
Theo lý thuyết mạng nơ ron là một bộ xấp xỉ vạn năng, cho nên có thể chọn được một cấu trúc mạng nơ ron hợp lý để nhận dạng. Vì cánh tay robot là đối tượng có đặc tính động học và phi tuyến với quan hệ một vào và một ra, cho nên mạng nơ ron NN1 model được chọn phải là mạng nơ ron có đặc tính động học và phi tuyến, lớp ra của NN1

model cũng chỉ có một nơ ron. Như vậy ta chọn mạng NN1 model có đặc tính động học với lớp ra có một nơ ron.

Trong điều khiển tự động, ta cố gắng làm sao để cho bài toán đơn giản mà vẫn đáp ứng được yêu cầu đặt ra, do đó chọn cấu trúc mạng nơ ron có số lớp càng ít càng tốt. Qua thực tế thí nghiệm với mạng có cấu trúc hai lớp và ba lớp, bốn lớp,... cho thấy rằng với cấu trúc hai lớp đã đảm bảo được sai lệch yêu cầu, do đó chọn mạng NN1 model có cấu trúc là 2 lớp. Như thế, công việc cuối cùng là ta cần phải chọn số nơ ron của lớp vào và số đường trễ của khâu TDL (Tapped Delay Line) phù hợp.

Từ phương trình vi phân của cánh tay robot ta thấy tính động học của nó thể hiện ở các khâu vi phân cấp một và cấp hai, do đó sẽ chọn số đường trễ của mạng NN1 model có số nhịp trễ ít nhất là 2, về phương hướng thì luôn chọn số nhịp trễ nhỏ nhất có thể.

Trên cơ sở phân tích như trên, chọn cấu trúc mạng NN1 model có đặc tính động học và phi tuyến bao gồm hai lớp với các khâu TDL-1, TDL-2 có số đường trễ lần lượt là 0 1 2 và 1 2 3 như Hình 3.

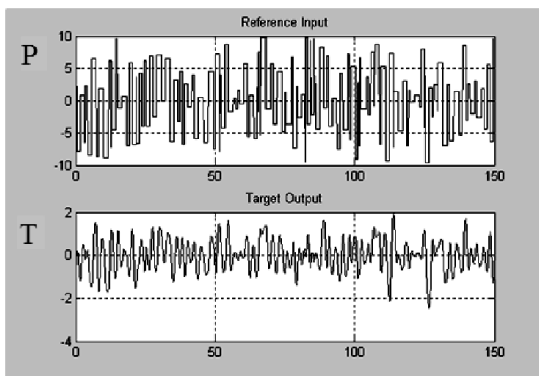


Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của NN model

Lớp 1 có 16 nơ ron và sử dụng hàm tansig, lớp 2 có 1 nơ ron và sử dụng hàm purelin.

Muốn xác định được cấu trúc và tham số của mạng NN1 model thì tập mẫu (P,T) dùng để huấn luyện mạng phải được lựa chọn đặc tính động và phi tuyến của đối tượng.

Trong trường hợp này, tín hiệu vào và ra mẫu dùng để huấn luyện mạng NN1 model được trích mẫu với chu kỳ trích mẫu là $T_{sp} = 0,05$. Để bộc lộ được đặc tính động học và phi tuyến của cánh tay robot, sử dụng các tín hiệu bước nhảy ngẫu nhiên như Hình 4. Số mẫu là 3000.

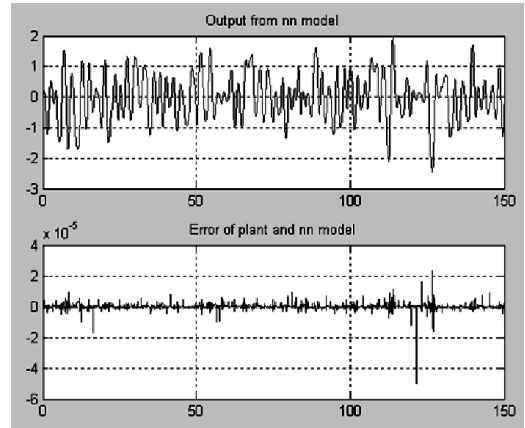


Hình 4. Tín hiệu vào và ra mẫu

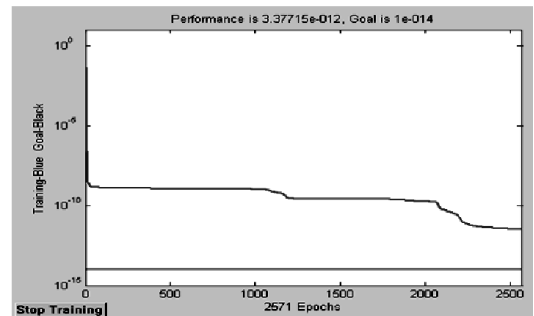
Huấn luyện NN1 model thu được các kết quả sau:

Sai lệch mse giữa đầu ra của NN1 model và đối tượng là $3,4 \times 10^{-12}$ (Hình 6). Sai lệch lớn nhất giữa đầu ra của NN1 model và cánh tay robot là 5×10^{-5} (Hình 5). Số lần huấn

luyện là 2571.



Hình 5. Đầu ra của model, sai lệch giữa đầu ra của model và đối tượng



Hình 6. Sai lệch mse giữa đầu ra của model và đối tượng

Các tham số của NN1 model được thể hiện trong các bảng sau:

Bảng 1. Các tham số lớp 2 của NN model

LW{2,1} từ cột 1 đến cột thứ 8							
-0,1092	-1,1063	-1,0118	-3,9376	-2,2161	3,6836	-0,7778	-1,3184
LW{2,1} từ cột 9 đến cột thứ 16							
4,2602	4,4758	-1,4680	2,0288	0,1092	2,5464	1,3274	-0,8577
$b\{2\} = 0.8241$							

Bảng 2. Các tham số lớp 1 của NN1 model

IW{1,1}		$b\{1\}$		LW{1,2}		
-0,5718	5,2080	9,6639	4,9078	-0,8434	-0,8733	-1,656
-0,0001	0,0080	-0,0082	1,5760	0,2127	-0,6785	0,1454
-0,0003	-0,0166	0,0179	-1,5634	-0,3183	0,3545	-0,4213
-0,0002	-0,0171	0,0130	-0,7233	1,8061	-3,4210	1,5874
-0,0001	-0,0070	0,0073	0,3810	-0,1051	-0,1357	-0,0747
0,0000	-0,0060	0,0059	-0,7212	0,5350	-0,6087	0,1624
-0,0002	0,0141	-0,0135	-0,5049	-0,1094	-0,0558	-0,1724
0,0000	0,0028	-0,0026	0,1227	0,2343	0,0866	-0,0340
0,0000	-0,0069	0,0075	0,6381	0,2510	-0,1047	-0,0747
-0,0002	0,0171	-0,0209	-0,7522	1,6192	-3,0934	1,4412
-0,0001	0,0138	-0,0138	-0,1844	-0,0578	0,1000	-0,0288
-0,0000	-0,0008	0,0008	0,1710	0,2446	-0,0689	0,0202
-0,5756	5,2117	9,6645	4,9080	-0,8664	-0,8303	-1,6766
-0,0003	-0,0173	0,0191	-0,8816	-0,6028	1,2092	-0,6932
0,0004	-0,0248	0,0230	0,9665	0,7289	-1,4098	0,7433
0,0001	-0,0048	0,0044	-0,4363	0,2743	-0,0503	0,1469

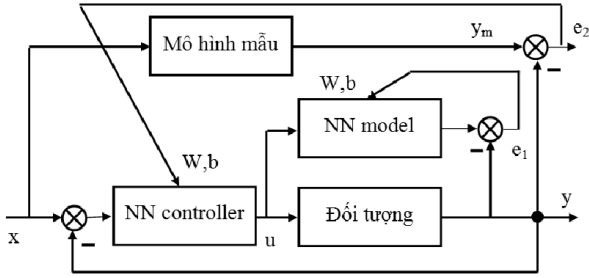
Nhận xét: Kết quả mô phỏng cho thấy, sai lệch giữa đầu ra của NN model và đối tượng bé (5×10^{-5}). Số lần huấn

luyện NN model lớn (2571). Số lượng tham số của NN nhiều (129) tham số, có một số tham số bằng không và xấp xỉ bằng không.

3. Thiết kế hệ thống điều khiển theo mô hình mẫu trên cơ sở mạng nơ ron

3.1. Ý tưởng thiết kế

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển theo mô hình mẫu sử dụng mạng nơ ron có dạng như Hình 7



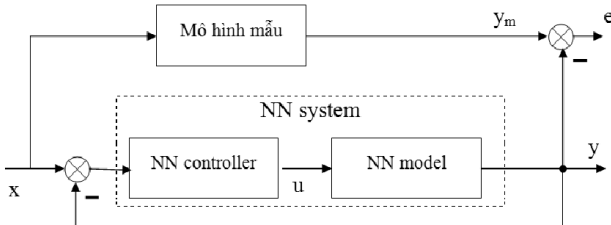
Hình 7. Hệ thống điều khiển theo mô hình mẫu dùng mạng nơ ron

Trong đó:

- e_1 là sai lệch giữa đầu ra của NN model và đầu ra của đối tượng, được dùng để huấn luyện mạng NN model.
- e_2 là sai lệch giữa đầu ra của đối tượng và mô hình mẫu hay còn gọi là sai lệch điều khiển.

Trước tiên phải nhận dạng được đối tượng, tức là tìm được một mạng nơ ron NN model với cấu trúc phù hợp, sao cho sai lệch mse giữa đầu ra của nó so với đầu ra của đối tượng là nhỏ nhất.

Khi có được mô hình thay thế đối tượng là NN model, ta sẽ kết hợp nó với mạng NN controller thành một mạng duy nhất gọi tên là NN system, sau đó huấn luyện mạng nơ ron NN system này với tập tín hiệu vào và ra mẫu. Tập mẫu này được lấy từ đầu vào và đầu ra của mô hình mẫu. Trong quá trình huấn luyện, các tham số của NN model được giữ cố định, chỉ có các tham số của NN controller là được chỉnh định sao cho sai lệch mse giữa đầu ra của NN system và mô hình mẫu là nhỏ nhất. Sơ đồ hệ thống dùng để huấn luyện bộ điều khiển NN controller như Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống huấn luyện NN controller

Như vậy, việc thiết kế bộ điều khiển nơ ron về bản chất là một bài toán nhận dạng và đối tượng cần nhận dạng ở đây là mô hình mẫu.

Ở phần (2) ta đã sử dụng mạng nơ ron NN1 model để nhận dạng hệ thống này. Mạng nơ ron NN1 model đã có đầy đủ cấu trúc và tham số.

3.2. Mô hình mẫu của cánh tay robot

Đối tượng điều khiển là cánh tay robot. Mô hình mẫu được chọn là tuyến tính có mô hình toán học biểu diễn dưới

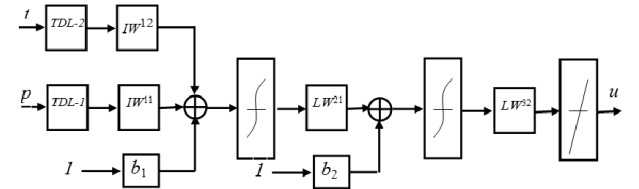
dạng phương trình vi phân [3] là:

$$\frac{d^2 y_m}{dt^2} = -9y_m - 6\frac{dy_m}{dt} + 9x \quad (2)$$

Với x là đầu vào của mô hình mẫu, y_m là đầu ra của mô hình mẫu. Mô hình mẫu được chọn là một hệ thống động học và tuyến tính.

3.3. Thiết kế bộ điều khiển nơ ron

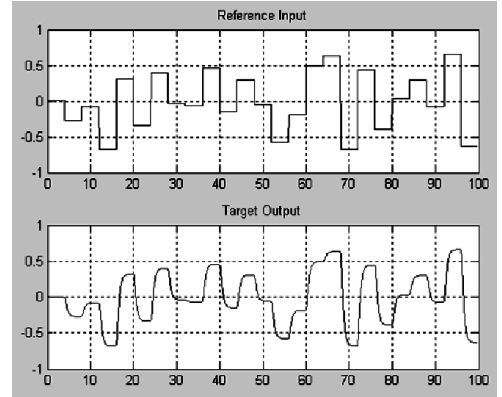
Bộ điều khiển NN controller được chọn là mạng nơ ron có cấu trúc động học và phi tuyến: lớp 1 có 14 nơ ron và dùng hàm truyền tansig, lớp 2 có 12 nơ ron, dùng hàm truyền tangig, lớp 3 có 1 nơ ron và dùng hàm pureline. Khâu TDL-1 có ba đường dây trễ 0, 1, và 2 nhíp, khâu TDL-2 có ba đường dây trễ 1, 2 và 3 nhíp. Sơ đồ cấu trúc như Hình 9.



Hình 9. Sơ đồ cấu trúc mạng NN controller

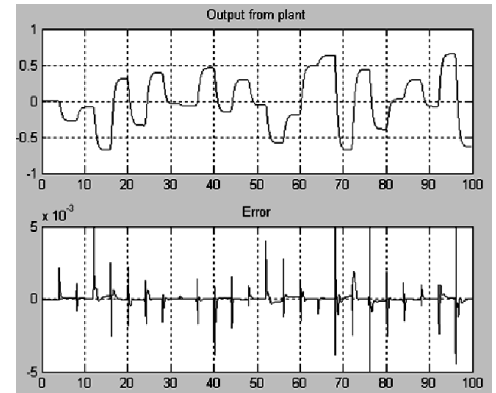
3.4. Kết quả huấn luyện bộ điều khiển và mô phỏng hệ thống

Các tham số của bộ điều khiển NN controller được xác định thông qua việc huấn luyện mạng NN system. Sau khi huấn luyện mạng NN system thu được các kết quả tín hiệu vào mẫu P và tín hiệu ra mẫu T như Hình 10:

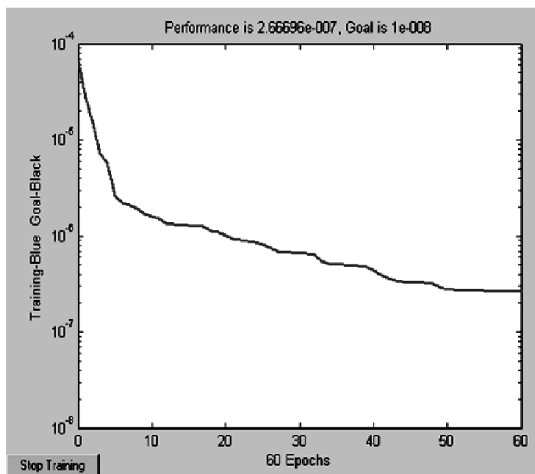


Hình 10. Tín hiệu vào và ra mẫu

Sai lệch giữa đầu ra của đối tượng và mô hình mẫu được biểu diễn như Hình 11.



Hình 11. Đầu ra đối tượng, sai lệch giữa đối tượng và mô hình mẫu



Hình 12. Sai lệch giữa đầu ra của NN system và mô hình mẫu

Sai lệch mse giữa đầu ra của mạng nơ ron NN system và mô hình mẫu như Hình 12. Sai lệch mse là $(2,6 \cdot 10^{-7})$.

Tham số của bộ điều khiển NN controller biểu diễn trong các Bảng 3, 4, 5.

Bảng 3. Các tham số lớp 1 của NN controller

IW{1,1}			b{1}	IW{1,2}		
2,2336	2,3568	1,0611	-3,3901	-1,1226	-2,5071	0,5775
-0,9300	-1,7607	2,0224	1,1218	2,1511	1,7142	-1,7657
-1,3680	-2,5922	0,4894	3,0475	2,7028	-0,9480	-1,2080
0,2003	-2,1987	2,3265	-0,262	-1,5198	1,3789	-2,1071
-1,5941	-1,5831	1,2616	0,3985	2,2791	2,3302	-1,3027
-1,9239	2,7252	-0,826	1,3638	1,1906	-2,2854	-0,6829
-1,4779	-1,8939	1,1501	4,1812	-2,3139	-1,7561	-1,8998
1,2213	0,9438	-2,897	1,8868	0,8275	-1,6044	-2,2195
-2,2281	-1,2104	2,0171	0,1988	-0,2586	-1,9428	2,2226
-1,9973	-2,0583	-2,235	4,1557	-2,1225	-1,0909	-0,8516
1,0890	1,3278	1,6784	1,6323	-1,9834	-2,9551	0,1092
-1,265	0,2543	0,7235	0,2479	-2,5687	1,9152	-2,4795
-0,9857	1,7077	-1,509	-1,228	-1,9868	2,1849	-1,9365
1,1969	-0,9188	-2,533	4,4874	1,5561	-2,1058	-1,8398

Bảng 4. Các tham số lớp 2 của NN controller

Các trọng số LW{2,1} từ cột 1 đến cột 7						
0,4612	-0,164	0,5176	0,6398	-0,9510	0,1738	0,1219
0,6269	0,1366	0,2075	-0,7575	0,5857	-0,1594	0,4868
0,1748	0,4067	0,7026	0,4580	-0,5632	-0,1232	0,0778
0,2609	-0,798	0,0812	0,3711	0,3284	-0,2306	-0,1145
0,5650	0,5911	-0,0767	0,6148	-0,4856	-0,3789	-0,0058
0,1657	0,3535	0,6337	-0,6535	-0,1437	0,5960	0,2159
-0,4526	0,1614	-0,4983	-0,3039	0,0132	-0,9010	-0,5523
0,1817	0,7092	0,1772	0,4146	0,2196	0,6793	0,0794
-0,0706	-0,087	-0,3597	0,5983	-0,0111	0,1654	-0,4934
-0,2593	-0,204	-0,1640	-0,6845	-0,5728	-0,7952	-0,4938
0,4108	-0,678	-0,2944	0,2070	0,2414	0,1990	-0,3795
0,5503	0,7263	0,2178	-0,3372	-0,4214	0,4286	0,5424
Các trọng số LW{2,1} từ cột 8 đến cột 14						
-0,2267	-0,661	0,6421	0,1769	-0,7447	0,6558	0,5701
0,0511	0,2263	-0,1890	0,4815	0,6264	-0,1397	-0,6616
0,5944	-0,575	-0,0626	-0,4499	-0,3737	0,4806	0,4563
-0,2283	0,8132	0,8633	-0,2780	-0,2962	0,6135	-0,1844
0,3003	-0,248	0,3295	-0,3335	0,7209	-0,6221	-0,4159

-0,5671	-0,539	-0,2504	-0,4949	-0,6377	0,3275	0,1503
0,4817	0,1381	0,4788	-0,0385	-0,7519	-0,5113	0,5027
-0,2510	-0,602	-0,5494	0,2399	-0,6955	-0,4773	-0,1001
0,4506	-0,819	-0,0108	0,5385	-0,5371	0,7618	0,1645
-0,5481	-0,195	0,1213	-0,8718	-0,9224	-0,6023	0,3346
0,3136	0,6082	0,0233	-0,0949	-0,7400	-0,4447	-0,7732
-0,5790	0,333	-0,200	-0,0546	0,0697	0,5766	0,5535

Các tham số của b{2} từ hàng 1 đến hàng 6

-1,4471	-1,380	-1,0583	-0,6735	-0,4527	0,2393
---------	--------	---------	---------	---------	--------

Các tham số của b{2} từ hàng 7 đến hàng 12

-0,1699	0,4662	0,8631	-1,0574	1,3893	1,6666
---------	--------	--------	---------	--------	--------

Bảng 5. Tham số lớp 3 của NN controller

Các trọng số lớp LW{3,2} từ cột 1 đến cột 6					
-0,8083	-0,2361	-0,0081	-0,7743	-0,2558	-0,2558
Các trọng số lớp LW{3,2} từ cột 7 đến cột 12					
-1,7741	-0,0635	-0,4578	-1,6802	-0,8033	0,2804

3.5. Nhận xét

Thiết kế bộ điều khiển nơ ron theo mô hình mẫu cho cánh tay robot thực chất là một bài toán nhận dạng. Đối tượng cần nhận dạng là mô hình mẫu, việc nhận dạng được thực hiện bằng phương pháp huấn luyện mạng nơ ron. Mạng nơ ron này bao gồm mạng nơ ron của bộ điều khiển và mạng nơ ron của mô hình đối tượng, trong đó chỉ có các tham số mạng nơ ron của bộ điều khiển được huấn luyện, còn tham số mạng nơ ron của mô hình đối tượng được huấn luyện từ trước và được giữ cố định.

Bộ điều khiển nơ ron cho chất lượng của hệ thống tốt, đảm bảo tín hiệu đầu ra của đối tượng bám theo đầu ra của mô hình mẫu với sai lệch nhỏ ($5 \cdot 10^{-3}$).

4. Kết luận

Ứng dụng mạng nơ ron để nhận dạng mô hình đối tượng phi tuyến, kết quả nhận được là một mô hình đối tượng dưới dạng mạng nơ ron, trong đó sai lệch giữa mô hình nơ ron với đối tượng nằm trong sai số cho phép. Từ đó có thể ứng dụng mạng nơ ron để nhận dạng cho một đối tượng phi tuyến bất kỳ. Trên cơ sở mô hình đối tượng là một mạng nơ ron, bộ điều khiển nơ ron sẽ được thiết kế.

Ứng dụng mạng nơ ron để thiết kế bộ điều khiển theo mô hình mẫu cho đối tượng phi tuyến, thu được kết quả khá tốt. Sai lệch giữa đầu ra của đối tượng thực với đầu ra của mô hình mẫu rất nhỏ, không đáng kể. Như vậy, có thể ứng dụng mạng nơ ron để thiết kế bộ điều khiển theo mô hình mẫu cho đối tượng động học phi tuyến khác.

Với cánh tay robot có nhiều khớp, ta cũng có thể thiết kế bộ điều khiển nơ ron cho nó, bằng cách tách thành nhiều bộ điều khiển độc lập cho từng khớp, mỗi khớp sẽ có một bộ điều khiển nơ ron riêng.

Từ cấu trúc mạng nơ ron ta thấy, mạng nơ ron chính là một hệ thống phi tuyến. Vấn đề còn lại là: Chọn cấu trúc mạng, phương pháp huấn luyện mạng như thế nào. Trong quá trình nhận dạng và điều khiển ta nên chọn cấu trúc càng đơn giản càng tốt, nhưng phải đáp ứng được các yêu cầu của công nghệ đặt ra.

Chất lượng của hệ thống điều khiển tốt, vì hệ thống làm việc giống như mô hình mẫu, ở đây mô hình mẫu được

chọn là một hệ thống tuyến tính. Từ đó cho thấy rằng, tính chất động học và phi tuyến của bộ điều khiển nơ ron đã khử được tính phi tuyến của đối tượng để cho hệ thống làm việc như một hệ tuyến tính, đây là một ưu điểm so với một số phương pháp điều khiển khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kumpati S. Narendra and Kannan parthasarathy “*Identification and control of Dynamical Systems Using Neural Networks*”, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol 1, Issue 1, pp. 4-27.
- [2] S. Reynold Chu, Rahmat Shoureshi, and Manoel Tenorio, “Neural Network for System Identification”, American Control Conference 1989, 21-23 June (1989), pp. 916 – 921.
- [3] Nguyễn Hữu Công, *Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron để nhận dạng và điều khiển đối tượng phi tuyến*, Đề tài cấp Bộ, 2006.
- [4] R.K. Al Seyab, Y. Cao, “Nonlinear system identification for predictive control using continuous time recurrent neural networks and automatic differentiation”, Journal of Process Control, Vol 18, Issue 6, (2008), pp. 568–581.

(BBT nhận bài: 12/04/2016, phản biện xong: 19/04/2016)