

NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN GIẢM DAO ĐỘNG CẦU TRỤC SỬ DỤNG MẠNG NƠN NHÂN TẠO

IDENTIFICATION AND CONTROL OF CRANE SWING REDUCTION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Đặng Viết Phương Nam, Ngô Văn Thuỳên
Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày phương pháp điều khiển giảm dao động cầu trục dựa trên khả năng nhận dạng của mạng nơon nhân tạo. Mô hình toán học của cầu trục được xây dựng từ các định luật vật lý sử dụng phương pháp Lagrange. Mô hình này được sử dụng để khảo sát đáp ứng, mô phỏng việc nhận dạng và điều khiển. Mạng nơon nhân tạo hồi quy được sử dụng để nhận dạng và điều khiển giảm dao động cầu trục bằng cách học giám sát theo bộ điều khiển PID. Việc nhận dạng và điều khiển được thực hiện bằng mô phỏng và thực nghiệm trên hệ thống thực. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy mạng nơon nhân tạo đã nhận dạng và điều khiển rất tốt hệ thống cầu trục.

ABSTRACT

This paper presents crane swing reduction control method by identifying the capacity of an artificial neural network. The mathematical model of crane is built from physical laws using Lagrange method. This model is used to find responses of the system, and to simulate identification and control process. A recurrent artificial neural network is used to identify and control the crane to reduce its load swing by supervised learning. Identification and control are done in simulation and implemented in a real system. Results of simulation and application in the real show that an artificial neural network can very well identify and control the crane swing reduction.

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, cầu trục được sử dụng rất nhiều trong các ngành công nghiệp và dịch vụ để vận chuyển các vật nặng có kích thước lớn mà con người khó có thể thực hiện được [1]. Có nhiều loại cầu trục khác nhau tùy theo từng lĩnh vực và nhu cầu sử dụng như công trục, cầu trục một dầm, cầu trục hai dầm, cầu trục tháp, cầu trục quay,...

Mục đích chung của việc sử dụng cầu trục là để vận chuyển vật nặng từ vị trí này tới vị trí khác. Vật nặng trong khi dịch chuyển dao động quá lớn có thể va đập vào các vật dụng xung quanh làm hư hỏng và gây nguy hiểm cho con người [2]. Khi vật nặng được vận chuyển tới vị trí cần hạ

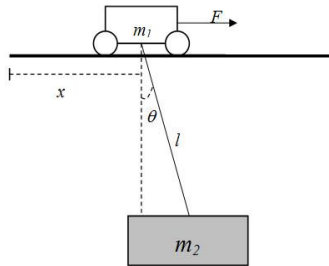
xuống mà nó vẫn còn dao động thì người điều khiển sẽ phải chờ cho vật nặng dừng dao động rồi mới có thể cho vật nặng xuống được. Như vậy quá trình vận chuyển sẽ chậm và không đảm bảo an toàn. Do đó yêu cầu đặt ra của việc điều khiển cầu trục là phải vận chuyển nhanh chóng và giảm dao động trong quá trình vận chuyển.

Một số phương pháp điều khiển đã được nghiên cứu để điều khiển giảm dao động cầu trục như phương pháp điều khiển PID, phương pháp điều khiển tối ưu, phương pháp điều khiển mờ,...[1-5]. Đây là các phương pháp điều khiển thường áp dụng cho các hệ thống tuyến tính. Tuy nhiên cầu trục là một hệ thống động phi tuyến [3] với các thông số chiều dài dây

kéo và khối lượng tải trọng thường xuyên thay đổi trong quá trình hoạt động nên các phương pháp điều khiển này có thể điều khiển không tốt. Trong khi đó mạng nơron nhân tạo có khả năng học và nhận dạng rất tốt các hệ thống động phi tuyến nên có thể được sử dụng để nhận dạng và điều khiển giảm dao động cầu trục trong khi dịch chuyển.

2. MÔ HÌNH TOÁN VÀ ĐÁP ỨNG CỦA CẦU TRỤC

Một cầu trục về cơ bản bao gồm một xe con có khối lượng m_1 chạy trên thanh ray nằm ngang kéo theo tải trọng khối lượng m_2 qua dây kéo có chiều dài l . Xe con được kéo chạy trên thanh ray từ vị trí này tới vị trí khác bởi lực kéo F như trên Hình 1.



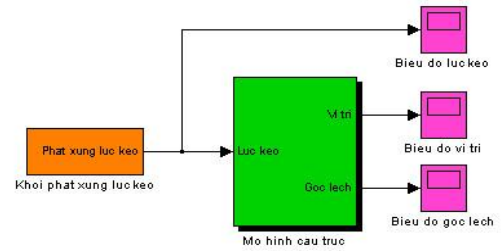
Hình 1. Sơ đồ cầu trục

Các phương trình toán học mô tả trạng thái của cầu trục được xây dựng theo phương pháp Lagrange [3] có kết quả như sau:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F + m_2 \sin\theta(l\dot{\theta}^2 + g \cos\theta)}{m_1 + m_2 \sin^2\theta} \\ \frac{F \cos\theta + m_2 \sin\theta(g + l\dot{\theta}^2 \cos\theta) + m_1 g \sin\theta}{l(m_1 + m_2 \sin^2\theta)} \end{bmatrix}$$

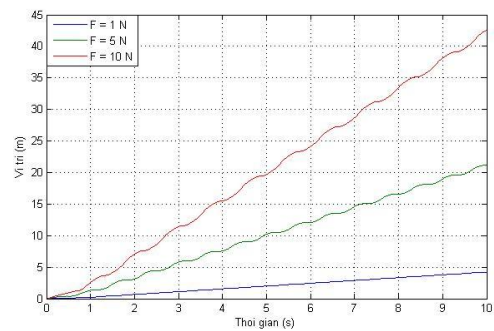
Mô hình cầu trục được xây dựng dựa trên các phương trình toán học trên có các thông số: khối lượng xe con, khối lượng tải trọng, chiều dài dây kéo, gia tốc trọng trường. Trong đó các thông số khối lượng tải trọng và chiều dài dây kéo thường xuyên thay đổi trong quá trình hoạt động.

Sơ đồ khảo sát đáp ứng của cầu trục được xây dựng như trên Hình 2.

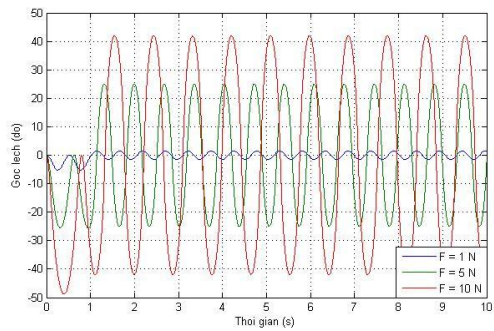


Hình 2. Sơ đồ khảo sát đáp ứng cầu trục

Kết quả mô phỏng đáp ứng của cầu trục có thông số khối lượng xe con $m_1 = 0.25$ kg, khối lượng tải trọng $m_2 = 2$ kg, chiều dài dây kéo $l = 0.6$ m, gia tốc trọng trường $g = 9.81$ m/s² như trên Hình 3 và Hình 4.



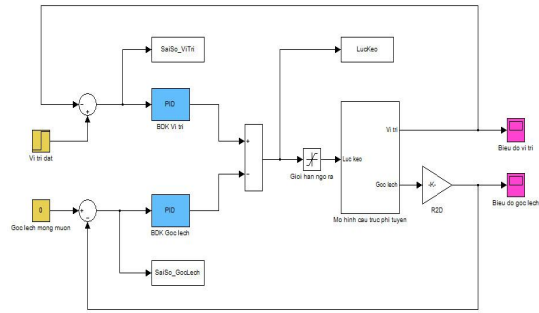
Hình 3. Đáp ứng vị trí của cầu trục



Hình 4. Đáp ứng góc lệch của cầu trục

2. NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN GIẢM DAO ĐỘNG CẦU TRỤC

Kết quả khảo sát đáp ứng của cầu trục cho thấy vị trí và góc lệch của cầu trục tỉ lệ thuận với lực kéo. Phương pháp điều khiển PID có thể được sử dụng để điều khiển vị trí và góc lệch của cầu trục như sơ đồ trong Hình 5. Khi điều khiển cầu trục, có hai tín hiệu đặt mong muốn là vị trí của tải và góc lệch của tải.



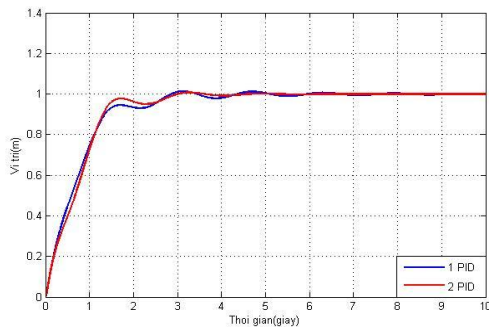
Hình 5. Sơ đồ điều khiển cầu trục bằng PID

Để điều khiển chính xác vị trí và ngừng dao động sau khoảng 5 giây, thông số của các bộ điều khiển PID được chọn như trong Bảng 1.

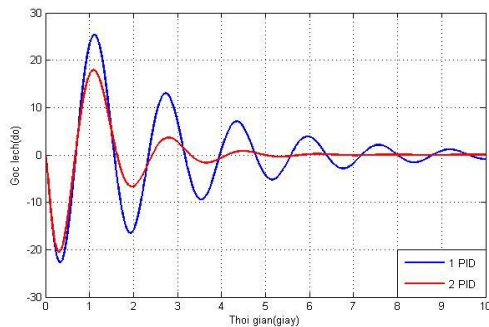
Bảng 1. Thông số các bộ điều khiển PID

Thông số	Kp	Ki	Kd
Bộ điều khiển PID Vị trí	24	-0.00004	22
Bộ điều khiển PID Góc lệch	0.2	0	-0.1

Kết quả điều khiển cầu trục có thông số khối lượng xe con $m_1 = 0.25$ kg, khối lượng tải trọng $m_2 = 1$ kg, chiều dài dây kéo $l = 0.6$ m, gia tốc trọng trường $g = 9.81$ m/s² như trên Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Kết quả điều khiển vị trí sử dụng 1 PID và 2 PID

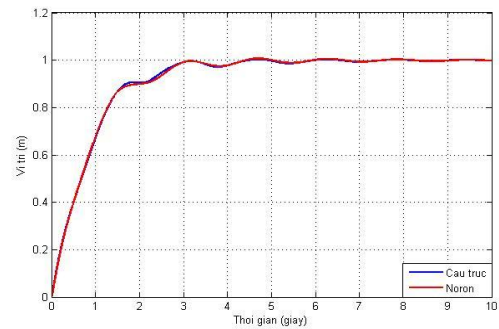


Hình 7. Kết quả điều khiển góc lệch sử dụng 1PID và 2PID

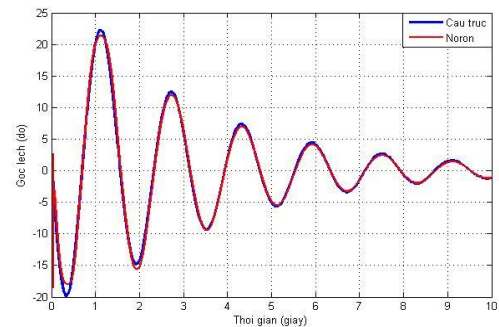
Kết quả điều khiển cho thấy nếu chỉ sử dụng một bộ điều khiển PID để điều khiển chính xác vị trí thì góc lệch dao động khá lớn nhưng khi sử dụng hai bộ điều khiển PID với tín hiệu hồi tiếp là vị trí và góc lệch đã cho kết quả điều khiển khá tốt.

2.1. Nhận dạng cầu trục

Trong khi điều khiển cầu trục sử dụng một bộ điều khiển PID vị trí, thu thập các dữ liệu lực kéo, vị trí và góc lệch dùng để nhận dạng mô hình cầu trục. Mô hình mạng nơron hồi quy 2 khâu trở ngõ vào 2 khâu trở ngõ ra, 20 nơron trong lớp ẩn cho kết quả nhận dạng khá tốt nên được sử dụng để nhận dạng. Kết quả nhận dạng vị trí như trên Hình 8 và góc lệch như trên Hình 9.



Hình 8. Kết quả nhận dạng vị trí cầu trục



Hình 9. Kết quả nhận dạng góc lệch cầu trục.

Kết quả nhận dạng cho thấy mô hình mạng nơron hồi quy đã nhận dạng rất tốt vị trí và góc lệch của cầu trục. Tín hiệu ra của mô hình mạng nơron giống với tín hiệu ra của mô hình cầu trục và có sai số nhỏ.

2.2. Điều khiển giảm dao động cầu trục sử dụng mạng nơron nhân tạo

Mạng nơron nhân tạo có khả năng nhận dạng rất tốt các hệ thống động phi tuyến [3] nên có thể được sử dụng để điều khiển giảm dao động cầu trục bằng cách học giám sát theo bộ điều khiển PID. Trong khi điều khiển sử dụng bộ điều khiển PID, các giá trị sai số vị trí, sai số góc lệch và lực kéo được lưu lại làm dữ liệu để huấn luyện mạng nơron.

Kết quả huấn luyện sử dụng mô hình mạng nơron hồi quy theo số khâu trễ ngõ vào, ngõ ra như trong Bảng 2. Kết quả cho thấy mô hình mạng nơron hồi quy với 3 khâu trễ ngõ vào có khả năng nhận dạng tốt nhất.

Bảng 2. Kết quả nhận dạng mạng nơron hồi quy theo số khâu trễ ngõ vào, ngõ ra

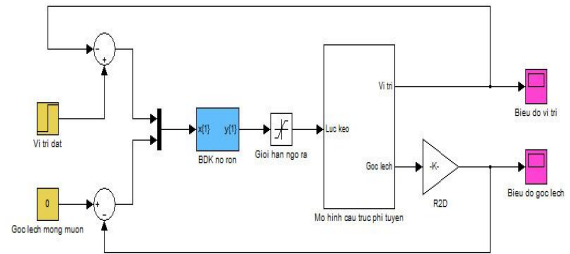
Số khâu trễ ngõ vào	Số khâu trễ ngõ ra	Số nơron lớp ẩn	Sai số mse
0	0	10	9.55e+3
1	0	10	0.000383
2	0	10	0.000318
3	0	10	0.000191
1	1	10	0.000448
2	1	10	0.000375
3	1	10	0.000278
2	2	10	0.000259
3	2	10	0.000224
3	3	10	0.000213

Khi thay đổi số nơron trong lớp ẩn của mô hình mạng nơron hồi quy 3 khâu trễ ngõ vào cho kết quả như trong Bảng 3. Kết quả cho thấy khi tăng số nơron trong lớp ẩn thì khả năng nhận dạng của mạng nơron tốt hơn.

Bảng 3. Kết quả nhận dạng mạng nơron hồi quy theo số nơron trong lớp ẩn.

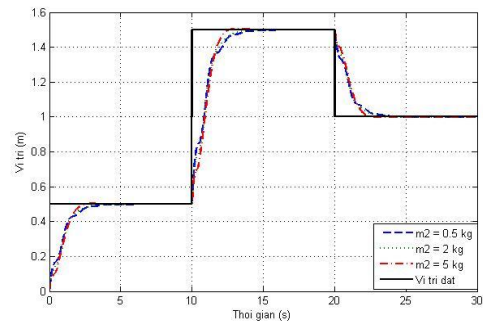
Số khâu trễ ngõ vào	Số khâu trễ ngõ ra	Số nơron lớp ẩn	Sai số mse
3	0	4	0.00174
3	0	10	0.000603
3	0	20	0.000194
3	0	50	0.000184

Mô hình mạng nơron với 3 khâu trễ ngõ vào 50 nơron trong lớp ẩn được sử dụng để nhận dạng. Sau khi nhận dạng thay bộ điều khiển PID vị trí và PID góc lệch bằng bộ điều khiển nơron như trên Hình 10.

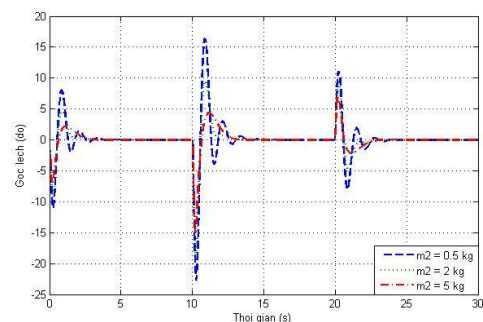


Hình 10. Điều khiển bằng mạng nơron

Kết quả điều khiển sử dụng mạng nơron nhân tạo khi vận chuyển các tải trọng khác nhau như trên Hình 11 và Hình 12.

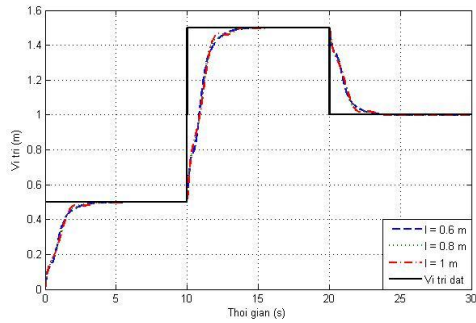


Hình 11. Kết quả điều khiển vị trí khi khối lượng tải trọng thay đổi

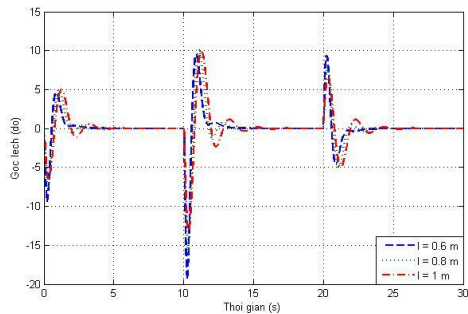


Hình 12. Kết quả điều khiển góc lệch khi khối lượng tải trọng thay đổi

Kết quả điều khiển vận chuyển tải trọng $m_2 = 2$ kg với các chiều dài dây kéo khác nhau như trên Hình 13 và Hình 14.



Hình 13. Kết quả điều khiển vị trí khi chiều dài dây kéo thay đổi

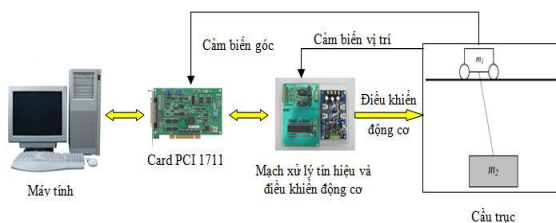


Hình 14. Kết quả điều khiển góc lệch khi chiều dài dây kéo thay đổi

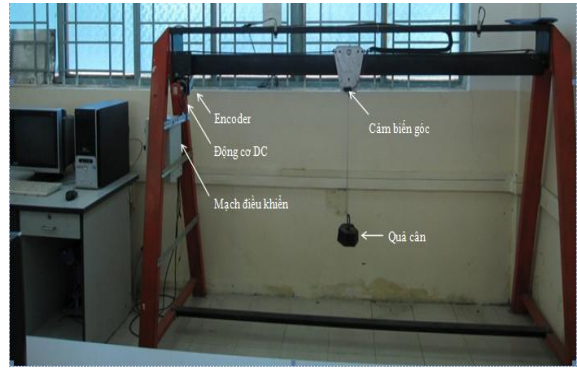
Các kết quả điều khiển cho thấy khi thông số của hệ thống như khối lượng tải trọng và chiều dài dây kéo thay đổi thì bộ điều khiển sử dụng mạng nơron nhân tạo vẫn đảm bảo điều khiển chính xác vị trí và giảm góc lệch dao động sau khoảng 5 giây.

3. NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN CẦU TRỤC HỆ THỐNG THỰC

Mô hình cầu trục thực nghiệm có cấu trúc như trên Hình 15 được dùng để thử nghiệm việc nhận dạng và điều khiển giảm dao động cầu trục sử dụng mạng nơron nhân tạo. Cầu trục hệ thống thực được thiết kế như trên Hình 16.



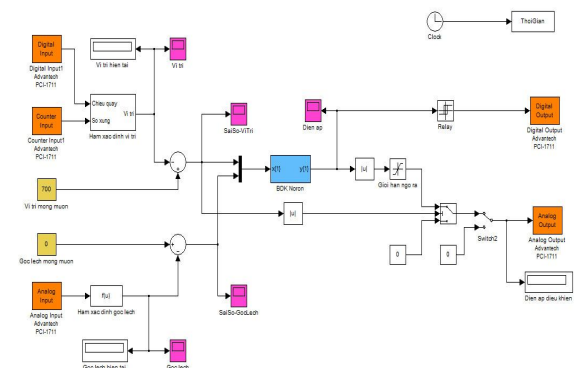
Hình 15. Cấu trúc mô hình thực nghiệm



Hình 16. Cầu trục thực nghiệm

Mô hình cầu trục thực nghiệm sử dụng động cơ DC 24V để điều khiển vận chuyển các quả cân có khối lượng khác nhau, encoder 100 xung/vòng để xác định vị trí và biến trở xoay 5kΩ để xác định góc lệch dao động của cầu trục. Động cơ DC được điều khiển bằng mạch cầu H theo phương pháp PWM.

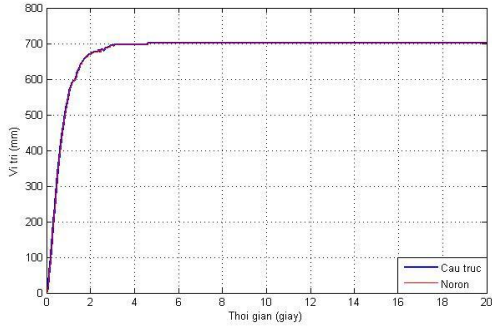
Chương trình điều khiển và thu thập dữ liệu được xây dựng trong môi trường Simulink Matlab giao tiếp với máy tính thông qua card PCI 1711 như trên Hình 17.



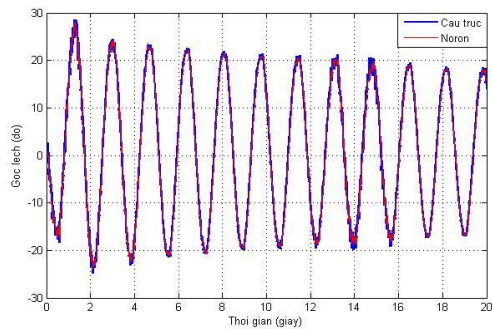
Hình 17. Điều khiển cầu trục hệ thống thực sử dụng mạng nơron

3.1 Kết quả nhận dạng hệ thống thực

Kết quả nhận dạng cầu trục hệ thống thực khi di chuyển quả cân 2 kg tới vị trí 700 mm như trên Hình 18 và Hình 19.



Hình 18. Kết quả nhận dạng vị trí hệ thống thực

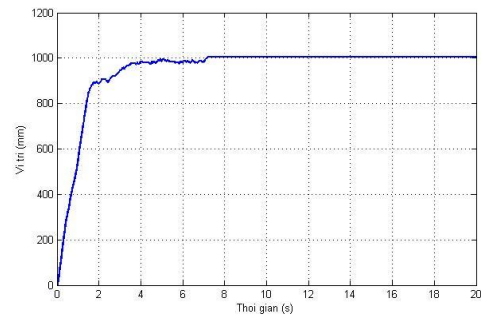


Hình 19. Kết quả nhận dạng góc lệch cầu trục hệ thống thực

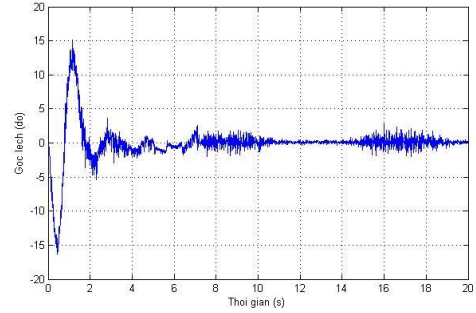
Kết quả cho thấy mạng nơ ron đã nhận dạng rất tốt vị trí và góc lệch của cầu trục hệ thống thực.

3.2. Kết quả điều khiển giảm dao động cầu trục hệ thống thực

Kết quả điều khiển vận chuyển quả cân 2 kg di chuyển 1m sử dụng mạng nơ ron nhân tạo như trên Hình 20 và Hình 21.

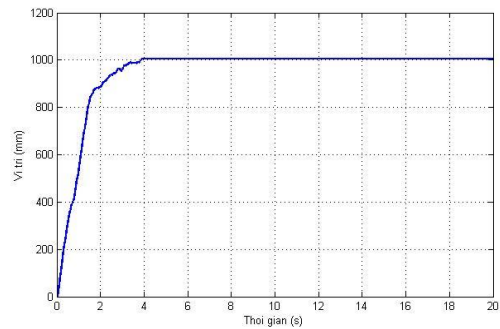


Hình 20. Kết quả điều khiển vị trí hệ thống thực vận chuyển quả cân 2 kg

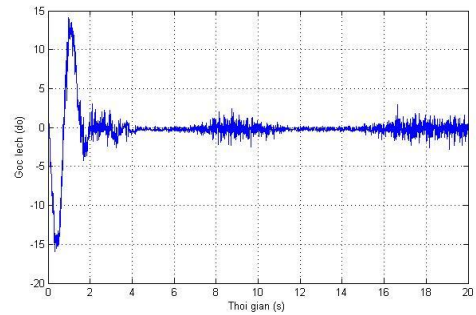


Hình 21. Kết quả điều khiển góc lệch hệ thống thực vận chuyển quả cân 2 kg

Kết quả điều khiển vận chuyển quả cân 5 kg di chuyển 1 m sử dụng mạng nơ ron nhân tạo như trên Hình 22 và Hình 23.



Hình 22. Kết quả điều khiển vị trí hệ thống thực vận chuyển quả cân 0.5 kg



Hình 23. Kết quả điều khiển góc lệch hệ thống thực vận chuyển quả cân 0.5 kg

Khi thay đổi khối lượng hương pháp điều khiển sử dụng mạng nơ ron nhân tạo cũng đã điều khiển chính xác vị trí và giảm góc lệch dao động của cầu trục hệ thống thực

4. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy mạng nơron nhân tạo có khả năng nhận dạng và điều khiển rất tốt các hệ thống động phi tuyến như hệ thống cầu trục. Phương pháp điều khiển này có thể được sử

dụng để học theo phương pháp điều khiển của các chuyên gia, kinh nghiệm của các thợ lành nghề, hoặc bắt chước theo một phương pháp điều khiển có sẵn trên cơ sở đó có thể tự động hóa quá trình điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Solihin M.I., Wahyudi, *Sensorless Anti-swing Control for Automatic Gantry Crane System: Model-based Approach*, International Journal of Applied Engineering Research, 2007.
- [2] Solihin M.I., Wahyudi, *Sensorless anti-swing control of automatic gantry crane using Dynamic Recurrent Neural Network-based soft sensor*, Int. J. Intelligent Systems Technologies and Applications, 2009, pp. 112–127.
- [3] King Shyang Sien, *Command shaping control for a crane system*, University technology Malaysia, 2006.
- [4]. Tim Callinan, *Artificial neural network identification and control of the inverted pendulum*, August 2003.
- [5] Oludele Awodele, Olawale Jegede, *Neural Networks and Its Application in Engineering*, Proceedings of Informing Science & IT Education Conference, 2009.