

Điều khiển cân bằng con nêm ngược dùng phương pháp nơron mờ

Balancing control of inverted wedge system using neuro fuzzy method

Nguyễn Thanh Tàn
Trường Đại học Trà Vinh
e-Mail: thanhtantvu@gmail.com
Nguyễn Minh Tâm
Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM
e-Mail: tamnm@hcmute.edu.vn
Nguyễn Văn Đông Hải
Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM
e-Mail: hainvd@hcmute.edu.vn

Tóm tắt

Trong bài viết này, tác giả đã sử dụng ba phương pháp điều khiển trên hệ con nêm ngược là: phương pháp điều khiển trên hệ con nêm ngược là: phương pháp LQR (Linear Quadratic Regulator), phương pháp điều khiển mờ và phương pháp nơron-mờ (ANFIS). Kết quả mô phỏng cho thấy cả ba phương pháp điều khiển trên đều có khả năng cân bằng ổn định hệ con nêm ngược. Bên cạnh đó, tác giả đã xây dựng thành công mô hình thực nghiệm hệ con nêm ngược thông qua giao tiếp máy tính giữa phần mềm Matlab với card DSP TMS320F28335. Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp điều khiển nơron mờ hoàn toàn có thể điều khiển cân bằng hệ con nêm ngược theo phương thẳng đứng. Giá trị góc nghiêng và vị trí vật nặng thu được luôn dao động xung quanh vị trí cân bằng mong muốn.

Từ khóa: Cân bằng, con nêm ngược, điều khiển mờ, nơron mờ.

Abstract:

In this project, the authors have used three control algorithms on the inverted wedge, including: LQR control method, Fuzzy Control method and neuro-fuzzy control method. Simulation results show that: all methods are likely on balance stabilizing the inverted wedge. Besides that, the authors have built successfully the experimental inverted wedge model associated with computer communication between Matlab software with DSP TMS320F28335 card. Experimental results show that neuro-fuzzy control method can completely control the balance of inverted wedge vertical. The values of angle and position loads obtained fluctuated around the desired equilibrium position.

Keywords: Balance, inverted wedge, fuzzy control, neuro fuzzy.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
θ	Rad	Vị trí góc lệch
$\dot{\theta}$	rad/s	Vận tốc góc lệch

x	M	Vị trí vật nặng
\dot{x}	m/s	Vận tốc vật nặng
K		Tổng động năng
P		Tổng thế năng
T		Môment
q		Biến trạng thái
A,B,Q,R		Các ma trận trạng thái
K_u		Ma trận tối ưu
α, β		Các hệ số mạng ANFIS
f		Ngõ ra của mạng ANFIS
M	Kg	Khối lượng hệ con nêm
m	Kg	Khối lượng vật nặng
c	M	Khoảng cách giữa trục quay với trọng tâm
d	M	Khoảng cách giữa trục quay với mặt trượt
b_1	N/m/s	Hệ số ma sát ở trục quay
b_2	N/m/s	Hệ số ma sát ở mặt trượt
g	m/s ²	Gia tốc trọng trường
K_m	Nm/A	Hệ số cảm ứng động cơ
U	Volt	Điện áp cấp cho động cơ
F	N	Lực tác động vào vật nặng

Chữ viết tắt

LQR	Linear Quadratic Regulator
DSP	Digital Signal Processor
DC	Direct Current Motors
MISO	Multi Input Single Output
ANFIS	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
PWM	Pulse Width Modulation

1. Phần mở đầu

Ngày nay có rất nhiều phương pháp được sử dụng để điều khiển hệ phi tuyến như: phương pháp tuyến tính hóa, điều khiển trượt, điều khiển dùng mạng thần kinh nhân tạo, điều khiển mờ, điều khiển thích nghi hoặc các thuật toán tối ưu bầy đàn, giải thuật di truyền,... Việc lựa chọn ra một phương pháp điều khiển phù hợp với một đối tượng phi tuyến nhất định nào đó đòi hỏi nhiều thời gian và thực nghiệm lâu dài.

Xuất phát từ ý tưởng áp dụng các phương pháp điều khiển hiện đại vào điều khiển đối tượng thật trong

thực tế và việc tiếp cận được một số tài liệu về hệ con nê m ngược - là một hệ thống phi tuyến, được ứng dụng trong cân bằng mô hình chiếc tàu trong lĩnh vực hàng hải - đã thúc đẩy tác giả thực hiện đề tài này. Hệ thống dùng trọng lực của vật nặng thông qua lực kéo của motor để cân bằng trọng tâm của toàn hệ thống con nê m. Vì hệ con nê m ngược có tính chất phi tuyến rất phức tạp nên rất khó xác định mô hình toán học một cách chính xác, đồng thời các thông số hệ thống phải có độ chính xác tuyệt đối và đáp ứng phải nhanh. Tuy nhiên vấn đề là cần phải thiết kế một bộ điều khiển phù hợp để điều khiển hệ thống cân bằng và đây cũng là mục đích chính của đề tài.

Một số công trình nghiên cứu liên quan đến đề tài điều khiển cân bằng con nê m ngược đã được công bố như sau:

Đề tài “Thiết kế, thi công điều khiển mờ hệ con nê m ngược” (2012) cũng được thực hiện trong luận văn cao học của tác giả Đặng Hữu Phúc, Trường Đại học Giao Thông Vận Tải TP. Hồ Chí Minh [1]. Trong đề tài này đã sử dụng phương pháp điều khiển trượt-mờ-PID để cân bằng hệ con nê m ngược. Mô hình được thực hiện bằng cách cân bằng hệ thống dựa vào sức nặng của con chạy trên mặt phẳng trượt. Kết quả mô phỏng đạt được cân bằng ổn định với góc nghiêng lớn đến $\pm\pi/2$, thời gian đáp ứng khoảng 2.5s.

Đề tài “Neuro-Sliding Mode Control With Its Applications to Seesaw Systems” [3] của nhóm tác giả Chun-Hsien Tsai, Hung-Yuan Chung, Fang-Ming Yu, Jan (2004), đề tài sử dụng phương pháp neuron – trượt mô phỏng hệ thống cân bằng ổn định ở thời gian 0,53s và góc nghiêng dao động trong khoảng 5^0 .

Nhóm tác giả Jeng-Hann Li, Tzue-Hseng S. Li, Ting-Han Ou, July đã nghiên cứu đề tài “Design and Implementation of Fuzzy Sliding-Mode Controller for a Wedge Balancing System” [4] năm 2003, đề tài sử dụng phương pháp điều khiển mờ - trượt để cân bằng hệ con nê m ngược. Mô hình sử dụng vật nặng di chuyển trên mặt phẳng ngang và dùng dây đai kéo vật nặng. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống cân bằng ổn định với thời gian xác lập khoảng 7s.

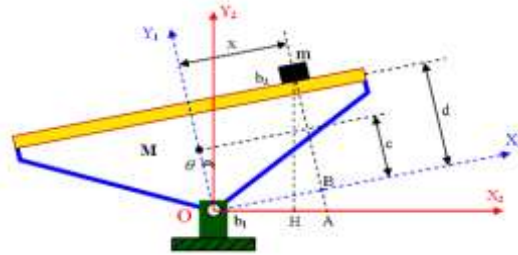
Năm 2002, đề tài “Genetic Adaptive Control for an Inverted Wedge: Experiments and Comparative Analyses” [5] do các tác giả Moore M.L, Musacchio J.T, Passino K.M nghiên cứu. Hệ thống sử dụng dây xích nằm ở trung tâm để kéo vật nặng di chuyển trên mặt phẳng ngang. Giải thuật điều khiển đã nghiên cứu trong đề tài là giải thuật di truyền. Kết quả cho thấy hệ thống cân bằng ổn định trong khoảng thời gian 3s và độ dao động góc nghiêng lớn nhất là 50% so với trạng thái cài đặt ban đầu.

Đề tài “Balancing Control of Sliding Inverted Wedge System: classical-method-based compensation” [6] do các tác giả Shing-Jen Wu, Cheng-Tao Wu, Yung-Yi chiou, Chin-Teng Lin, Yi-Nung Chung nghiên cứu vào năm 2006 sử dụng hệ thống dây đai kéo hai vật nặng ở hai cạnh của hệ con nê m ngược giúp hệ thống cân bằng. Phương pháp điều khiển chính của đề tài là thiết kế bộ điều khiển tối ưu tuyến tính dạng toàn phương LQR ho kết quả hệ thống cân bằng ổn định trong 2,5s với góc nghiêng nhỏ.

2. Nội dung chính

2.1 Khảo sát mô hình hóa con nê m ngược

Khảo sát mô hình con nê m ngược như hình (1):



H.1 Mô hình con nê m ngược [1]

Trong đó, các ký hiệu và thông số mô phỏng hệ thống được cho trong bảng (1).

Bảng 1. Thông số mô phỏng hệ con nê m ngược [1]

Ký hiệu	Ý nghĩa	Giá trị
M	Khối lượng hệ con nê m	3,0 kg
m	Khối lượng vật nặng	0,65 kg
c	Khoảng cách giữa trục quay với trọng tâm	0,06 m
d	Khoảng cách giữa trục quay với mặt trượt	0,12 m
b ₁	Hệ số ma sát ở trục quay	0,4 N/m/s
b ₂	Hệ số ma sát ở mặt trượt	10 N/m/s
g	Gia tốc trọng trường	9,81 m/s ²
K _m	Hệ số cảm ứng động cơ	5 Nm/A

Áp dụng phương pháp Euler – Lagrange ta có:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_i} + \frac{\partial P}{\partial q_i} = T_i \quad (1)$$

Trong đó: K là tổng động năng; P là tổng thế năng; T là môment; q là biến trạng thái.

Đối với hệ thống con nê m ngược ta có $q_1 = \theta$; $q_2 = x$ Từ phương trình (1) và tuyến tính hóa tại điểm cân bằng ($q_0 \gg 0$; $\dot{q}_0 \gg 0$; $x_0 \gg 0$; $\dot{x}_0 \gg 0$) ta được:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} &= \frac{g}{c} \ddot{q} + \frac{b_1}{Mc^2} \dot{\theta} + \frac{mg}{Mc^2} \theta + \frac{b_2 d}{Mc^2} \dot{x} + \frac{2d}{Mc^2} \ddot{x} \\ \ddot{x} &= \frac{gd}{c} - g \ddot{q} + \frac{b_1 d}{Mc^2} \dot{\theta} + \frac{mgd}{Mc^2} \theta + \frac{b_2 d^2}{Mc^2} - \frac{b_2}{m} \dot{\theta} + \frac{2d^2}{Mc^2} + \frac{1}{m} \ddot{F} \end{aligned} \quad (2)$$

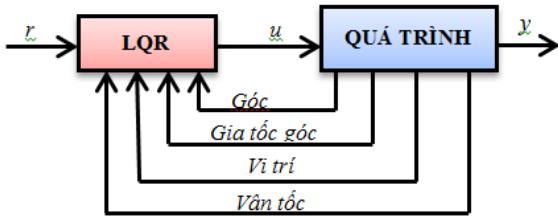
Đặt biến trạng thái: $X = [\theta \ \dot{\theta} \ x \ \dot{x}]^T = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$ và lực điều khiển động cơ $F = K_m U$

Suy ra phương trình tuyến tính hoá hệ thống:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \left(\frac{g}{c}\right) & \left(\frac{-b_1}{Mc^2}\right) & \left(\frac{-mg}{Mc^2}\right) \\ 0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{gd}{c} - g\right) & \left(\frac{-b_1 d}{Mc^2}\right) & \left(\frac{-mgd}{Mc^2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ x \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_m \left(\frac{2d}{Mc^2}\right) \\ 0 \\ K_m \left(\frac{2d^2}{Mc^2} + \frac{1}{m}\right) \end{bmatrix} U \quad (3)$$

2.2 Phương pháp LQR

LQR (Linear Quadratic Regulator) là thuật toán điều khiển được xây dựng dựa trên cơ sở nguyên lý phản hồi trạng thái. Bộ điều khiển nhận tín hiệu vào là trạng thái của hệ thống và được tính toán và chuyển thành tín hiệu điều khiển cho quá trình.



H. 2 Cấu trúc bộ điều khiển LQR

Xét hệ thống có tác động ngoài như sau:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4)$$

Ta cần tìm ma trận K_u của vector điều khiển tối ưu:

$$u(t) = -K_u x(t) \quad (5)$$

Sao cho chỉ tiêu chất lượng J đạt cực tiểu:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (6)$$

Trong đó, Q là ma trận xác định dương (hoặc bán xác định dương), R là ma trận xác định dương.

Ma trận tối ưu K_u được xác định từ phương trình Riccati có dạng như phương trình (7):

$$K_u = R^{-1} B^T P \quad (7)$$

Thế (7) vào (5) ta được luật điều khiển như sau:

$$u(t) = -K_u x(t) = R^{-1} B^T P x(t) \quad (8)$$

Khi đó, ma trận P phải thỏa mãn phương trình Riccati:

$$PA + A^T P + Q - PBR^{-1} B^T P = \dot{P} \quad (9)$$

Khi S không thay đổi theo thời gian, tức $\dot{P} = 0$ ta được phương trình đại số Riccati như sau:

$$PA + A^T P + Q - PBR^{-1} B^T P = 0 \quad (10)$$

Xét tại điểm làm việc xác lập của hệ con nê m ngược đã được tuyến tính hóa ($\theta = 0, \dot{\theta} = 0, x = 0, \dot{x} = 0$ và $u=0$), dựa vào phần mềm Matlab ta tìm được các ma trận trạng thái A, B và chọn ma trận Q, R trong hàm mục tiêu J như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 196.2 & -6.67 & -784.8 & -720 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 13.734 & -0.8 & -94.176 & -161.4 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 160 \\ 0 \\ 27.533 \end{bmatrix};$$

$$Q = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; R = 10$$

Khi đó ma trận tối ưu K_u có giá trị là:

$$K_u = [15.797 \quad 1.373 \quad -55.214 \quad -4.295]$$

2.3 Bộ điều khiển mờ trực tiếp

Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển mờ trực tiếp:

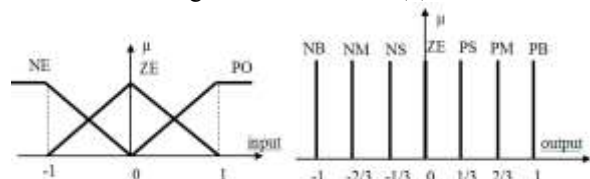


H. 3 Cấu trúc bộ điều khiển mờ trực tiếp

Bộ điều khiển mờ trực tiếp được thiết kế là bộ điều khiển MISO với 4 ngõ vào là: góc nghiêng, gia tốc góc nghiêng, vị trí vật nặng, vận tốc vật nặng và 1 ngõ ra là giá trị điện áp cấp cho động cơ. Trong đó:

- Vị trí góc lệch $\theta(t)$: $[-\pi/2, \pi/2]$ (rad)
- Vận tốc góc $\dot{\theta}(t)$: $[-1, 1]$ (rad/s)
- Vị trí vật nặng $x(t)$: $[-0.3, 0.3]$ (m)
- Vận tốc vật nặng $\dot{x}(t)$: $[-1, 1]$ (m/s)
- Điện áp cấp cho động cơ DC: $[-24, 24]$ (V)

Luật mờ được xây dựng dựa trên kinh nghiệm và hoạt động của hệ con nê m ngược. Ta chọn số tập mờ cho mỗi ngõ vào là 3 để có số luật mờ vừa phải là $3^4=81$ luật và số tập mờ ngõ ra là 7. Các biến ngôn ngữ và hàm liên thuộc vào/ra như hình (4).



H. 4 Biến ngôn ngữ và hàm liên thuộc vào/ra bộ điều khiển mờ trực tiếp

Trong đó, các biến ngôn ngữ hàm liên thuộc ngõ vào/ra được định nghĩa như sau: {NE (âm), ZE(zero) và PO (dương)} và {NB (âm lớn), NM (âm vừa), NS

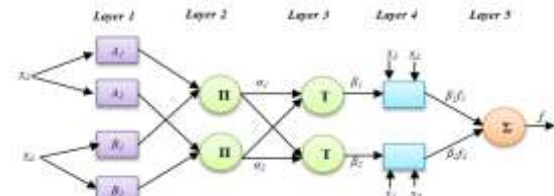
(âm nhỏ), ZE (zero), PS (dương nhỏ), PM (dương vừa), PB (dương lớn)}

Ta xây dựng các luật điều khiển mờ theo:

- Phương pháp suy diễn mờ MAX – MIN.
- Phương pháp giải mờ tổng có trọng số.

2.4 Bộ điều khiển nơron-mờ [2]

ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) là mạng nơron thích nghi dựa trên cơ sở hệ suy luận mờ. Mạng nơron mờ cơ bản gồm có 5 lớp, 2 ngõ vào và 1 ngõ ra như sơ đồ hình (5), tuy nhiên ta vẫn có thể thiết kế thêm nhiều dạng mạng nơron mờ khác.



H. 5 Cấu trúc mạng nơron mờ 2 ngõ vào, 1 ngõ ra

- Lớp 1: Là lớp đầu vào, mỗi nơron thứ i có tín hiệu đầu vào tương ứng. Đầu ra của các nút là các hàm liên thuộc biến đổi cùng với tập mờ.
- Lớp 2: Mỗi nút là giá trị đầu ra của luật mờ. Chúng được gán nhãn là Π vì tại mỗi nút ta có thể nhiều phép toán t-norm khác nhau. Giá trị các hệ số ra của luật được tính như sau:

$$a_1 = \min \{A_1, B_1\}; a_2 = \min \{A_2, B_2\} \quad (11)$$

- Lớp 3: Các nút thứ i được tính là tỉ lệ giá trị hệ số ra của luật tại nút đó trong tổng giá trị các hệ số trước đó.

$$b_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} \text{ và } b_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2} \quad (12)$$

- Lớp 4: Giá trị của mỗi nơron được tính như sau:

$$f_i = b_i \left(P_0 + \sum_{i=1}^2 P_i x_i \right); i = 1..2 \quad (13)$$

Trong đó, P_i là các thông số điều chỉnh.

- Lớp 5: Ngõ ra của mạng là tổng các giá trị đầu ra nơron trước đó.

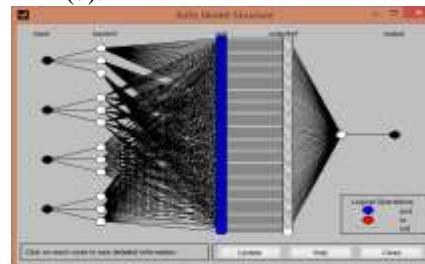
$$f = \frac{\sum_{i=1}^2 a_i f_i}{\sum_{i=1}^2 a_i} = \sum_{i=1}^2 b_i f_i; i = 1..2 \quad (14)$$

Các bước thiết kế bộ điều khiển nơron mờ dựa trên hỗ trợ của ANFIS trong Toolbox Matlab cho hệ con nênm ngược.

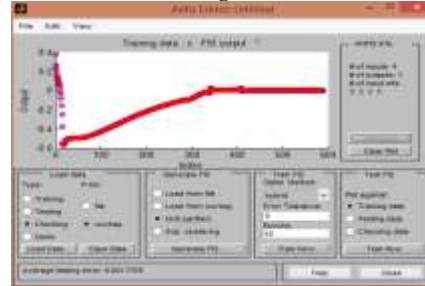
- Bước 1: Xây dựng tập dữ liệu huấn luyện của mạng dựa trên cơ sở bộ điều khiển mờ và thực hiện một số thao tác gia công dữ liệu khác.
- Bước 2: Load tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra vào giao diện ANFIS Editor.

- Bước 3: Lựa chọn hàm liên thuộc ban đầu là hàm Gauss, số lượng biến ngôn ngữ ngõ vào là 4 nên ta chọn số hàm liên thuộc vừa phải cho mỗi biến đầu vào là 3.
- Bước 4: Nhập sai số huấn luyện mong muốn và số lần lặp cho quá trình huấn luyện là 50, thuật toán huấn luyện là lan truyền ngược lại sai số bình phương nhỏ nhất.
- Bước 5: Kiểm tra giá trị huấn luyện sau khi quá trình huấn luyện hoàn tất và lưu lại hệ suy luận mờ vừa huấn luyện được.
- Bước 6: Mô phỏng, kiểm tra kết quả.

Sơ đồ cấu trúc huấn luyện mạng nơron mờ và dữ liệu sau khi huấn luyện được hiển thị trong hình (6) và hình (7).



H. 6 Cấu trúc mạng nơron mờ đã huấn luyện

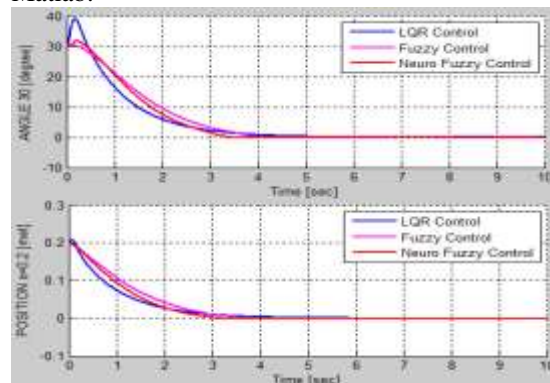


H. 7 Dữ liệu sau quá trình huấn luyện

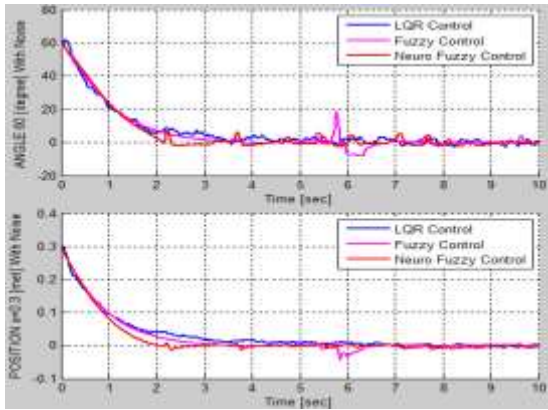
Trong đó, sơ đồ cấu trúc huấn luyện mạng nơron mờ được hiển thị trong hình (6), số lượng hàm liên thuộc ngõ vào là 3. Dữ liệu sau khi huấn luyện trong hình (7), sai số huấn luyện là $1,17.10^{-3}$, giá trị này có thể chấp nhận được.

2.5 Kết quả mô phỏng

Sau đây là kết quả mô phỏng hệ con nênm ngược với các phương pháp điều khiển nêu trên với phần mềm Matlab.



H. 8 Kết quả mô phỏng với góc $\theta=30^\circ$, $x=0,2m$

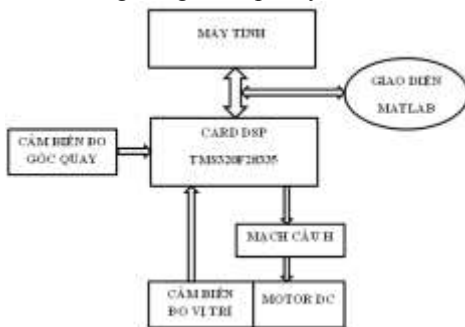


H. 9 Kết quả mô phỏng với góc $\theta=60^\circ$, $x=0,3m$ và có nhiễu tác động

Kết quả so sánh cho thấy cả ba bộ điều khiển đều có khả năng điều khiển cân bằng hệ con nệm ngược. Trong đó, phương pháp điều khiển nơron mờ cho kết quả là tốt nhất, ngõ ra hệ thống cân bằng ổn định, có khả năng điều khiển góc nghiêng ban đầu lớn, thời gian xác lập ngắn.

2.6 Kết quả thực nghiệm

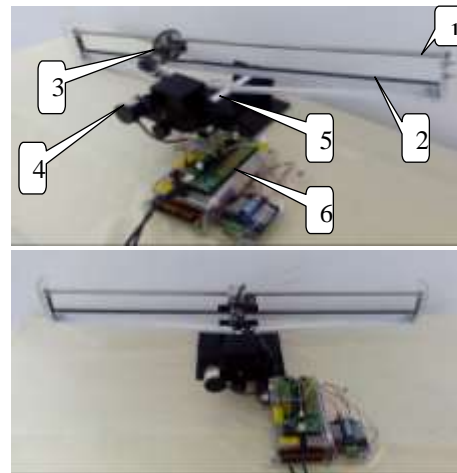
Sơ đồ khối mô hình thực nghiệm điều khiển cân bằng con nệm ngược giao tiếp máy tính:



H. 10 Sơ đồ khối mô hình thực nghiệm cân bằng con nệm ngược

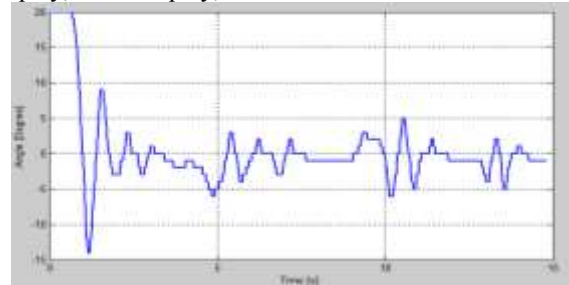
Máy tính có chức năng thu thập, xử lý các thông tin thu thập được từ các cảm biến thông qua bộ điều khiển là card DSP TMS320F28335. Trong đó, thuật toán và chương trình điều khiển được lập trình hoàn toàn trên phần mềm Matlab/Simulink và giao diện Code Composer Studio v3.3. Từ các tín hiệu thu thập được thông qua hệ thống nhúng thời gian thực, máy tính sẽ xử lý và đưa ra tín hiệu điều khiển đến hệ truyền động là một động cơ DC thông qua card DSP để tạo tín hiệu phát xung PWM đến mạch cầu H điều khiển độ rộng xung và chiều quay của động cơ. Trong đó, tín hiệu phản hồi giá trị góc nghiêng và vị trí vật nặng được thu thập bởi 2 Encoder đo vị trí và góc quay. Quá trình cứ diễn ra liên tục với thời gian lấy mẫu là 0,01 giây với mục tiêu chính là giúp hệ con nệm giữ cân bằng theo phương thẳng đứng (tức góc quay con nệm dao động ở vị trí là 0°).

Hình (11) là mô hình con nệm ngược đã thi công và kết quả thực nghiệm thu được bằng phương pháp điều khiển nơron mờ được thể hiện trong hình (12), hình (13) và hình (14).

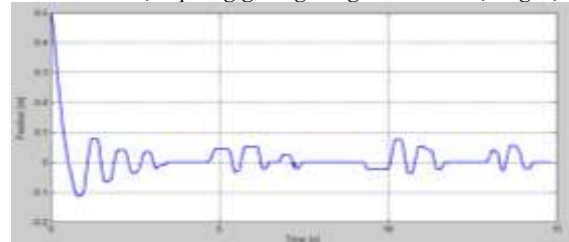


H. 11 Mô hình con nệm ngược đã thi công

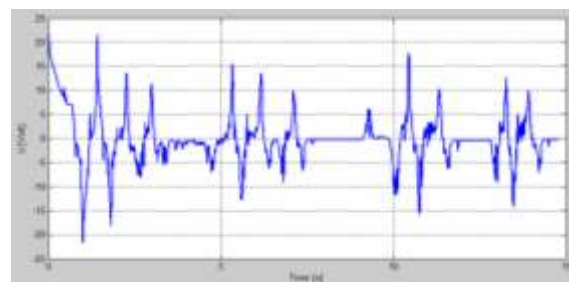
Trong đó, 1: Thanh trượt; 2: Ray trượt; 3: Vật nặng (động cơ và cảm biến đo vị trí); 4: Cảm biến đo góc quay; 5: Trục quay; 6: Card DSP và các mạch điện.



H. 12 Giá trị đáp ứng góc nghiêng con nệm thực nghiệm



H. 13 Giá trị đáp ứng vị trí vật nặng con nệm thực nghiệm



H. 14 Giá trị điện áp cấp cho động cơ DC thực nghiệm

3. Kết luận

Kết quả điều khiển cho thấy sử dụng các bộ điều khiển thông minh hiện đại vào các hệ phi tuyến nói chung và hệ con nệm ngược nói riêng đã mang lại kết quả rất khả quan. Trong đó, hệ nơron mờ (dùng ANFIS) giúp hệ thống cân bằng ổn định theo phương thẳng đứng với những ưu điểm vượt trội. Đó là sự thể hiện trí thức rất tường minh, dễ kiểm tra, dễ sửa chữa và có khả năng học thông qua các tập dữ liệu của hệ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đặng Hữu Phúc, *Thiết kế, thi công và điều khiển mờ hệ con nôm ngược*, Luận văn tốt nghiệp Thạc sĩ, Đại học Giao Thông Vận Tải, TP. Hồ Chí Minh (2012).
- [2] Ts. Nguyễn Như Hiền, Ts. Lại Khắc Lãi, *Hệ mờ và noron trong kỹ thuật điều khiển*, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Hà Nội, 2007.
- [3] Chun-Hsien Tsai, Hung-Yuan Chung, Fang-Ming Yu, Jan (2004), *Neuro-Sliding Mode Control With Its Applications to Seesaw Systems, Neural Networks*, IEEE Transactions on, pp. 124 – 134.
- [4] Jeng-Hann Li, Tzue-Hseng S. Li, Ting-Han Ou, July (2003), *Design and Implementation of Fuzzy Sliding-Mode Controller for a Wedge Balancing System*, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Volume 37 Issue 3, pp. 285-306.
- [5] Moore M.L., Musacchio J.T., Passino K.M. (2002), *Genetic Adaptive Control for an Inverted Wedge: Experiments and Comparative Analyses*, IEEE - American Control Conference, Proceedings of the 1999 (vol 1), pp. 400 – 404.
- [6] Shinq-Jen Wu, Cheng-Tao Wu, Yung-Yi chiou, Chin-Teng Lin, Yi-Nung Chung (2006), *Balancing Control of Sliding Inverted-Wedge System: classical-method-based compensation*, IEEE International Conference on SMC '06, pp. 1349 – 1354.



Nguyễn Thanh Tân tốt nghiệp đại học chuyên ngành Kỹ sư Điện Tử tại Trường Đại học Cần Thơ năm 2008. Kể từ năm 2008 cho đến nay là giảng viên tại Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh và hiện đang học Cao học tại Trường Đại học Sư Phạm Kỹ

Thuật TP. HCM, chuyên ngành Kỹ thuật Điện tử. Hướng nghiên cứu chính là thiết kế và điều khiển hệ thống tự động hóa, lập trình giao tiếp máy tính.



Nguyễn Minh Tâm sinh năm 1971. Anh nhận bằng Kỹ sư Điện Khí Hoá và Cung Cấp Điện tại Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh năm 1995, bằng Thạc sĩ Kỹ thuật Điện tại Trường Đại Học Bách Khoa, Đại Học Quốc

Gia Tp. Hồ Chí Minh năm 2003, và nhận bằng Tiến sĩ Kỹ thuật tại Trường Đại Học Công Nghệ Sydney, Úc năm 2010. Tiến sĩ Nguyễn Minh Tâm tham gia giảng dạy tại Khoa Điện – Điện Tử, Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh từ năm 1995 đến nay. Hướng nghiên cứu chính là áp dụng kỹ thuật tính toán mềm trong xây dựng mô hình và điều khiển.



Nguyễn Văn Đông Hải sinh năm 1986. Anh nhận bằng kỹ sư và Thạc sĩ ngành Điều Khiển Tự Động tại Trường Đại Học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh vào các năm 2009 và 2011, công tác tại Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM từ năm 2010. Hiện anh đang là Nghiên cứu sinh Tiến sĩ tại Trường Đại Học Craiova, Rumani. Hướng nghiên cứu chính: Ứng dụng điều khiển thông minh cho các hệ robot cân bằng.