

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

NGUYỄN ĐỨC MINH

ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI
HỆ THỐNG ĐỘNG PHI TUYẾN

Chuyên ngành: Tự Động Hóa

Mã số: 50006101

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Tp. Hồ Chí Minh - Năm 2012

Công trình được hoàn thành tại: **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: **PGS. TS DƯƠNG HOÀI NGHĨA**

Người hướng dẫn khoa học 2: **TS NGUYỄN ĐỨC THÀNH**

Phản biện độc lập 1: **GS.TSKH NGUYỄN XUÂN QUỲNH**

Phản biện độc lập 2: **PGS.TS NGUYỄN NGỌC PHƯƠNG**

Phản biện 1: **TS. NGUYỄN CHÍ NGÔN**

Phản biện 2: **PGS.TSKH HỒ ĐẮC LỘC**

Phản biện 3: **PGS.TS NGUYỄN TẤN TIẾN**

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Khoa học tổng hợp TP.HCM
- Thư viện trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

TÓM LƯỢC NỘI DUNG LUẬN ÁN

Luận án gồm 5 chương (93 trang). Tài liệu tham khảo 85. Các chương chính của luận án có nội dung tóm lược như sau:

Chương một là chương tổng quan về điều khiển trượt, điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn, lý do, mục đích cũng như phương pháp nghiên cứu của luận án.

Chương hai tổng hợp các kiến thức cơ sở về mạng nơ-rôn và lý thuyết điều khiển trượt, và một số mô hình điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn.

Chương ba bao hàm nội dung chính của luận án. Trong chương này giới thiệu phương pháp điều khiển trượt thích nghi phân ly dùng mạng nơ-rôn DANSMC với đầy đủ mô hình và phương pháp huấn luyện mạng.

Chương bốn mô tả ứng dụng phương pháp điều khiển trượt thích nghi phân ly được giới thiệu trong chương ba vào hai mô hình con lắc ngược hai bậc xoay tự do và con lắc ngược hai chiều là các mô hình phi tuyến cao, bất ổn và không cực tiểu pha cùng với các kết quả mô phỏng và thực nghiệm.

Chương năm tổng kết lại sự khác biệt và các kết quả đạt được của các phương pháp nghiên cứu trong luận án so với các phương pháp nghiên cứu khác và nêu lên một số tồn tại cũng như một số đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

TỔNG QUAN

Điều khiển trượt

Điều khiển trượt là một phương pháp điều khiển phi tuyến đơn giản hiệu quả. Để thiết kế thành phần điều khiển trượt cần phải biết rõ các thông số của mô hình đối tượng cũng như các chặn trên của các thành phần bất định của mô hình. Điều khiển trượt có dạng hàm dấu và có hiện tượng chattering các trạng thái xung quanh mặt trượt.

Điều khiển trượt thích nghi dùng mạng nơ-rôn

Một số các nghiên cứu đã sử dụng mạng nơ-rôn để thay thế thành phần điều khiển tương đương trong điều khiển trượt hoặc để bù cho các thành

phần bất định của hệ thống. Ưu điểm của các phương pháp này là không cần nhận dạng các thông số của mô hình khi thiết kế thành phần điều khiển tương đương. Hàm dấu trong thành phần điều khiển bền vững thường được thay thế bằng hàm bão hòa để hạn chế hiện tượng chattering. Tuy nhiên các chặn trên dùng trong thiết kế thành phần điều khiển bền vững vẫn là các giá trị hằng được chọn trước, vì vậy chất lượng điều khiển vẫn phụ thuộc vào việc lựa chọn các giá trị hằng khi thiết kế thành phần điều khiển bền vững. Nhược điểm của các phương pháp này là phải có sự trả giá giữa chất lượng điều khiển và tính bền vững của hệ thống.

Trong bối cảnh đó luận án tiến sĩ nghiên cứu phương pháp điều khiển trượt thích nghi dùng mạng nơ-rôn áp dụng cho hệ phi tuyến động bất định không rõ thông số mô hình với ba nội dung chính:

- Kết hợp lý thuyết điều khiển trượt và mạng nơ-rôn để thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi dùng mạng nơ-rôn áp dụng cho hệ thống phi tuyến động bất định không rõ thông số mô hình. Bộ điều khiển mới có các đặc điểm: (i) là một mạng nơ-rôn được dùng làm bộ điều khiển trực tiếp; (ii) không cần nhận dạng trước các thông số của mô hình đối tượng, luật điều khiển được suy ra trực tiếp trong quá trình huấn luyện trực tuyến; (iii) có khả năng thích nghi trước sự thay đổi của các chặn trên của các thành phần bất định và có khả năng kháng nhiễu tốt.

- Phát triển bộ điều khiển trượt thích nghi nêu trên thành bộ điều khiển trượt thích nghi phân ly DANSMC cho hệ phi tuyến đa biến.

- Áp dụng các nghiên cứu về điều khiển trượt thích nghi phân ly lên hệ con lắc ngược xoay và con lắc ngược hai chiều thông qua mô phỏng và thực nghiệm.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1 MẠNG NƠ-RÔN

Mạng một lớp ẩn SHL (Single Hidden Layer)

Mạng hai lớp với lớp ngõ ra có hàm tác động là hàm dốc còn được gọi là mạng một lớp ẩn SHL.

Biểu diễn vào ra của mạng SHL

$$u_i = \sum_{k=1}^l w_{ik} \sigma_h \left(\sum_{j=1}^n v_{kj} x_j + v_{k0} \right) + w_{i0} \quad (2.20)$$

2.2 LÝ THUYẾT ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

2.2.1 ĐỐI TƯỢNG ĐIỀU KHIỂN

Xét hệ thống phi tuyến biểu diễn bởi phương trình vi phân

$$y^{(n)} = f(y, \dots, y^{(n-1)}) + g(y, \dots, y^{(n-1)})u + d \quad (2.46)$$

Trong đó d là nhiễu

Đặt

$$x_1 = y, \quad x_2 = \dot{y}, \quad x_3 = \ddot{y}, \quad \dots \quad x_n = y^{(n-1)} \quad (2.47)$$

và

$$x = [x_1, \quad x_2, \quad \dots \quad x_n]^T$$

ta được biểu diễn trạng thái :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \vdots \\ \dot{x}_{n-1} = x_n \\ \dot{x}_n = f(x) + g(x)u + d \end{cases} \quad (2.48)$$

$$y = x_1$$

Bài toán điều khiển được đặt ra là xác định tín hiệu điều khiển u sao cho tín hiệu ra y bám theo tín hiệu đặt r .

2.2.2 MẶT TRƯỢT

Định nghĩa tín hiệu sai lệch

$$e = y - r \quad (2.49)$$

và tín hiệu s

$$s = e^{(n-1)} + c_{n-1}e^{(n-2)} + \dots + c_2\dot{e} + c_1e \quad (2.50)$$

Trong đó c_1, \dots, c_{n-1} , là các hệ số được chọn trước sao cho đa thức đặc trưng của phương trình vi phân sau Hurwitz (có tất cả các nghiệm với phần thực âm)

$$e^{(n-1)} + c_{n-1}e^{(n-2)} + \dots + c_2\dot{e} + c_1e = 0 \quad (2.51)$$

Khi đó các nghiệm của phương trình đặc trưng của (2.2.6) đều nằm bên trái mặt phẳng phức, nên $e(t)$ sẽ tiến tới 0 khi t tiến tới ∞ . Phương trình $s=0$ xác định một mặt cong S trong không gian n chiều gọi là mặt trượt (sliding surface) S .

Vấn đề đặt ra là xác định luật điều khiển u để đưa các quỹ đạo pha của hệ thống về mặt trượt và duy trì trên mặt trượt một cách bền vững đối với các biến động của $f(x)$ và $g(x)$.

2.2.3 LUẬT ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT KINH ĐIỂN

Luật điều khiển trượt cổ điển:

$$u = -\frac{1}{g(x)} \left(f(x) + c_{n-1}e^{(n-1)} + \dots + c_2\ddot{e} + c_1\dot{e} + k.\text{sign}(s) - d + r^{(n)} \right) \quad (2.56)$$

Luật điều khiển trượt có tính đến các thành phần bất định

Trong thực tế luật điều khiển trượt cần tính tới các thành phần bất định như nhiễu hệ thống cũng sự biến thiên theo thời gian của $f(x)$ và $g(x)$. Gọi $\Delta f(x, t)$, $\Delta g(x, t)$ là các thành phần bất định của hệ thống

Luật điều khiển trượt có tính đến các thành phần bất định như sau:

$$u = u_{\text{equivalent}} + u_{\text{corrective}} \quad (2.66)$$

Trong đó:

$u_{\text{equivalent}} = -\delta_0(x).\text{sign}(g(x)).\text{sign}(s)$ là thành phần điều khiển phụ thuộc vào mô hình danh định của hệ thống còn gọi là thành phần điều khiển tương đương.

$u_{\text{corrective}} = -\delta_{\text{max}}.(x, t)\text{sign}(g(x)).\text{sign}(s)$ là thành phần điều khiển bền vững, còn gọi là thành phần điều khiển hiệu chỉnh có tác dụng bù cho các thành phần bất định của hệ thống và có giá trị phụ thuộc vào các chặn trên

của các thành phần bất định của hệ thống. Thường thì δ_{\max} được chọn bằng một hệ số dương k với

$$k = \sup_x \left| \frac{1}{(g_0(x) + \Delta g_{\min})} (\Delta f_{\max} + D) \right| \quad (2.67)$$

2.2.4 ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT CHO HỆ THỐNG MIMO

Xét một hệ thống phi tuyến MIMO

$$\dot{x} = f(x) + g(x).u \quad (2.68)$$

$$y = h(x)$$

Luật điều khiển trượt cho hệ MIMO

$$u = -\left(L_g L_f^{(m-1)} h\right)^{-1} \left(L_f^{(m)} h + c_{m-1} e^{(m-1)} + \dots + c_1 \dot{e} + k \cdot \text{diag}(\text{sign}(s))\right) \quad (2.77)$$

2.2.5 ĐẶC ĐIỂM CỦA ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Từ mục 2.2.3 cho thấy để tính toán thành phần điều khiển tương đương của điều khiển trượt đòi hỏi phải biết đầy đủ các hàm danh định của đối tượng, và để tính toán thành phần điều khiển bền vững cần phải biết các chặn trên của hệ thống và nhiễu.

Hàm dấu trong thành phần điều khiển của điều khiển trượt cổ điển tạo nên hiện tượng đảo cực trong tín hiệu điều khiển cộng với hiện tượng trễ vật lý của các đối tượng được điều khiển tạo nên hiện tượng chattering (dao động của các quỹ đạo pha xung quanh mặt trượt).

2.3 MỘT SỐ MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT DÙNG MẠNG NƠ-RÔN

2.3.1 MÔ HÌNH SỬ DỤNG MẠNG NƠ-RÔN LÀM THÀNH PHẦN ĐIỀU KHIỂN TƯƠNG ĐƯƠNG

Trong mô hình điều khiển trượt dạng này tín hiệu điều khiển trượt được phân chia như sau:

- Ở vùng xa mặt trượt thành phần điều khiển hiệu chỉnh được sử dụng để hướng các trạng thái tiến về mặt trượt

$$u_{corrective} = -k \cdot \text{sign}(g(x)) \cdot \text{sign}(s) \quad (2.78)$$

Với k được tính theo công thức 2.67

- Ở lân cận mặt trượt thành phần điều khiển tương đương được thay thế bằng một mạng hai lớp như mô tả ở mục 2.1 dùng để điều khiển các trạng thái bám trên mặt trượt. Ngõ vào của mạng chính là tín hiệu mặt trượt s . Các trọng số của mạng được cập nhật thích nghi trực tuyến. Mục tiêu của luật cập nhật thích nghi là cực tiểu hóa hàm năng lượng của mặt trượt (2.60).

Luật cập nhật mạng dựa trên phương pháp gradient descent được triển khai theo công thức :

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial V}{\partial w_{ij}}. \quad (2.79)$$

Triển khai luật cập nhật cho các trọng số của lớp ngoài cùng :

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot s \cdot \sigma_o'(x_j) u_j \quad (2.80)$$

Trong đó η là hằng số học, σ_o là hàm tác động ngõ ra, u_j là ngõ ra thứ j của mạng.

Các trọng số của lớp giữa của mạng thì được cập nhật dựa trên thuật toán lan truyền ngược.

2.3.2 MÔ HÌNH ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT PHÂN LY DÙNG MẠNG NƠ-RÔN

Năm 2007 Lon-Chen Hung và Hung Yuan Chung ở khoa kỹ thuật điện tử đại học quốc gia Đài Loan đã giới thiệu kỹ thuật điều khiển trượt phân ly dùng mạng nơ-rôn DNNSMC (Decoupled Nơ-rôn Network Sliding Mode Control) cho các hệ thống phi tuyến bậc bốn. Tính hiệu quả của bộ điều khiển đã được kiểm chứng thông qua việc mô phỏng trên nhiều đối tượng có tính phi tuyến cao như con lắc đơn, con lắc đôi, hệ cầu banh, ...

Mô tả hệ thống

Xét một hệ thống bậc bốn có dạng như sau

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= f_1(x) + g_1(x).u_1 + d_1 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= f_2(x) + g_2(x).u_2 + d_2\end{aligned}\quad (2.81)$$

Trong đó $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$ là vector trạng thái, f_1, f_2 , và g_1, g_2 là các hàm phi tuyến, u_1, u_2 là các ngõ vào điều khiển và d_1, d_2 là nhiễu bên ngoài. Các nhiễu được giả thiết là bị chặn: $|d_1| \leq D_1, |d_2| \leq D_2$.

Định nghĩa tín hiệu mặt trượt thứ nhất

$$s_1 = c_1(x_1 - z) + x_2 = [c_1 \ 1][x_1 \ x_2]^T - c_1 z = c^T x_{12} - c_1 z \quad (2.82)$$

Định nghĩa tín hiệu mặt trượt thứ hai

$$s_2 = c_2 x_3 + x_4 \quad (2.83)$$

Trong thiết kế bộ điều khiển trượt phân ly, điều khiển tương đương có nhiệm vụ duy trì các trạng thái trên mặt trượt. Điều khiển tương đương có thể đạt được bằng cách chọn $\dot{s}_1 = 0$.

$$\dot{s}_1 = c_1(\dot{x}_1 - \dot{z}) + \dot{x}_2 = c_1 x_2 - c_1 \dot{z} + f_1 + g_1.u + d_1 \quad (2.84)$$

Ngõ vào điều khiển trượt phân ly được chọn với hàm Lyapunov như sau:

$$V = \frac{1}{2} s_1^2 \quad (2.85)$$

Lấy đạo hàm (2.85) ta có

$$\dot{V} = s_1.\dot{s}_1 = s_1(c_1 x_2 - c_1 \dot{z} + f_1 + g_1 u + d_1) \quad (2.86)$$

Từ (2.86) suy ra luật điều khiển trượt bao gồm cả thành phần điều khiển tương đương và điều khiển bền vững trước nhiễu

$$u = u_{eq} - M.sign\left(\frac{s}{\varphi_1}\right) \quad \text{trong đó } M > D_1/|g_1| \quad (2.87)$$

Vì hàm dấu của công thức (2.87) gây nên hiện tượng chattering nên được thay thế bằng hàm bão hòa trong (2.88)

$$u = u_{eq} - M.sat(s_1) \quad (2.88)$$

Như vậy trong chuyển động trượt, tín hiệu điều khiển tương đương sẽ là

$$u_{eq} = \frac{1}{g_1} (-c_1 x_2 + c_1 \dot{z} - f_1 + \dot{s}_1 + k s_1) \quad (2.89)$$

Trong đó k là hằng số dương. Mục đích của điều khiển là lái các trạng thái hệ thống về điểm cân bằng gốc. Các biến s_1 , s_2 cùng suy giảm thông qua biến tạm thời z . Phương trình (2.82) chỉ ra rằng mục đích điều khiển của u_1 được thay đổi từ $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ thành $x_1 = z$, $x_2 = 0$ (Lo & Kuo, 1998).

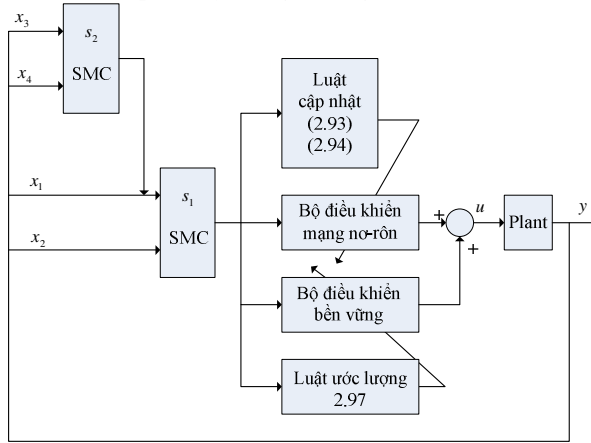
Biến tạm thời z có thể được định nghĩa

$$z = \text{sat}\left(\frac{s_2}{\phi_z}\right) \cdot z_{upper}, \quad 0 < z_{upper} < 1 \quad (2.90)$$

Trong đó ϕ_z là hệ số để điều chỉnh độ trơn của z . Hàm $\text{sat}(\cdot)$ được định nghĩa

$$\text{sat}(\phi) = \begin{cases} \text{sign}(\phi) & \text{if } |\phi| \geq 1 \\ \phi & \text{if } |\phi| < 1 \end{cases} \quad (2.91)$$

Thiết kế bộ điều khiển trượt phân ly dùng mạng nơ-rôn DNNSMC



Hình 2.13 Hệ thống DNNSMC của Lon-Chen Hung và Hung Yuan

Chung

Một mạng nơ-rôn SHL như mô tả ở mục 2.1.2 được dùng để thay thế thành phần điều khiển tương đương (2.89) với ngõ vào là tín hiệu mặt trượt s_1 .

Trong đó hàm tác động lớp ẩn có dạng

$$\sigma(s_1) = \frac{1}{1 + e^{-s_1}} \quad (2.92)$$

Luật cập nhật thích nghi cho mạng để đảm bảo luật điều khiển (2.3.3.9) ở ngõ ra của mạng được đề nghị

$$\dot{w} = -\gamma_1 s_\Delta \cdot \text{sign}(g_1) \cdot \sigma(\dot{v} \cdot s_\Delta) \quad (2.93)$$

$$\dot{v} = -\gamma_2 s_\Delta \cdot \text{sign}(g_1) \cdot \sigma'(\dot{v} \cdot s_\Delta) \dot{w} \quad (2.94)$$

Trong đó s_Δ được định nghĩa

$$s_\Delta = s_1 - \phi_1 \cdot \text{sat}(s_1 / \phi_1) \quad (2.95)$$

ϕ_1 được gọi là độ dày lớp biên. Nếu $|s_1| < \phi_1$ thì $\dot{s}_\Delta = s_\Delta = 0$, ngược lại thì $\dot{s}_\Delta = s_\Delta$ và $|s_\Delta| = |s_1| - \phi_1$.

Thành phần điều khiển bền vững của bộ điều khiển DNNSMC là

$$u_{corrective} = -M \cdot \text{sat}\left(\frac{s_1}{\phi_1}\right) = E \cdot \text{sign}(g_1) \cdot \text{sat}\left(\frac{s_1}{\phi_1}\right) \quad (2.96)$$

Và luật hiệu chỉnh được đề nghị để ước lượng E là

$$\dot{E} = \gamma_3 \cdot |s_\Delta| \quad (2.97)$$

CHƯƠNG BA: ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI PHÂN LY DÙNG MẠNG NƠ-RÔN

Chương này sẽ giới thiệu một bộ điều khiển trượt thích nghi phân ly mới DANSMC (Decoupled Adaptive Neural Sliding Mode Control) áp dụng được cho các hệ thống phi tuyến đa biến. Các nghiên cứu được trình bày trong chương này đã được công bố trên các bài báo [1], [2],[3] (Mục các công trình đã công bố).

**Tóm tắt luận án chỉ đưa ra các kết quả, phần chứng minh được trình bày đầy đủ trong luận án.*

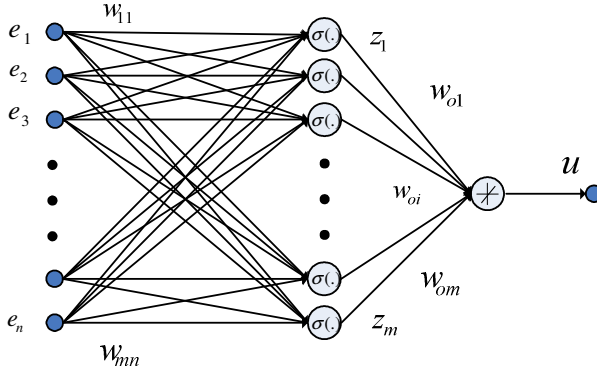
3.1 ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI DÙNG MẠNG NƠ-RÔN

3.1.1 MÔ TẢ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Mô hình đối tượng và các định nghĩa về hệ thống như đã mô tả ở mục 2.2.2

Một mạng nơ-rôn SHL với n ngõ vào, m nơ-rôn ở lớp ẩn, 1 ngõ ra, với các trọng số có thể điều chỉnh được, như hình (3.1) được dùng làm bộ điều khiển cho hệ (2.48). Ngõ ra của mạng nơ-rôn có dạng:

$$u = N(w, E) = \sum_{i=1}^m w_{oi} \cdot z_i = \sum_{i=1}^m w_{oi} \cdot \sigma(w_i^T \cdot E) \quad (3.1)$$



Hình 3.1 Mạng nơ-rôn dùng làm bộ điều khiển

Trong đó : $w_i = [w_{i1} \quad \dots \quad w_{in}]^T$ là trọng số ngõ vào của nơ-rôn thứ i ($i = 1..m$); $z = [z_1 \quad \dots \quad z_m]^T$ là ngõ ra nơ-rôn lớp ẩn; $w_o = [w_{o1} \quad \dots \quad w_{om}]^T$ là trọng số lớp ra của mạng ; Ngõ ra u của mạng cũng là ngõ vào của hệ thống (2.48) ; Ngõ vào của mạng được kết nối các ngõ ra sai số trạng thái của (2.48) $E = [e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n]^T = [e \quad \dot{e} \quad \dots \quad e^{(n-1)}]^T$. Hàm ngõ ra là hàm tuyến tính. Hàm tác động $\sigma(\cdot)$ ở lớp ẩn là hàm sigmoid lưỡng cực có dạng:

$$\sigma(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1 \quad (3.2)$$

Bài toán ở đây là tìm ra luật cập nhật phù hợp để huấn luyện mạng N , sao cho bộ điều khiển mạng nơ-rôn có thể điều khiển được s tiến tới 0 theo một đáp ứng cho trước và duy trì ổn định trên đó.

3.1.2 LUẬT CẬP NHẬT THÍCH NGHI ĐỂ HUẤN LUYỆN MẠNG

Luật điều khiển trượt để nghi

$$u = \frac{-1}{g(x)} (\rho s + f(x) + c_{n-1} e^{(n-1)} + \dots + c_2 \ddot{e} + c_1 \dot{e} + d - r^{(n)}) \quad (3.8)$$

Lưu ý: luật điều khiển (3.1.6) có dạng hàm trơn và không có thành phần chuyển mạch như trong điều khiển trượt cổ điển.

Luật cập nhật thích nghi để huấn luyện mạng

Luật cập nhật được đề nghị để huấn luyện mạng, đối với các trọng số của lớp giữa:

$$\Delta w_i(k) = -\mu \cdot \text{sign}(g(x)) \cdot \text{sat}(|s|/\varphi) \cdot \text{sign}(\tau \cdot \dot{s} + s) \cdot w_{0i}(k) \cdot (1 - z_i^2) \cdot E \quad (3.22)$$

Và đối với các trọng số của lớp ra:

$$\Delta w_0(k) = -\mu \cdot \text{sign}(g(x)) \cdot \text{sat}(|s|/\varphi) \cdot \text{sign}(\tau \cdot \dot{s} + s) \cdot z \quad (3.23)$$

Trong đó

$$\text{sat}(x) = \begin{cases} 1 & , \quad x \geq 1 \\ -1 & , \quad x \leq -1 \\ x & , \quad -1 < x < 1 \end{cases} \quad (3.24)$$

$\varphi > 0$ xác định một giá trị chặn trên của s (φ được chọn thông qua thử nghiệm). Khi $|s| > \varphi$ thì $\mu \cdot \text{sat}(|s|/\varphi) = \mu$, còn khi $|s| < \varphi$ thì $\mu \cdot \text{sat}(|s|/\varphi) = \mu \cdot (|s|/\varphi) < \mu$. Như vậy, có thể chọn giá trị của μ đủ lớn để tăng nhanh tốc độ học cho bộ điều khiển mạng nơ-rôn, mà vẫn bảo đảm độ trơn của tín hiệu điều khiển ở vùng sát mặt trượt.

3.2 ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI PHÂN LY DÒNG MẠNG NƠ-RÔN DANSMC

Các hệ thống thực thường có dạng biểu diễn:

$$\begin{aligned} \dot{q}_1 &= q_2 \\ \dot{q}_2 &= \tilde{f}_1(q) + \tilde{B}_1(q) \cdot u + \tilde{d}_1 \\ \dot{q}_3 &= q_4 \\ \dot{q}_4 &= \tilde{f}_2(q) + \tilde{B}_2(q) \cdot u + \tilde{d}_2 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Để có thể áp dụng luật điều khiển trượt thích nghi lên các hệ thống như (3.2.1), phương pháp đổi biến được áp dụng để đưa (3.2.1) về dạng

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= f_1(x) + g_1(x).x_3 + d_1'\end{aligned}\quad (3.26)$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= f_2(x) + g_2(x).u + d_2\end{aligned}\quad (3.27)$$

Giả thiết $f_1, 1/g_1, d_1', d_2$ là các hàm bị chặn, thì (3.2.4) được xem là một hệ thống con bậc hai có ngõ vào điều khiển là x_3 . Còn (3.2.5) được xem như hệ thống con bậc hai có ngõ vào là u , ngõ ra là x_3 .

Mục đích của bài toán: là tìm luật điều khiển u , sao cho :

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 0, \quad x_4 = 0 \quad (3.30)$$

Định nghĩa

$$s_1 = c_1.x_1 + x_2, \quad c_1 > 0 \quad (3.31)$$

Điều kiện để $s_1 \rightarrow 0$, khi $t \rightarrow \infty$, là $\dot{V}_1 < 0$, có thể chọn giá trị mong muốn của x_3 là

$$z = x_3 = -\gamma.sign(s_1).sign(g_1(x)) \quad (3.35)$$

$$\text{Với } \gamma > \left| \frac{1}{g_1(x)}.(c_1.x_2 + f_1(x)) + d_1' \right|$$

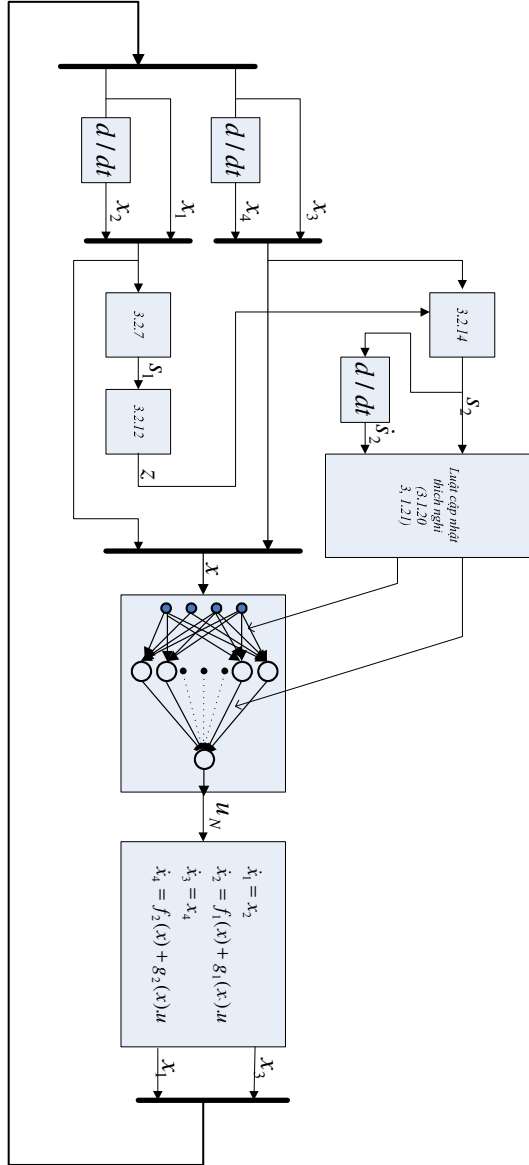
Để x_3 là hàm trơn, hàm $sign(s_1)$ trong (3.2.11) được thay thế bằng hàm sigmoid lưỡng cực. Khi đó (3.2.11) trở thành

$$z = -\gamma \left(\frac{2}{1 + \exp^{-s_1/\phi}} - 1 \right) .sign(g_1(x)) \quad (3.36)$$

Xác định một mặt trượt S_2 khi $s_2 = 0$.

Áp dụng mạng nơ-rôn như đã mô tả ở mục 3.1.1 để điều khiển tín hiệu mặt trượt $s_2 \rightarrow 0$. Mạng nơ-rôn có ngõ vào là x , ngõ ra điều khiển u , luật cập nhật thích nghi để huấn luyện mạng là các luật (3.22) và (3.23) với $s = s_2$.

Mô hình điều khiển trượt thích nghi phân ly cho như ở hình 3.2.



Hình 3.2 Mô hình điều khiển trượt thích nghi phân ly

Định nghĩa :

$$s_2 = c_2(x_3 - z) + x_4 \quad , \quad c_2 > 0 \quad (3.38)$$

Kết luận

Như vậy trong chương này một luật điều khiển trượt mới (3.8) đã được đưa ra bao gồm cả hai thành phần điều khiển tương đương và điều khiển bền vững, có dạng hàm trơn, không có các thành phần chuyển mạch, có khả năng khắc phục hiện tượng chattering, và có thể được thay thế bằng một mạng nơ ron.

Luật cập nhật (3.22) và (3.23) được đề nghị đã được chứng minh là có thể huấn luyện được mạng nơ ron trở thành bộ điều khiển trượt theo luật (3.8).

Tiếp đó là mô hình điều khiển trượt phân ly được giới thiệu trong mục 3.2 có thể áp dụng cho các hệ thống đa biến

Khác với các bộ điều khiển dùng mạng nơ ron được giới thiệu trong chương hai, mà ngõ vào của mạng nơ ron và tín hiệu hồi tiếp để cập nhật mạng là tín hiệu mặt trượt, mạng nơ ron của bộ điều khiển DANSMC là ngõ vào trạng thái còn tín hiệu hồi tiếp bao gồm cả tín hiệu mặt trượt và đạo hàm của nó.

Bộ điều khiển trượt thích nghi phân ly DANSMC được đề nghị đã được chứng minh là có khả năng tự huấn luyện thích nghi để học được các luật điều khiển trượt (3.8) phù hợp với các thông số biến động của đối tượng và ảnh hưởng của nhiễu, cũng như khả năng khắc phục được hiện tượng chattering, nên đã thỏa mãn được cả về chất lượng và tính bền vững của hệ thống so với các phương pháp điều khiển trượt dùng mạng nơ ron đã nêu ở chương 2. Các tính chất trên sẽ được minh họa thông qua mô phỏng và thực nghiệm sẽ được trình bày ở chương 4.

Một số điều cần lưu ý là khi thiết kế bộ điều khiển DANSMC thì các trọng số của mạng nên được khởi tạo với các giá trị ngẫu nhiên ban đầu nhỏ, và vùng không gian huấn luyện mạng nên được chọn ở lân cận điểm cân bằng trước khi mở rộng dần ra. Khả năng kháng nhiễu và thích nghi với các thành phần bất định của hệ thống phụ thuộc vào tốc độ lấy mẫu, với điều kiện tốc độ lấy mẫu phải nhỏ hơn hai lần tần số nhiễu lớn nhất và tốc độ

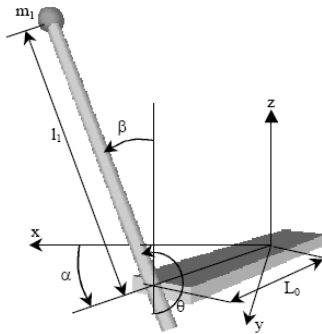
biến thiên của các thành phần bất định. Với khả năng của các bộ điều khiển DSP hiện đại tốc độ lấy mẫu cỡ 1ms là hoàn toàn có cơ sở.

CHƯƠNG BỐN:

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

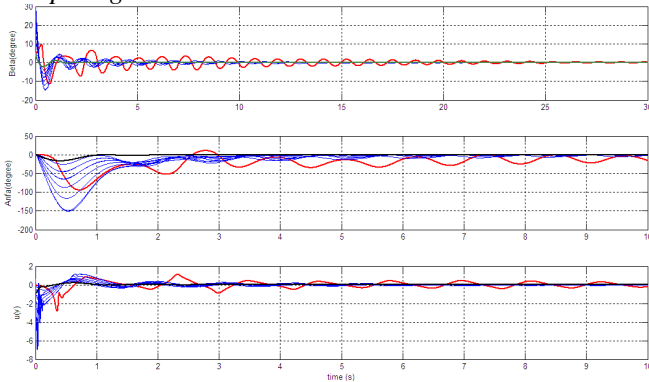
4.1 ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT TÍCH NGHI PHÂN LY CON LẮC NGƯỢC HAI BẬC XOAY TỰ DO

Mô tả con lắc ngược xoay

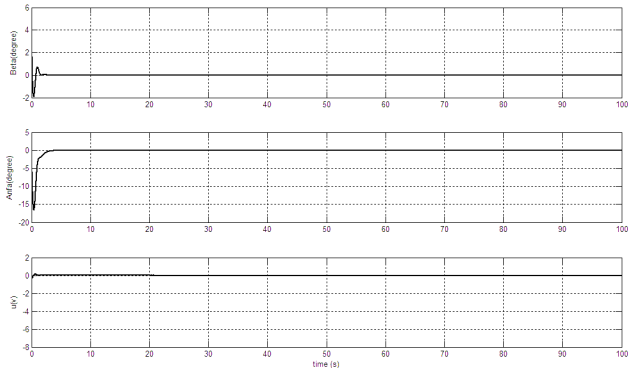


Hình 4.1 Mô hình con lắc ngược xoay

Các kết quả mô phỏng

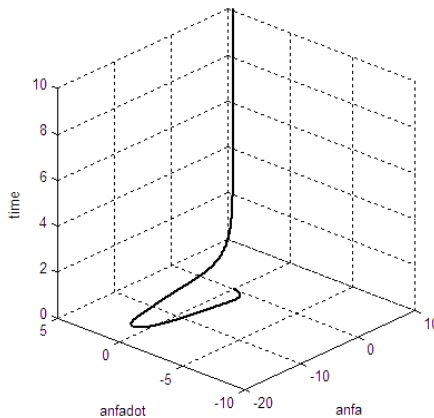


Hình 4.9 Quá trình huấn luyện và hội tụ bộ điều khiển DANSMC



Hình 4.11 Đáp ứng của điều khiển DANSMC

Kết quả thu được các đáp ứng của β , α , u trong quá trình huấn luyện (hình 4.9) và kết quả cuối cùng (hình 4.11) cho thấy quá trình hình thành luật điều khiển và chất lượng điều khiển tăng dần sau nhiều phiên huấn luyện.



Hình 4.13 Quỹ đạo pha các biến trạng thái của điều khiển DANSMC

Mô hình thực nghiệm

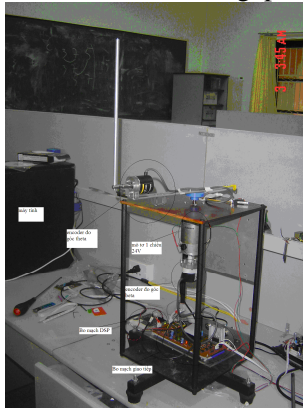
Mô hình kết cấu cơ khí con lắc như hình 4.17 với cánh tay con lắc có chiều dài 30cm có thể gắn lên nó các con lắc khác nhau qua khớp nối để thử

nghiệm khả năng thích nghi của bộ điều khiển khi thông số mô hình thay đổi. Cánh tay con lắc được gắn vào một động cơ một chiều 24V DC. Hai encoder có độ phân giải 1/2000 trên vòng được dùng làm hai bộ đo hai góc của con lắc và của cánh tay quay.

Bộ phận mô phỏng bộ điều khiển dùng mạng nơ-rôn và tính toán cập nhật được lập trình trên cơ sở bo mạch ezdsp TMS3202812.

Chương trình mô tả bộ điều khiển trượt thích nghi phân ly được viết bằng ngôn ngữ C trên nền phần mềm máy tính CSS. Các kết quả điều khiển có thể được thể hiện lại dưới dạng đồ họa.

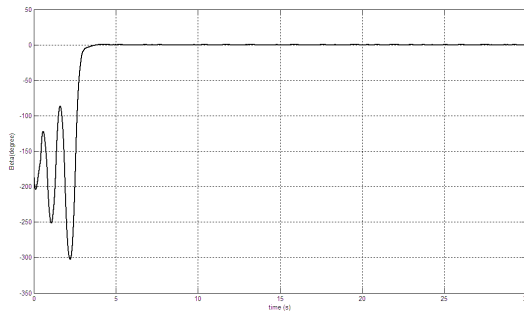
Tần số lấy mẫu của bộ điều khiển được cài đặt ở tần số 0.5 KHz, và tần số của bộ điều động xung được cài đặt ở tần số gấp năm lần tần số lấy mẫu.



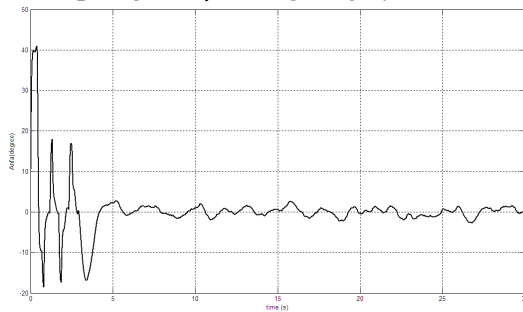
Hình 4.17 Mô hình thực con lắc ngược trong phòng thí nghiệm

Các kết quả thực nghiệm

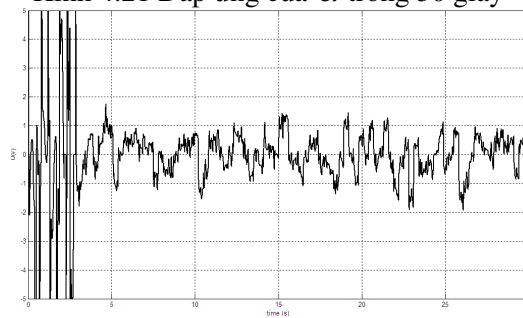
Con lắc thực nghiệm (hình 4.17), có bộ phận gắn xoay, nối con lắc gắn vào tay xoay, để có thể thay đổi các con lắc có chất liệu, chiều dài và khối lượng khác nhau. Hình 4.20, 4.21, 4.22 lần lượt là các kết quả điều khiển góc con lắc, góc tay quay và tín hiệu điều khiển.



Hình 4.20 Đáp ứng của β trong 30 giây.(lật lên và ổn định)



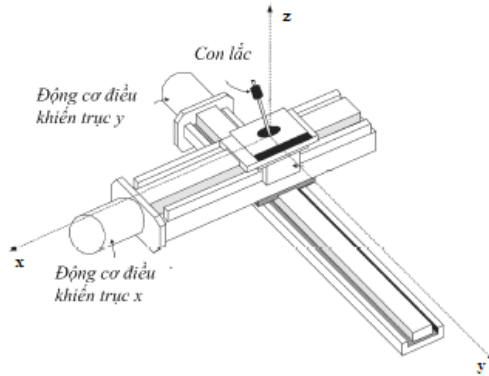
Hình 4.21 Đáp ứng của α trong 30 giây



Hình 4.22 Tín hiệu điều khiển u trong 30 giây

4.2 ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI PHÂN LY CON LẮC NGƯỢC HAI CHIỀU

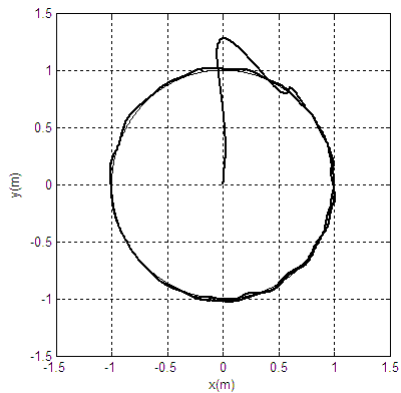
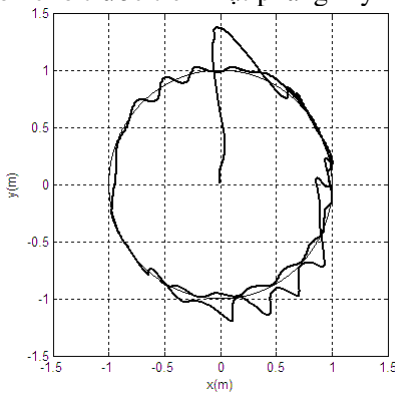
Mô tả con lắc ngược hai chiều



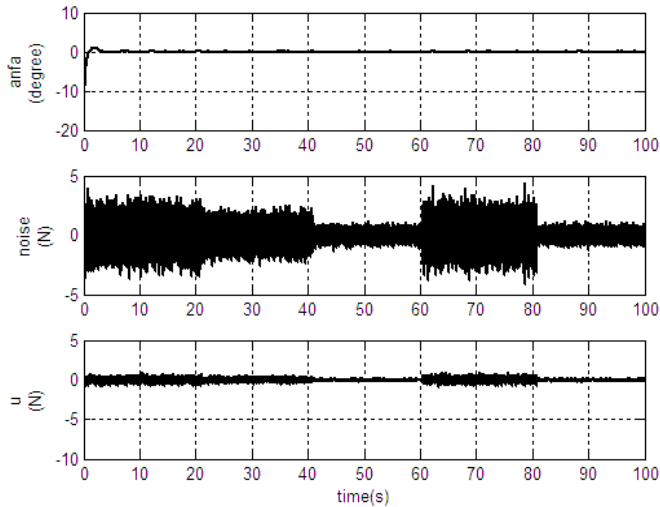
Hình 4.23 Mô hình động học con lắc ngược hai chiều

Các kết quả mô phỏng

Mục đích của điều khiển là giữ ổn định con lắc dựng ngược theo chiều thẳng đứng, đồng thời điều khiển nó chuyển động đều bám theo một vòng tròn cho trước trên mặt phẳng x-y



Hình 4.28 Quỹ đạo x-y của phiên huấn luyện thứ nhất và thứ hai



Hình 4.29 Mô phỏng với biên độ nhiễu biến thiên

CHƯƠNG NĂM

KẾT LUẬN

Ngày nay, điều khiển học hiện đại hướng tới nghiên cứu giải quyết bài toán điều khiển các hệ thống bất định hoặc không rõ thông số mô hình dựa trên cơ sở các phương pháp điều khiển thông minh như điều khiển mờ và điều khiển dùng mạng nơ-rôn. Hướng nghiên cứu dựa trên việc kết hợp giữa các lý thuyết điều khiển cổ điển và điều khiển thông minh là một hướng nghiên cứu đầy triển vọng vì nó kết hợp được khả năng điều khiển chính xác, bền vững của các phương pháp điều khiển cổ điển và khả năng học thích nghi của các phương pháp điều khiển thông minh để tiến tới hình thành các bộ điều khiển thích nghi bền vững mà không cần biết đầy đủ tính chất của đối tượng.

Các phương pháp dùng mạng nơ-rôn hay nơ-rôn mờ để nhận dạng đối tượng sau đó áp dụng kết quả nhận dạng để thực hiện vào lý thuyết điều khiển dựa trên mô hình rất khó có thể thực hiện trên các đối tượng thực có tính phi tuyến cao và có các thành phần bất định. Các bộ điều khiển

được thiết kế trên các phương pháp này có chi phí cao do phải trải qua nhiều giai đoạn (nhận dạng rồi điều khiển), có độ tin cậy không cao, do tính chính xác của tín hiệu điều khiển phụ thuộc vào sai số nhận dạng, và thường phải có bộ điều khiển thích nghi để bù cho các sai số này.

Nguyên lý của phương pháp điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn được giới thiệu trong các tài liệu [2]-[22] đã cho phép thay thế thành phần điều khiển tương đương trong điều khiển trượt cổ điển bằng một mạng nơ-rôn hai lớp với các luật cập nhật thích nghi đơn giản, mà không cần phải nhận dạng trước các hàm phi tuyến của đối tượng. Tuy nhiên bản chất của các bộ điều khiển loại này vẫn là luật điều khiển trượt cổ điển, vì vậy phải có sự trả giá giữa chất lượng điều khiển và tính bền vững của hệ thống. Hơn nữa, cần biết trước các giá trị chặn trên của các thành phần bất định.

Đóng góp khoa học của luận án

Trong bối cảnh đó các nghiên cứu trong luận án nhằm mục đích khắc phục những tồn tại của các phương pháp điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn trước đó và đã một số các kết quả cụ thể như sau:

- Luật điều khiển trượt được đề nghị trong luận án bao gồm cả hai thành phần điều khiển tương đương và điều khiển bền vững, có dạng hàm trơn, có khả năng khắc phục được hiện tượng chattering và phù hợp để huấn luyện cho mạng nơ-rôn.
- Luật cập nhật cho mạng nơ-rôn truyền thẳng một lớp ẩn được đề nghị dựa trên lý thuyết ổn định của Lyapunov với hai tín hiệu hồi tiếp bao gồm tín hiệu mặt trượt và đạo hàm của nó đã được chứng minh là đáp ứng được yêu cầu của luật điều khiển trượt được đề nghị và có khả năng huấn luyện trực tuyến cho mạng nơ-rôn trở thành bộ điều khiển trượt thích nghi mà không cần phải nhận dạng trước các thông số của đối tượng và các giá trị chặn trên của các thành phần bất định của hệ thống.

- Với mô hình điều khiển được đề nghị trong luận án mạng nơ-rôn truyền thẳng một lớp ẩn đã thay thế hoàn toàn bộ điều khiển trượt. Với đặc điểm ngõ vào của mạng là các biến trạng thái (khác với ngõ vào là tín hiệu mặt trượt như một số phương pháp điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn khác), phương pháp DANSMC đã khai thác được khả năng nhớ theo trạng thái của mạng nơ-rôn và qua các kết quả mô phỏng đã cho thấy khả năng tự nâng cấp chất lượng điều khiển của hệ thống qua từng phiên điều khiển.

- Lý thuyết và mô phỏng cũng đã cho thấy khả năng tự thay đổi để thích nghi của bộ điều khiển DANSMC trước sự thay đổi của các thông số của đối tượng cũng như các chặn trên của các thành phần bất định.

- Mô hình điều khiển phân ly được đề nghị trong luận án đã được chứng minh là có khả năng đáp ứng yêu cầu điều khiển ngay cả đối với các đối tượng phi tuyến và có triển vọng áp dụng cho nhiều đối tượng phi tuyến đa biến phức tạp khác.

- Các nghiên cứu về lý thuyết đã minh chứng với các ứng dụng cụ thể lên các đối tượng có tính phi tuyến cao và phức tạp như con lắc ngược hai bậc xoay tự do và con lắc ngược hai chiều. Trong các mô hình điều khiển tự động hiện nay, các hệ thống có kết cấu cơ khí dạng di chuyển ngang trên hai trục (như CNC) có dạng giống như thí nghiệm trên con lắc ngược hai chiều, thường đòi hỏi các bộ điều khiển phải có độ chính xác cao trong điều kiện các thông số cơ khí không đồng đều trên toàn bề mặt di chuyển và độ rơ cơ khí tạo nên sự bất định của các thông số là một vấn đề khó khi thiết kế trong điều khiển. Phương pháp DANSMC, với khả năng nhớ của bộ điều khiển cho phép tạo ra các tín hiệu điều khiển phù hợp trên từng vị trí tọa độ chỉ qua vài phiên huấn luyện là một mô hình đầy triển vọng cho các nghiên cứu những ứng dụng như vậy.

Một vấn đề của bộ điều khiển DANSMC là khả năng kháng nhiễu của bộ điều khiển phụ thuộc vào tỉ lệ của tần số lấy mẫu so với tần số cao nhất của

nhiều bên ngoài hoặc nhiễu loạn bên trong hệ thống. Tuy nhiên ngày nay với sự phát triển của công nghệ DSP với tốc độ xử lý số thực ngày càng nhanh cho phép thực hiện các bộ điều khiển trượt dùng mạng nơ-rôn với độ tốc độ lấy mẫu nhỏ hơn 0.01s, đáp ứng được các yêu cầu về điều khiển thực.

Một vấn đề khác của bộ điều khiển DANSMC là trong thực tế các nguồn cung cấp điều khiển là các hàm có dạng hàm bão hòa, vì vậy vùng huấn luyện cho mạng nơ-rôn cần phải được giới hạn trong phạm vi sao cho tín hiệu điều khiển nhỏ hơn giới hạn trên và dưới của vùng bão hòa. Phương pháp khắc phục là ở vùng bão hòa của nguồn cung cấp năng lượng, tín hiệu điều khiển của mạng nơ-rôn có thể được thay thế bằng tín hiệu điều khiển hiệu chỉnh của điều khiển trượt cổ điển. Ngoài ra quá trình huấn luyện mạng cần được triển khai bắt đầu từ vùng sát với điểm cân bằng và mở rộng dần ra ở các vùng xa hơn.

Trong tất cả các thí nghiệm dùng mô phỏng cũng như thực nghiệm, các giá trị của các biến trạng thái và tín hiệu mặt trượt đều được lấy theo kiểu đạo hàm rời rạc đơn giản mà chưa có một bộ quan sát hoàn hảo. Vì vậy chất lượng của bộ điều khiển DANSMC còn bị hạn chế do ảnh hưởng của nhiễu đo đạc ở đầu ra, và tần số lấy mẫu cần phải cao để bảo đảm sự chính xác của việc lấy đạo hàm.

Hướng phát triển của luận án

Mô hình điều khiển DASMC khá đơn giản và hiệu quả. Các phương pháp nghiên cứu tương tự không chỉ có thể được phát triển điều khiển trượt thích nghi phân ly trên mạng truyền thẳng một lớp ẩn thẳng mà còn có thể áp dụng cho các loại mạng khác như mạng RBF và mạng nơ-rôn mờ. Việc nghiên cứu áp dụng mạng nơ-rôn mờ làm bộ điều khiển sẽ giúp làm giảm thời gian huấn luyện và hiệu quả hơn đối với một số các đối tượng thực.

Dựa trên cơ sở của lý thuyết điều khiển trượt thích nghi thì hướng nghiên cứu việc xây dựng một bộ quan sát các biến trạng thái là hoàn toàn khả thi cho các hệ thống phi tuyến bất định và không rõ thông số mô hình, nhằm tăng cường chất lượng của bộ điều khiển DANSMC giảm được tần số lấy mẫu và do đó sẽ giảm được chi phí khi thực hiện bộ điều khiển.

Bộ điều khiển DANSMC cần được tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện trên các đối tượng điều khiển phi tuyến đa biến phức tạp bất định khác như cánh tay máy nhiều bậc tự do, xe cân bằng, rô bốt biết đi ...

CÁC TÀI LIỆU ĐÃ CÔNG BỐ

- [1] N.D. Minh, N.D. Thanh, D.H. Nghia, "Decoupled Adaptive Sliding Mode Control," Tạp chí khoa học công nghệ, vol. 79, pp. 70-75, 2011.
- [2] N. Đ. Minh, D. H. Nghĩ, N. Đ. Thành, "Điều khiển ổn định con lắc ngược sử dụng mạng nơ ron," Tạp chí Tin học và Điều khiển học, vol. 26, no. 3, pp. 245-255, 2010.
- [3] N. Đ. Minh, D. H. Nghĩ, N. Đ. Thành, ""Điều khiển con lắc ngược hai bậc xoay tự do dùng mạng nơ-rôn"," in Hội thảo Công nghệ thông tin Đại học Đà lạt 2010, 2010.
- [4] N. D. Minh, N.D. Thanh, D.H. Nghia , "Stabilizing Inverted Pendulum using Neural Network," in Hội nghị cơ điện tử toàn quốc lần thứ 10 VCM2010, 2010.
- [5] N.D. Minh, N.D. Thanh, D.N. Nghia , "Decoupled Adaptive Sliding Mode Control for two Dimentional Inverted Pendulum Using Neural Network," in IFOST, 2009.
- [6] N. Đ. Minh, D. H. Nghĩ, N. Đ. Thành, "Điều khiển Trượt Thích nghi Dùng Mạng Nơ ron," Tạp chí Khoa học Công nghệ, vol. 71, pp. 1-5, 2009.