

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

---

**NGUYỄN TRẦN HIỆP**

**NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN ROBOT  
CÓ THAM SỐ BẤT ĐỊNH PHỤ THUỘC THỜI GIAN  
TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG MẠNG NƠON  
VÀ GIẢI THUẬT DI TRUYỀN**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Chuyên ngành: Tự động hóa**

**Mã số: 62. 52. 60. 01**

**HÀ NỘI - 2012**

Công trình được hoàn thành tại  
**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

***Người hướng dẫn khoa học:***

Hướng dẫn thứ nhất: **PGS. TSKH Phạm Thượng Cát**

Hướng dẫn thứ hai: **TS Phan Quốc Thắng**

Phản biện 1: PGS. TSKH Nguyễn Công Định

Phản biện 2: PGS. TS Nguyễn Doãn Phước

Phản biện 3: GS. TSKH Nguyễn Ngọc San

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án Tiến sĩ kỹ thuật cấp Học viện họp tại Học viện kỹ thuật Quân sự.

Vào hồi ..... giờ ..... ngày ..... tháng ..... năm 2012.

***Có thể tìm hiểu luận án tại:***

- Thư viện Quốc gia
- Thư viện Học viện kỹ thuật Quân sự

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của luận án

Robot công nghiệp là tập hợp thành quả của nhiều ngành khoa học. Robot có khả năng làm việc liên tục 24 giờ/ngày, thực hiện các nhiệm vụ khó khăn, nguy hiểm và nhàm chán thay thế con người. Robot công nghiệp đã góp phần không nhỏ trong việc tích hợp công nghệ mới, tăng hiệu suất hoạt động, tăng khả năng cạnh tranh của sản phẩm trên thị trường, v.v.

Tại Việt nam, với mục tiêu hiện đại hóa nền công nghiệp, trong tương lai, robot sẽ là “nguồn nhân lực lý tưởng” trong các lĩnh vực sản xuất. Những nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng điều khiển robot sẽ là một trong những vấn đề quan trọng cho sự nghiệp hiện đại hóa nền công nghiệp. Từ lý do trên, tác giả đã chọn đề tài: “*Nâng cao chất lượng điều khiển robot có tham số bất định phụ thuộc thời gian trên cơ sở ứng dụng mạng nơron và giải thuật di truyền*”.

### 2. Mục đích nghiên cứu của luận án.

Nghiên cứu sử dụng mạng hàm bán kính cơ sở (RBFN) để bù trừ yếu tố bất định các tham số của robot, nâng cao chất lượng điều khiển robot.

### 3. Nội dung và phương pháp nghiên cứu của luận án.

Đề xuất mô hình điều khiển robot sử dụng RBFN kết hợp với điều khiển trượt và tính momen để bù nhiễu và các thành phần bất định trong phương trình động học của robot.

Dùng tiêu chuẩn ổn định Lyapunov chứng minh tính ổn định toàn cục của các mô hình điều khiển robot đã đề xuất.

Sử dụng thuật di truyền (GA) để tối ưu hóa hệ số học của RBFN.

Sử dụng MATLAB/SIMULINK làm công cụ để mô phỏng kiểm chứng lại tính chính xác của giải pháp mà luận án đề xuất.

### **Bố cục của luận án.**

Luận án bao gồm 117 trang thuyết minh, hình vẽ, đồ thị ngoài ra còn có 106 tài liệu tham khảo và phần phụ lục gồm 23 trang với các sơ đồ mô phỏng trên Matlab Simulink, 01 lưu đồ chương trình phần mềm mô phỏng thuật di truyền.

Phần mở đầu.

Chương 1: Tổng quan về một số phương pháp điều khiển robot.

Chương 2: Xây dựng bộ điều khiển robot theo phương pháp tính momen sử dụng hàm bán kính cơ sở.

Chương 3: Xây dựng bộ điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng hàm bán kính cơ sở.

Phần kết luận.

Phần phụ lục.

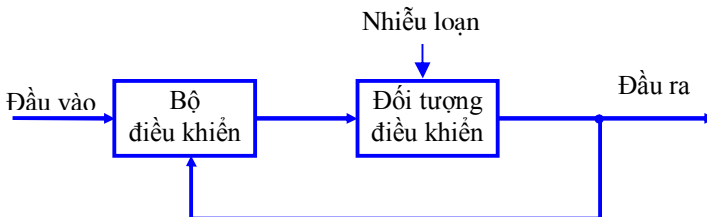
## **CHƯƠNG MỘT**

### **TỔNG QUAN VỀ MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP**

### **ĐIỀU KHIỂN ROBOT**

#### **1.1 Mô hình hóa và điều khiển robot.**

Hệ động lực của robot là hệ phi tuyến, tham số bất định, có hàm lượng giác và tác động xuyên chéo giữa các khớp, trạng thái bên trong, nhiễu loạn tác động lên robot luôn thay đổi theo thời gian. Hình 1.1



*Hình 1.1: Sơ đồ của một hệ thống điều khiển robot*

Tuy nhiên việc thiết kế các bộ điều khiển phi tuyến là không đơn giản, hàng loạt vấn đề cần giải quyết như ổn định vòng kín, điều khiển bám theo tín hiệu mẫu, suy giảm nhiễu.

Do vậy, cần xây dựng các phương pháp điều khiển thích hợp để đạt được các chỉ tiêu của điều khiển robot.

### 1.1.2 Mô hình động lực robot với nhiều tham số bất định.

Phương trình động lực học của robot có thể được mô tả như sau:

$$\boldsymbol{\tau} = \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \hat{\mathbf{g}}(\mathbf{q}) \quad (1.9)$$

Trong đó:

$\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q})$ : Ma trận quán tính  $n \times n$ , xác định dương,

$\mathbf{q} = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$ ,  $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n]^T$ , vector  $n \times 1$  biểu diễn vị trí, vận tốc góc của các khớp tương ứng,

$\boldsymbol{\tau} = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n]^T$  vector  $n \times 1$  là momen tác động lên các khớp,

$\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in R^{n \times n}$  là ma trận hệ số Coriolis và lực hướng tâm,

$\mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ : vector  $n \times 1$  biểu diễn thành phần lực ma sát và nhiễu,

$\hat{\mathbf{g}}(\mathbf{q})$ : vector  $n \times 1$  lực và momen được sinh ra do gia tốc trọng trường.

Trong phương trình (1.9) do tính bất định của mô hình robot, các tham số  $\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q})$ ,  $\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ ,  $\hat{\mathbf{g}}(\mathbf{q})$  không được biết chính xác ta có thể mô tả như sau:

$$\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) \approx \mathbf{M}(\mathbf{q}) + \Delta\mathbf{M}(\mathbf{q}) \quad (1.10a)$$

$$\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \approx \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \Delta\mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \quad (1.10b)$$

$$\hat{\mathbf{g}}(\mathbf{q}) \approx \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \Delta\mathbf{g}(\mathbf{q}) \quad (1.10c)$$

$\mathbf{M}(\mathbf{q})$ ,  $\mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ ,  $\mathbf{g}(\mathbf{q})$  là các thành phần được ước lượng chính xác,  $\Delta\mathbf{M}(\mathbf{q})$ ,  $\Delta\mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ ,  $\Delta\mathbf{g}(\mathbf{q})$  biểu diễn sai lệch do tính bất định của robot và bị chặn:  $\|\Delta\mathbf{M}(\mathbf{q})\| < m_0$ ,  $\|\Delta\mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\| < b_0$ ,  $\|\Delta\mathbf{g}(\mathbf{q})\| < g_0$ , ( $m_0, b_0, g_0$  là các giá trị hữu hạn).

Phương trình (1.9) có thể được biểu diễn lại dưới dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \boldsymbol{\tau} \quad (1.11a)$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \Delta\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \Delta\mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \Delta\mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \quad (1.11b)$$

$$\text{Đặt } \boldsymbol{\tau}_0 = \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) \quad (1.11c)$$

$$\text{Ta có } \boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\tau}_0 + \mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \quad (1.11d)$$

$\mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in R^{n*1}$  là tổng hợp các thành phần bất định của hệ động lực, ma sát, và nhiễu loạn tác động lên robot và  $\|\mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\| \leq f_0$  với  $f_0$  hữu hạn. Tác giả đề xuất sử dụng một mạng nơron để bù trừ thành phần  $\mathbf{f}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  với mục đích nâng cao chất lượng điều khiển robot.

Để xây dựng thuật điều khiển thì các tính chất quan trọng sau đây của hệ động lực robot được sử dụng:

1. Ma trận quán tính  $\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q})$  là ma trận đối xứng, khả đảo và xác định dương, đồng thời tồn tại  $m_1$  và  $m_2$  sao cho  $m_1 \mathbf{I} \leq \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) \leq m_2 \mathbf{I}$ .

2. Ma trận biểu diễn lực hướng tâm và lực Coriolis  $\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  bị chặn bởi  $c_b(\mathbf{q})\|\dot{\mathbf{q}}\|^2$  với  $c_b(\mathbf{q}) \in \mathbf{B}^1(S)$ ,  $S \in R^n$ .

3. Ma trận  $(\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) - 2\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}))$  là đối xứng lệch hay:

$$\mathbf{s}^T [\hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) - 2\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})] \mathbf{s} = 0 \text{ với } \forall \mathbf{s} \in R^{n*1} \Rightarrow \mathbf{s}^T \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) \mathbf{s} = 2\mathbf{s}^T \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \mathbf{s}$$

4. Hệ phương trình động lực robot *tuyến tính* với các tham số động lực của robot.

5. Giá trị  $\|\mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\|^2 \leq d_d$ , với  $d_d > 0$ .

Với những tính chất của robot công nghiệp vừa trình bày ở trên, ta thấy rằng tất cả các thành phần trong phương trình động lực học của robot đều thỏa mãn điều kiện giới hạn, theo định lý Stone – Weierstrass [18], [34], [56] ta có thể sử dụng RBFN để xấp xỉ thành phần bất định các tham số của robot trong phương trình (1.11d).

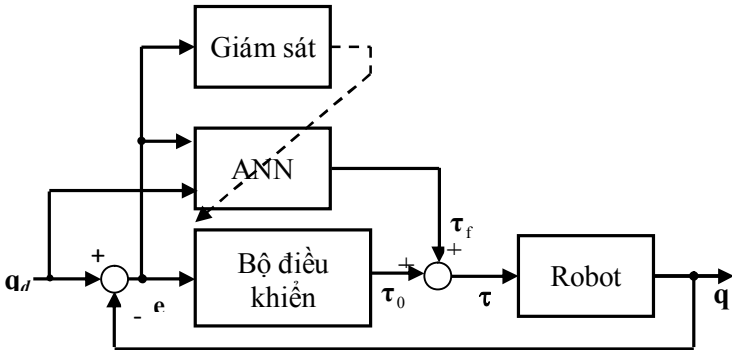
## 1.2 Tổng quan về điều khiển robot sử dụng mạng nơron.

### 1.2.2. Mạng nơron trong điều khiển robot

Có nhiều phương pháp khác nhau sử dụng mạng nơron (ANN) là bộ điều khiển:

Điều khiển trực tiếp đối tượng .

Sử dụng ANN để xác định hệ động lực ngược của hệ robot.



Hình 1.4: Bộ điều khiển phản hồi kết hợp với ANN

Bộ điều khiển sử dụng ANN kết hợp với bộ điều khiển truyền thống như PID, trượt hay tính momen (hình 1.4).

Trong luận án này, tác giả chọn mô hình điều khiển Hình 1.4 và sử dụng mạng hàm bán kính cơ sở (RBFN) để kết hợp với bộ điều khiển phản hồi để xây dựng bộ điều khiển nơron.

### Kết luận chương một:

Việc sử dụng ANN trong điều khiển robot cho phép bù trừ những yếu tố phi tuyến bất định của robot. Trong luận án này, bộ điều khiển robot sử dụng RBFN kết hợp với bộ điều khiển truyền thống được đề xuất để xây dựng bộ điều khiển nơron.

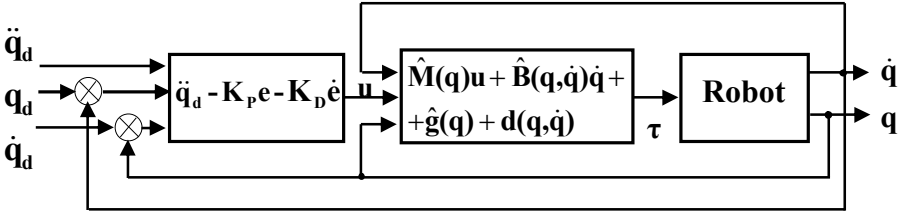
## CHƯƠNG HAI

### XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN ROBOT THEO PHƯƠNG PHÁP TÍNH MOMEN SỬ DỤNG MẠNG HÀM BÁN KÍNH CƠ SỞ

#### 2.1. Phương pháp tính momen

Với mô hình động lực học hệ robot được biểu diễn như phương trình (1.9). Sơ đồ hệ điều khiển theo nguyên lý tính momen được mô tả như Hình 2.1. Dựa trên hình 2.1 ta viết được phương trình:

$$\tau = \hat{M}(q)u + \hat{h}(\dot{q}, q) \quad (2.1)$$



Hình 2.1: Phương pháp điều khiển tính momen

Khi ma trận  $\hat{M}(q)$  và vector  $\hat{h}(q, \dot{q})$  giả thiết được xác định chính xác, hệ thống sẽ là ổn định tiệm cận nếu chọn đúng các hệ số  $K_{Di}$ ,  $K_{Pi}$ . Trong thực tế do tính bất định của mô hình của robot. Các tham số  $\hat{M}(q)$ ,  $\hat{B}(q, \dot{q})$ ,  $\hat{g}(q)$  có thể được mô tả như phương trình (1.10) do đó, luật điều khiển tính momen sẽ gây ra sai số.

## 2.2. Đề xuất sử dụng RBFN để bù các thành phần phi tuyến bất định của robot theo phương pháp tính momen.

Với những lập luận vừa nêu trên, phương trình 2.1 khi đó có thể được biểu diễn dưới dạng :

$$M(q)[\ddot{e} + K_D \dot{e} + K_P e] = \tau_1 - f(q, \dot{q}) \quad (2.12)$$

Trong đó :  $f(q, \dot{q})$  được biểu diễn như phương trình (1.11b)

$f(q, \dot{q}) \in R^{n \times 1}$  trong (1.11b) là tổng hợp các thành phần bất định của hệ động lực, ma sát, nhiễu loạn tác động lên robot.  $\|f(q, \dot{q})\| < f_0$  với  $f_0$  có thể ước lượng được và có thể được xấp xỉ bằng một mạng nơron có cấu trúc như sau:

$$f'(s) = W\sigma + \varepsilon = \hat{f}(s) + \varepsilon \quad (2.17)$$

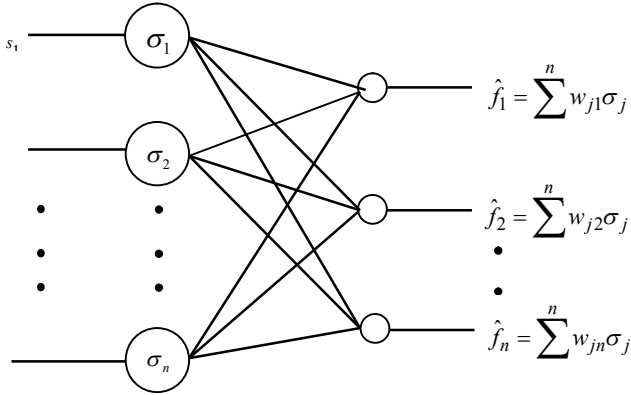
$$\hat{f}(s) = W\sigma \quad (2.18)$$

Trong đó:  $W$  là ma trận trọng số của mạng nơron

$\varepsilon$  là sai số xấp xỉ và bị chặn  $\|\varepsilon\| \leq \varepsilon_0$ .

Mạng nơron xấp xỉ  $f'(s)$  là mạng RBFN thoả mãn các điều kiện của định lý Stone-Weierstrass. Hình 2.2.





Hình 2.2: Mạng RBF xấp xỉ hàm  $\mathbf{f}(\mathbf{s})$

Hàm kích thích trên lớp ẩn là hàm có dạng phân bố Gauss :

$$\sigma_i = \exp - \frac{(s_i - c_i)^2}{\lambda_i^2}$$

Trong đó  $c_j, \lambda_j$  là kỳ vọng và phương sai của hàm phân bố Gauss. Các hệ số  $c_i$  và  $\lambda_i$  được chọn bằng kinh nghiệm.

**Định lý 2.1:** Hệ động lực robot  $n$  bậc tự do (1.9) với mạng nơron (2.18) sẽ bám theo quỹ đạo mong muốn  $\mathbf{q}_d$  với sai số  $\mathbf{e} \rightarrow \mathbf{0}$  nếu ta chọn thuật điều khiển  $\boldsymbol{\tau}$  và thuật học  $\dot{\mathbf{w}}_i$  của mạng nơron như sau:

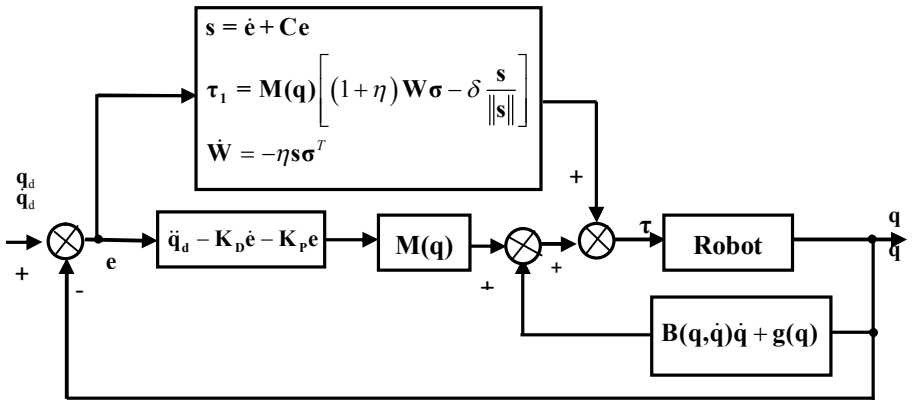
$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\mathbf{q})[\ddot{\mathbf{q}}_d - \mathbf{K}_D \dot{\mathbf{e}} - \mathbf{K}_P \mathbf{e}] + \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) + \mathbf{M}(\mathbf{q}) \left[ (1 + \eta) \mathbf{W} \boldsymbol{\sigma} - \delta \frac{\mathbf{s}}{\|\mathbf{s}\|} \right] \quad (2.19)$$

$$\dot{\mathbf{w}}_i = -\eta \mathbf{s} \sigma_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.20)$$

trong đó các tham số tự chọn  $\mathbf{K}_D = \xi \mathbf{I} + \mathbf{C}$ ,  $\mathbf{K}_P = \xi \mathbf{C}$  là ma trận đối xứng xác định dương,  $\mathbf{I}$  là ma trận đơn vị, các hệ số  $\eta, \delta, \xi > 0$ .

Cấu trúc của hệ điều khiển có thể mô tả theo sơ đồ trên Hình 2.3.

Định lý này được chứng minh bằng phương pháp ổn định Lyapunov đảm bảo tính ổn định tiệm cận toàn cục của hệ thống, thành phần  $\mathbf{s} \|\mathbf{s}\|^{-1}$  là tồn tại và hữu hạn khi  $\mathbf{s} \rightarrow \mathbf{0}$

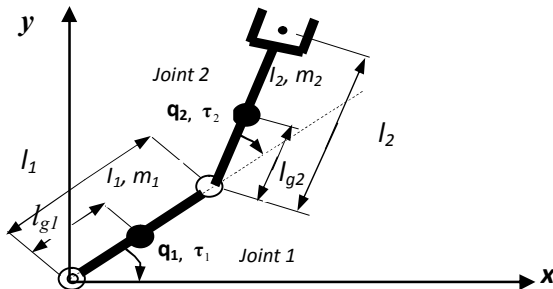


Hình 2.3: Điều khiển robot theo phương pháp tính momen với RBFN

### 2.3. Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp tính momen.

#### 2.3.1. Mô hình robot thân cứng hai bậc tự do.

Để minh chứng thuật điều khiển đề xuất, tác giả đã mô phỏng bài toán chuyển động của robot phẳng hai bậc tự do được mô tả trong Hình 2.4 với các tham số ghi trong Bảng 1 bám theo quỹ đạo trong không gian Đề các.



Hình 2.4: Mô hình Robot 2 bậc tự do

**Bảng 1: Các tham số của robot phẳng hai bậc tự do:**

	<b>Khớp thứ nhất</b>	<b>Khớp thứ hai</b>
Trọng lượng khớp $m_{i_i}$ [kg]	50.0	50.0
Trọng lượng của động cơ $m_{mi}$ [kg]	5.0	5.0
Quán tính của khớp $I_i$ [kg.m <sup>2</sup> ]	10.0	10.0
Độ dài của khớp $l_i$ [m]	1	1
Khoảng cách đến trọng tâm của khớp $l_{gi}$ [m]	0.5	0.5

Phương trình mô tả quỹ đạo chuyển động của robot như sau:

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 0.8 \end{pmatrix} + 0.7 \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} \Delta \mathbf{M} = 10\% \mathbf{M}; \Delta \mathbf{B} = 10\% \mathbf{B}; \Delta \mathbf{g} = 10\% \mathbf{g}$$

$$\text{Với: } \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}; \mathbf{K}_D = \begin{bmatrix} 7 & 0 \\ 0 & 7 \end{bmatrix}; \mathbf{K}_P = \xi \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}$$

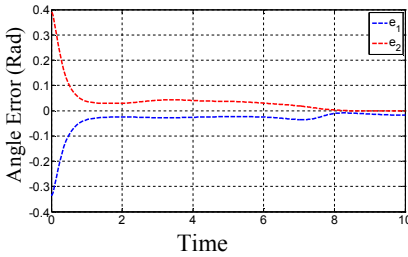
$$\mathbf{d}(t) = \begin{pmatrix} 3 \sin(20t) + 1 \\ 3 \cos(20t) \end{pmatrix} + 6 \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{pmatrix}; \text{ với } \xi = 2$$

Các chỉ tiêu của quá trình quá độ được cho trong Bảng 2.

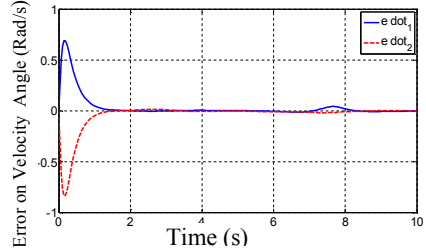
**Bảng 2: Yêu cầu chất lượng quá trình điều chỉnh:**

<b>Các chỉ tiêu của quá trình quá độ</b>	<b>Giá trị giới hạn</b>	<b>Đơn vị</b>
Thời gian điều chỉnh (T)	10	Sec
Thời gian thiết lập (T <sub>C</sub> )	≤ 3	Sec
Độ quá chỉnh (O <sub>C</sub> )	≤ 20% giá trị thiết lập (Q <sub>C</sub> )	
Số lần dao động (N)	≤ 4	
Momen giới hạn trên khớp 1	-2,000.0 ≤ τ <sub>1</sub> ≤ +2,000.0	N.m
Momen giới hạn trên khớp 2	-800.0 ≤ τ <sub>1</sub> ≤ +800.0	N.m
Giới hạn tốc độ biến thiên momen trên khớp 1	±1,500.0	N.m/s
Giới hạn tốc độ biến thiên momen trên khớp 2	± 500.0	N.m/s

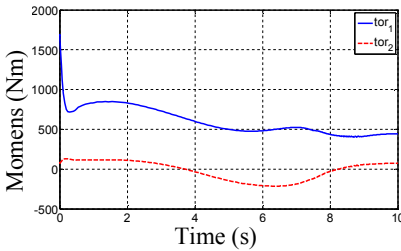
Sử dụng Matlab Simulink ta có kết quả mô phỏng như sau:



Hình 2.5a: Sai lệch vị trí góc của khớp 1 và khớp 2 trong không gian trực



Hình 2.5b: Sai lệch vận tốc góc của khớp 1 và khớp 2 trong không gian trực



Hình 2.5c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2

Sau đây ta sẽ mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp tính momen có sử dụng RBFN bù trừ các thành phần phi tuyến bất định của robot để so sánh với kết quả mô phỏng vừa thực hiện.

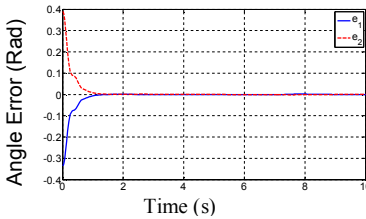
### 2.3.2 Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp tính momen khi sử dụng RBFN để bù các thành phần phi tuyến bất định.

Ta chọn các tham số của robot và điều kiện mô phỏng như khi chưa sử dụng mạng nơron.

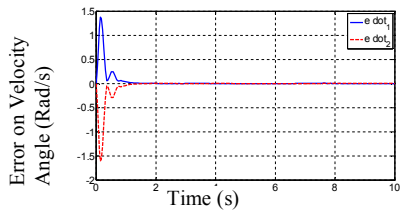
Với  $\xi = 2$ ;  $\delta = 3$ ;  $\eta = 10$

Với các tham số của hàm Gauss của RBFN được chọn như sau:

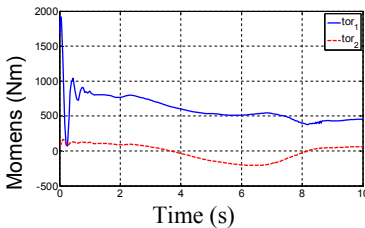
$$\lambda_1 = \lambda_2 = 10; \quad c_1 = 0.1 ; \quad c_2 = 0.3 .$$



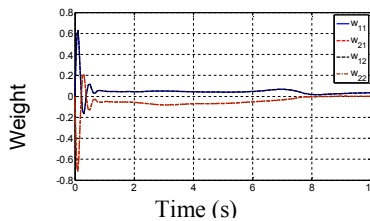
Hình 2.6a: Sai lệch vị trí góc của khớp 1 và khớp 2 trong không gian trực



Hình 2.6b: Sai lệch vận tốc góc của khớp 1 và khớp 2 trong không gian trực



Hình 2.6c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 2.6d: Thay đổi trọng số của mạng nơron trong quá trình học

**Nhận xét và so sánh:** Do sử dụng RBFN để bù các yếu tố bất định nên chất lượng điều khiển tốt hơn rất nhiều so với trường hợp điều khiển bằng mô hình tính momen truyền thống. Điều đó cho phép khẳng định rằng bộ điều khiển theo phương pháp tính momen sử dụng RBFN đã hoạt động như mong muốn và cải thiện được chất lượng của quá trình điều khiển.

Trong quá trình mô phỏng nhận thấy: Với các giá trị  $\eta$  khác nhau sẽ nhận được chất lượng điều khiển khác nhau. Như vậy, sẽ tồn tại một hệ số học  $\eta$  tối ưu đảm bảo chất lượng điều khiển là tốt nhất. Tác giả đề xuất bài toán toán tìm hệ số học  $\eta$  tối ưu cho RBFN bằng thuật di truyền (GA).

#### 2.4. Sử dụng thuật di truyền để tối ưu hệ số học của RBFN.

### 2.4.1 Xác định hàm thích ứng khi tối ưu hệ số học của RBFN trong bài toán điều khiển robot theo phương pháp tính momen.

Ở bài toán đang khảo sát, ta cần tìm hệ số học ( $\eta_j$ ) của RBFN để sao cho thời gian thiết lập ( $T_c$ ), độ quá điều chỉnh ( $O_c$ ), số lần dao động ( $N$ ) đạt các chỉ tiêu về chất lượng điều khiển, đồng thời tại thời điểm  $T_c$  giá trị ước lượng theo hàm thích ứng đạt được các yêu cầu đặt ra của bài toán điều khiển.

Giá trị ước lượng theo hàm thích ứng của cá thể  $\eta_j$  ( $j = 1 \div r$ ) trong tập hợp mẫu của GA được xác định như sau:

$$F(\eta_j, \mathbf{e}(T_c), O_c, N) = \begin{cases} 0 & \text{Nếu không đạt chỉ tiêu của quá trình quá độ} \\ F_j(\mathbf{e}(T_c)) & \text{Nếu đạt chỉ tiêu của quá trình quá độ} \end{cases} \quad (2.31)$$

$F(\eta_j, \mathbf{e}(T_c))$ : giá trị ước lượng theo hàm thích ứng của cá thể thứ  $j$  ( $\eta_j$ ) tại thời điểm  $T_c$ .

$$F_j(\mathbf{e}(T_c)) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{m=0}^k (\mathbf{e}_i^{(m)})^2}} \geq F_0 \quad (2.32)$$

$i$  là thứ tự các khớp của robot,  $m$  là bậc đạo hàm của sai lệch  $\mathbf{e}$ .

Quá trình tiến hóa sẽ dừng lại khi ít nhất có một cá thể  $\eta_j$  có hàm thích ứng đạt được các điều kiện (2.29) và (2.30) với  $F_0$  được cho trước tùy theo yêu cầu về độ chính xác của từng trường hợp cụ thể, và khi đó  $\eta_j$  sẽ là giá trị tốt nhất tìm được.

### 2.4.2. Sử dụng GA tìm hệ số học tối ưu của RBFN khi điều khiển robot theo phương pháp tính momen.

Hàm thích ứng trong trường hợp này được xác định theo (2.29) và (2.30) như sau:

$$F(\eta_j, \mathbf{e}(T_c)) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } T_c > 3 \\ 0 & \text{nếu } O_c > 20\% Q_c \\ 0 & \text{nếu } N > 4 \\ F_j(\mathbf{e}(T_c)) & \text{nếu khác} \end{cases}$$

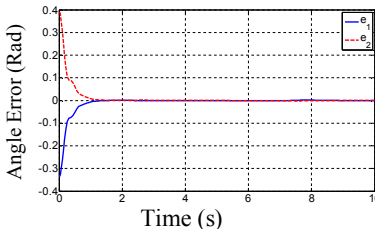
$$\text{Và } F_j(\mathbf{e}(T_c)) = \frac{1}{\sqrt{e_1^2 + e_2^2 + \dot{e}_1^2 + \dot{e}_2^2}} \geq 50$$

Các tham số của GA được chọn như sau:

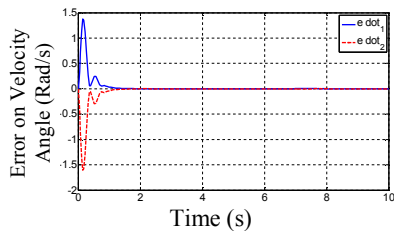
Tỷ lệ liên kết chéo ( $P_c$ ) = 0.5; Tỷ lệ biến đổi ( $P_m$ ) = 0.05; Kích thước của tập hợp ( $P_{size}$ )  $r = 100$ , giá trị chặn dưới của hàm thích ứng  $\geq 50$ .

Thực hiện tối ưu bằng GA với hệ số thang đo là 1 và sau 120 thế hệ ta tìm được 1 giá trị tối ưu là 1.0, thỏa mãn được tất cả các yêu cầu đã đặt ra trong Bảng 2.

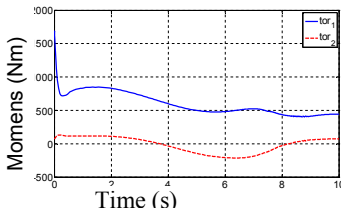
Ta có kết quả mô phỏng như sau:



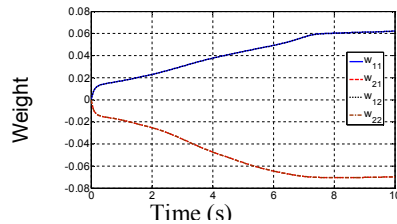
Hình 2.9a: Sai lệch vị trí góc của khớp 1 và khớp 2 trong không gian trục



Hình 2.9b: Sai lệch vận tốc góc khớp 1 và khớp 2 trong không gian trục



Hình 2.9c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 2.9d: Thay đổi trọng số của mạng nơron trong quá trình học

**Nhận xét:** So sánh kết quả thu được trên hình 2.9a – 2.9d và kết quả mô phỏng nhận được trên các hình 2.6a – 2.6d ta thấy khi hệ số học chưa được tối ưu, momen ban đầu tác động lên động cơ đòi hỏi gần 2,000.0 Nm và có tốc độ biến thiên > 1,500.0 N.m/s. Sử dụng GA xác định được hệ số học tối ưu thì ( $\tau_1 < 2,000$  N.m) nằm trong dải cho phép và độ biến thiên < 1,500.0 N.m/s. Đồng thời sai số khi hệ đạt trạng thái xác lập cũng giảm đi rất nhiều.

### **Kết luận chương 2:**

Chất lượng của điều khiển theo phương pháp tính momen phụ thuộc rất nhiều vào việc xác định các giá trị ước lượng  $\mathbf{M}$  và  $\mathbf{h}$  ( $\hat{\mathbf{M}} \neq \mathbf{M}$  ;  $\hat{\mathbf{h}} \neq \mathbf{h}$ ). Việc dùng RBFN để bù các thành phần không xác định của robot cho phép nâng cao được chất lượng điều khiển. Kết quả mô phỏng đối chứng giữa hai mô hình điều khiển tính momen truyền thống và mô hình điều khiển có sử dụng RBFN và tiếp tục là sử dụng GA để tối ưu hệ số học của RBFN để cho chất lượng điều khiển tốt hơn đã chứng tỏ tính đúng đắn của các đề xuất được nêu ra trong luận án.

## **CHƯƠNG BA**

### **XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN ROBOT THEO NGUYÊN LÝ TRƯỢT SỬ DỤNG MẠNG HÀM BÁN KÍNH CƠ SỞ**

#### **3.2 Nguyên lý của điều khiển bằng phương pháp trượt.**

Bản chất của điều khiển bằng phương pháp trượt có thể được mô tả tóm tắt qua Hình 3.1.

Thông thường mặt phẳng trượt được chọn dưới dạng PD:

$$\mathbf{s}(t) = \dot{\mathbf{e}} + \mathbf{C}\mathbf{e} \quad (3.1)$$

Đối với một hệ robot có phương trình động lực học được mô tả như phương trình (1.11), thì bản chất của phương pháp điều khiển trượt đối với hệ này là tìm tín hiệu điều khiển  $\boldsymbol{\tau}$  thích hợp sao cho hệ (3.1) là ổn định tiệm cận, nghĩa là  $\mathbf{s}(t) \rightarrow \mathbf{0}$ .



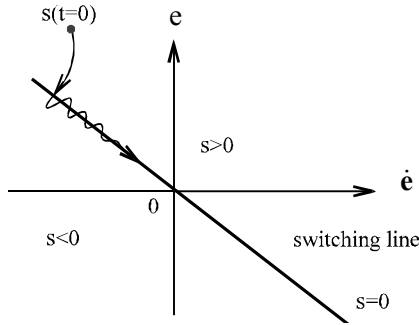
$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{Q}^{-1} \left[ \boldsymbol{\tau}_{eq} + \mathbf{K} \operatorname{sgn}(\mathbf{s}) \right] \quad (3.8)$$

Với  $\mathbf{K}$  là ma trận  $n * n$  xác định dương

$\boldsymbol{\tau}_{eq}$  là tín hiệu điều khiển tương đương được xác định như sau:

$$\boldsymbol{\tau}_{eq} = \ddot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{C}\dot{\mathbf{e}} - \mathbf{v}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \quad (3.9)$$

Với:  $\mathbf{v}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = -\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{h}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  và  $\mathbf{Q}(\mathbf{q}) = \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{q})$



Hình 3.1: Đường trượt trên mặt phẳng  $e - \dot{e}$

Tín hiệu điều khiển  $\boldsymbol{\tau}$  theo (3.9) sẽ có mặt thành phần không liên tục  $\mathbf{K}\operatorname{sgn}(\mathbf{s})$  nên hệ thống khi làm việc sẽ xuất hiện những dao động không mong muốn có tần số cao xung quanh mặt trượt, biên độ phụ thuộc vào độ lớn của ma trận  $\mathbf{K}$ . Hiện tượng đó gọi là *chattering* làm ảnh hưởng đến chất lượng của điều khiển.

### 3.3 Đề xuất mô hình điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng RBFN.

#### 3.3.1 Đề xuất mô hình điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng RBFN với mặt trượt PD.

Với dẫn dắt như ở mục 2.1 phương trình (1.11d) có thể được viết lại dưới dạng:

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\tau}_0 + \mathbf{f}(\mathbf{s}) \quad (3.14)$$

Ta có thể chọn được một mạng nơron nhân tạo (ANN) để xấp xỉ hàm  $\mathbf{f}(\mathbf{s})$  ta chọn cấu trúc mạng như sau:

$$\mathbf{f}(\mathbf{s}) = \mathbf{W}\boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3.15a)$$

Hay 
$$\mathbf{f}(\mathbf{s}) = \hat{\mathbf{f}} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3.15b)$$

trong đó:  $\hat{\mathbf{f}} = [\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_n]^T = \mathbf{W}\boldsymbol{\sigma}$  là thành phần xấp xỉ của  $\mathbf{f}(\mathbf{s})$ ,  $\boldsymbol{\varepsilon}$  là sai số của phép xấp xỉ.

Với  $\|\mathbf{f}(\mathbf{s})\| < f_0$  ta có thể xác định được giới hạn  $\varepsilon_0$  của  $\boldsymbol{\varepsilon}$ :  $\|\boldsymbol{\varepsilon}\| \leq \varepsilon_0$ .  
Đặt  $\mathbf{w}_i$  là vector hàng thứ  $i$  của ma trận  $\mathbf{W}$  ta có:

$$\hat{\mathbf{f}} = \mathbf{W}\boldsymbol{\sigma} = [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_n] \boldsymbol{\sigma} \quad (3.16)$$

Đây là cấu trúc mạng hàm bán kính cơ sở, cấu trúc này đã được chứng minh là thoả mãn định lý Stone-Weierstrass. Chọn hàm kích hoạt cho lớp ẩn là hàm Gauss như dẫn dắt ở Mục 2.2 ta có cấu trúc mạng như Hình 2.2, Mục 2.2, Chương 2.

**Định lý 3.1:** Hệ động lực robot  $n$  bậc tự do (1.9) với mạng nơron (3.16) và mặt trượt (3.1) sẽ bám theo quỹ đạo mong muốn  $\mathbf{q}_d$  với sai số  $\mathbf{e} = (\mathbf{q}_d - \mathbf{q}) \rightarrow \mathbf{0}$  nếu ta chọn thuật điều khiển moment  $\boldsymbol{\tau}$  và thuật học  $\dot{\mathbf{w}}_i$  của mạng nơron như sau:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{g} - \mathbf{M}\mathbf{C}\dot{\mathbf{e}} - \mathbf{B}\mathbf{C}\mathbf{e} - \mathbf{K}\mathbf{s} - \gamma \|\mathbf{s}\|^{-1} + (1 + \eta)\mathbf{W}\boldsymbol{\sigma} \quad (3.17)$$

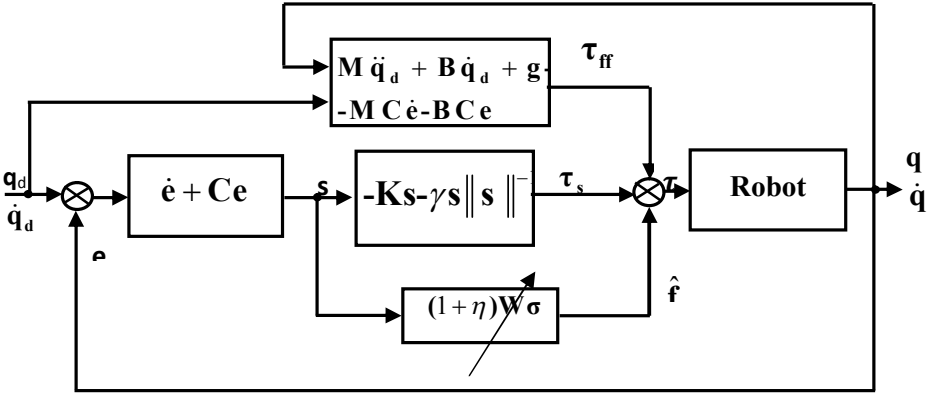
$$\dot{\mathbf{w}}_i = -\eta \mathbf{s} \sigma_j \quad (3.18)$$

trong đó các tham số tự chọn  $\mathbf{K} = \mathbf{K}^T > \mathbf{0}$  là ma trận đối xứng xác định dương,  $\eta, \gamma > 0$ .

Cấu trúc của hệ điều khiển có thể mô tả theo sơ đồ trên Hình 3.2.

Định lý này được chứng minh bằng nguyên lý ổn định Lyapunov đảm bảo ổn định toàn cục và thành phần  $\mathbf{s} \|\mathbf{s}\|^{-1}$  tồn tại khi  $\mathbf{s} \rightarrow \mathbf{0}$ .

Với mục đích làm phong phú hơn các thuật điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng RBFN. Tác giả tiếp tục đề xuất mô hình bộ điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng RBFN với mặt trượt PID.



Hình 3.2: Sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển trượt sử dụng mạng nơron bù các thành phần phi tuyến bất định của robot

### 3.3.2 Đề xuất mô hình điều khiển robot theo phương pháp trượt sử dụng RBFN với mặt trượt PID.

Trong trường hợp này, mặt trượt là dạng tích phân (PID):

$$s(t) = \dot{e} + C_1 e + C_2 \int_0^t e dt \quad (3.30)$$

Phương trình (3.33) cho thấy quan hệ nhất quán giữa  $(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{e}, \dot{e})$  và  $s$ . Do đó phương trình (1.11d) có thể viết như phương trình (3.14).

Cấu trúc của hệ điều khiển có thể mô tả theo sơ đồ trên Hình 3.3.

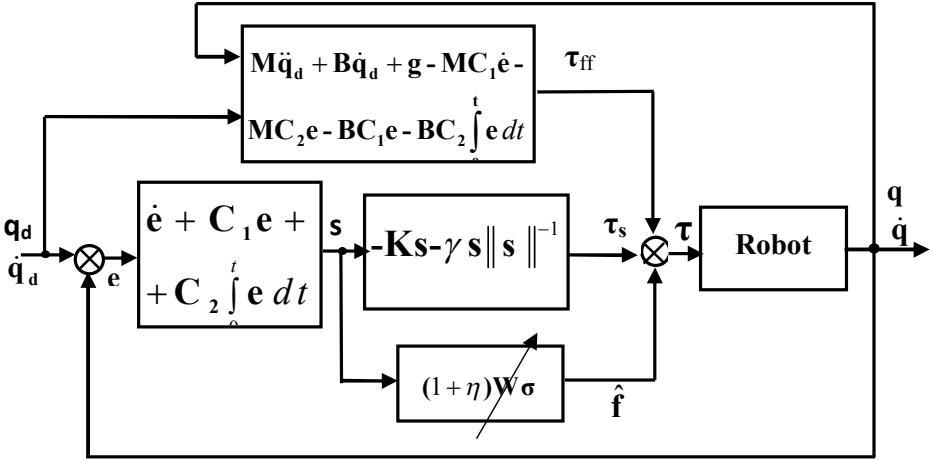
**Định lý 3.2:** Hệ động lực robot  $n$  bậc tự do (1.9) với mạng RBFN (3.16) và mặt trượt (3.30) sẽ bám theo quỹ đạo mong muốn  $\mathbf{q}_d$  với sai số  $\mathbf{e} = (\mathbf{q}_d - \mathbf{q}) \rightarrow \mathbf{0}$  và  $\dot{\mathbf{e}} = (\dot{\mathbf{q}}_d - \dot{\mathbf{q}}) \rightarrow \mathbf{0}$  nếu ta chọn thuật điều khiển (momen)  $\boldsymbol{\tau}$  và thuật học  $\dot{\mathbf{w}}_i$  của mạng nơron như sau:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{g} - \mathbf{M}\mathbf{C}_1\dot{e} - \mathbf{M}\mathbf{C}_2e - \mathbf{B}\mathbf{C}_1\dot{e} - \mathbf{B}\mathbf{C}_2e - \mathbf{B}\mathbf{C}_2\int_0^t e dt - \mathbf{K}s - \gamma_s \|s\|^{-1} + (1 + \eta)\mathbf{W}\boldsymbol{\sigma} \quad (3.31)$$

$$\dot{\mathbf{w}}_i = -\eta s \boldsymbol{\sigma}_j \quad (3.32)$$

trong đó các tham số tự chọn  $\mathbf{K} = \mathbf{K}^T > \mathbf{0}$  là ma trận đối xứng xác định dương,  $\eta, \gamma > 0$ .

Với dẫn dắt như mục 3.3.1 định lý này được chứng minh bằng nguyên lý ổn định Lyapunov đảm bảo ổn định toàn cục và thành phần  $\mathbf{s} \|\mathbf{s}\|^{-1}$  tồn tại khi  $\mathbf{s} \rightarrow \mathbf{0}$ .



Hình 3.3: Sơ đồ cấu trúc hệ điều khiển trượt sử dụng mạng RBF bù các thành phần phi tuyến bất định của robot

### 3.4 Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp trượt.

#### 3.4.1 Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp trượt truyền thống.

Với mô hình robot và các giả định được chọn như ở mục 2.3.1, mặt trượt (3.1) với tín hiệu điều khiển được xác định như (3.31). Chọn

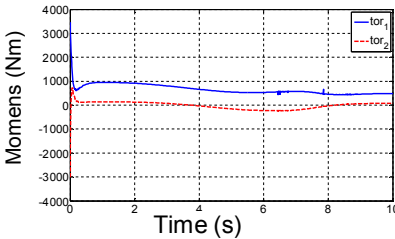
$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 1000 \end{bmatrix}$ ; Độ bất định của robot được chọn tới 30% giá trị thật:

$$\Delta\mathbf{M} = 30\%\mathbf{M}; \Delta\mathbf{B} = 30\%\mathbf{B}; \Delta\mathbf{g} = 30\%\mathbf{g}$$

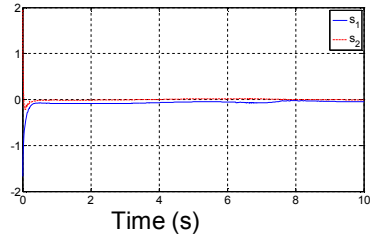
Thành phần ma sát và nhiễu loạn được giả thiết :

$$\mathbf{d}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{d}(\mathbf{t}) = \begin{pmatrix} 3 \sin(20t) + 1 + 5\dot{q}_1 \\ \cos(20t) + 3\dot{q}_2 \end{pmatrix}$$

Kết quả mô phỏng hoạt động của robot bằng phương pháp trượt không sử dụng mạng nơron như sau:



Hình 3.4c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 3.4d: Thay đổi của mặt trượt s

### 3.4.2 Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp trượt khi sử dụng RBFN học theo mặt trượt PD.

Với các tham số và điều kiện như khi chưa sử dụng mạng nơron.

Ta chọn các tham số điều khiển cho moment  $\tau$  và thuật chỉnh trọng mạng nơron  $\dot{\mathbf{w}}_i$  cho robot như (3.17) và (3.18).

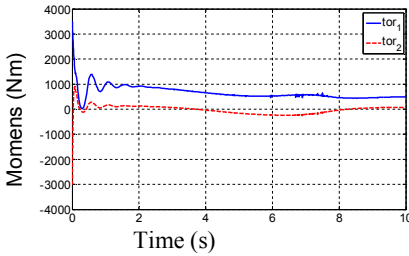
Ta chọn  $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 1000 \end{bmatrix}$ ,  $\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}$

Với  $\gamma = 20$ ; hệ số học  $\eta = 80$ ;

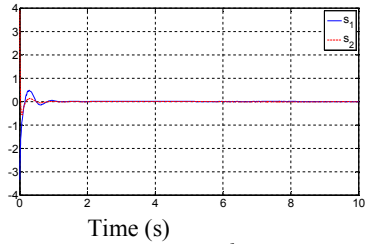
Với các tham số của hàm Gauss của mạng nơron:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 10; \quad c_1 = 0.1; \quad c_2 = 0.3.$$

Ta có kết quả mô phỏng hoạt động của robot khi sử dụng mạng RBFN học theo mặt trượt PD như sau:



Hình 3.5c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 3.5e: Thay đổi của mặt trượt  $s$  trong quá trình học

**Nhận xét, so sánh:** Sai lệch theo vị trí và vận tốc góc cũng như mặt trượt  $s$  nhỏ hơn so với điều khiển trượt truyền thống. Momen ban đầu tác động lên khớp 1 và khớp 2 và tốc độ biến thiên của momen là nằm trong giá trị cho phép của động cơ. Nghĩa là RBFN khi tham gia vào bộ điều khiển trượt đã làm giảm đáng kể *chattering* đồng thời làm giảm đáng kể năng lượng điều khiển ở quá trình quá độ.

### 3.4.3 Mô phỏng điều khiển robot theo phương pháp trượt khi sử dụng RBFN học theo mặt trượt PID.

Với các tham số và điều kiện như khi chưa sử dụng mạng nơron.

Ta chọn các tham số điều khiển cho moment  $\tau$  và thuật chỉnh trọng mạng nơron  $\dot{w}_i$  cho robot như (3.31) và (3.32).

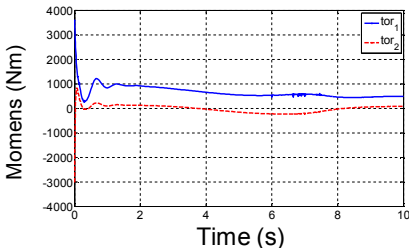
$$\text{Chọn } \mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 1000 \end{bmatrix}; \quad \gamma = 20; \quad \eta = 100;$$

Với các tham số hàm Gauss của mạng nơron:

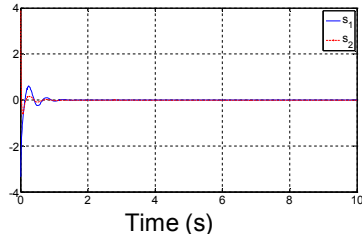
$$\lambda_1 = 1; \quad \lambda_2 = 2; \quad c_1 = 0.01; \quad c_2 = 0.02$$

$$\text{Ma trận } \mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2 \text{ được chọn là: } \mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 10 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C}_2 = \begin{bmatrix} 25 & 0 \\ 0 & 25 \end{bmatrix}.$$

Ta có kết quả mô phỏng như sau:



Hình 3.6c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 3.6e: Thay đổi của mặt trượt  $s$  trong quá trình học

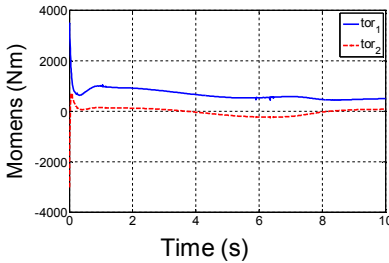
**Nhận xét, so sánh:** Hệ xuất hiện dao động so với bộ điều khiển trượt truyền thống và bộ điều khiển trượt kết hợp mạng RBFN học theo mặt trượt PD. Nhưng giá trị ban đầu của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2 giảm đáng kể so với hai trường hợp trước. Điều đó phù hợp với lập luận ở mục 3.2.2 là khi đưa thành phần tích phân vào mặt trượt sẽ làm cho, hệ dao động nhiều hơn so với hệ khi dùng mặt trượt PD. Bù lại khi đó momen tác động lên hệ sẽ có dải biến động hẹp hơn. Do đó, tùy theo yêu cầu và tham số của hệ robot đối với từng bài toán cụ thể, ta có thể lựa chọn mặt trượt PD hay mặt trượt PID sao cho phù hợp.

### 3.5. Sử dụng GA để tối ưu hệ số học $\eta$ của RBFN trong bộ điều khiển trượt.

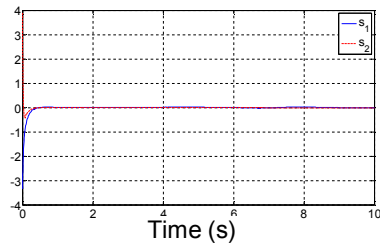
Với mô hình bài toán điều khiển theo phương pháp trượt mô tả ở mục 3.4.2 và 3.4.3, ta sử dụng GA để nâng cao chất lượng điều khiển và tối ưu hệ số học  $\eta$  cho trường hợp bộ điều khiển sử dụng mặt trượt PD và mặt trượt PID.

#### 3.5.1 Sử dụng GA để tối ưu hệ số học $\eta$ của RBFN với mặt trượt PD.

Sau 44 thế hệ và ở lần tối ưu đầu tiên, với hệ số thang đo là 1, ta tìm được giá trị tối ưu của hệ số học là: 20, và đảm bảo được tất cả các yêu cầu về chất lượng điều khiển được đặt ra trên Bảng 2, Mục 2.4.2.



Hình 3.7c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2

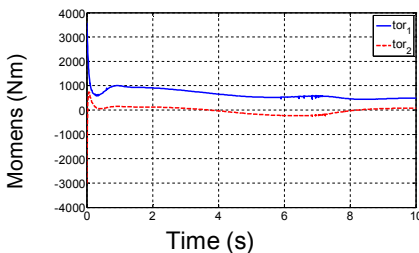


Hình 3.7e: Thay đổi của mặt trượt  $s$  trong quá trình học

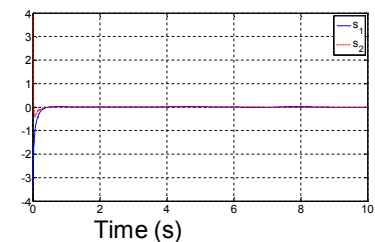
**Nhận xét, so sánh:** So sánh kết quả thu được trên hình 3.7c – 3.7e và kết quả mô phỏng nhận được trên các hình 3.5c – 3.5e ta thấy đường trượt hình 3.7e tiến đến “không”, không còn dao động trong quá trình quá độ, momen tác động lên khớp trên hình 3.7c đảm bảo giới hạn cho phép. Như vậy sử dụng GA cho phép tìm được một hệ số học tốt nhất đảm bảo cải thiện chất lượng điều khiển.

### 3.5.2 Sử dụng GA để tối ưu hệ số học $\eta$ của RBFN với mặt trượt PID.

Sử dụng GA để tối ưu hệ số học  $\eta$  với hàm thích ứng được chọn theo Mục 3.4.3. Sau 30 thế hệ và ở lần tối ưu đầu tiên, hệ số thang đo là 1, ta tìm được giá trị tối ưu của hệ số học là: 25, và đảm bảo được tất cả các yêu cầu về chất lượng điều khiển được đặt ra trên Bảng 2.



Hình 3.8c: Biểu diễn của momen tác động lên khớp 1 và khớp 2



Hình 3.8e: Thay đổi của mặt trượt  $s$  trong quá trình học



**Nhận xét, so sánh:** So sánh kết quả thu được trên hình 3.8c – 3.8e và kết quả mô phỏng nhận được trên các hình 3.6c – 3.6e ta thấy chất lượng điều khiển của mô hình điều khiển đã được thay đổi tốt hơn. Thời gian tiến đến không của sai lệch vị trí và vận tốc góc trong trường hợp hệ số học tối ưu tìm được là 25 nhanh hơn hơn so với trường hợp tự chọn hệ số học, và *chattering* gần như bị triệt tiêu. Tác động của momen ban đầu cũng giảm đáng kể khi hệ số học chưa tối ưu. Kết quả đó minh chứng cho tính đúng đắn mà tác giả đã đề xuất: sử dụng GA để tối ưu hệ số học của mạng RBF nhằm nâng cao chất lượng của điều khiển, đồng thời đánh giá chất lượng của quá trình điều khiển qua việc xác định giá trị ước lượng của các mẫu học theo hàm thích ứng.

### **Kết luận chương 3:**

Mô hình điều khiển được đề xuất trong cả hai trường hợp mặt trượt PD và PID đã giảm được đáng kể *chattering*. Sự có mặt của RBFN trong thành phần của bộ điều khiển trượt vẫn đảm bảo được tính ổn định toàn cục của hệ. Tùy thuộc vào yêu cầu của bài toán điều khiển, các tham số của robot ta có thể xây dựng các bộ điều khiển trượt theo mặt trượt PD hay mặt trượt PID sao cho phù hợp.

Việc sử dụng GA để tìm hệ số học tối ưu giúp cho quá trình học của mạng RBFN nhanh hơn và đảm bảo chất lượng của quá trình điều khiển.

### **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Sử dụng RBFN trong thành phần bộ điều khiển trượt và tính momen đã bù trừ được nhiễu và các yếu tố bất định các tham số của robot có tác dụng nâng cao chất lượng điều khiển. RBFN có khả năng học online có tác dụng bù ngay cả khi nhiễu và các tham số của robot thay đổi theo thời gian. Đồng thời tác giả cũng sử dụng các ứng dụng của GA để đánh giá chất lượng của quá trình điều khiển và tối ưu hệ số

học của RBFN nhằm nâng cao hơn nữa chất lượng của quá trình điều khiển. Các mô phỏng với nhiều mức độ bất định của robot và nhiễu tác động cũng như sự lựa chọn các tham số và thuật chỉnh trọng RBFN khác nhau, ta thấy robot hai bậc tự do luôn bám sát quỹ đạo mong muốn trong không gian Đề các. Thành công của luận án góp phần làm phong phú hơn nữa các hướng nghiên cứu về robot trên thế giới và ở Việt nam.

**Luận án đã có những đóng góp mới như sau:**

1. Đề xuất bộ điều khiển sử dụng RBFN kết hợp với điều khiển trượt với mặt trượt PD và mặt trượt PID. Chứng minh tính ổn định và hội tụ của mô hình đã đề xuất bằng phương pháp ổn định Lyapunov. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong các công trình [3], [4], [6], [7].
2. Đề xuất bộ điều khiển sử dụng RBFN kết hợp với điều khiển theo phương pháp tính momen. Chứng minh tính ổn định và hội tụ của mô hình bằng phương pháp ổn định Lyapunov. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong công trình [5].
3. Đề xuất giải pháp tối ưu hệ số học của RBFN bằng GA, xây dựng các chương trình mô phỏng. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong các công trình [1], [2].

**Đề xuất hướng nghiên cứu phát triển của luận án.**

1. Đưa mô hình đề xuất vào thí nghiệm trên robot thực tế trong phạm vi phòng thí nghiệm, thực hiện đo đạc và tính toán các trạng thái của robot trong quá trình điều khiển sử dụng RBFN.
2. Phát triển phương pháp sử dụng mạng nơron học on-line đề xuất cho các bài toán điều khiển robot di động có nhiều tham số bất định thay đổi nhanh theo thời gian.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. *Optimal Neuro Control of Robot Manipulator* – 2011, 11th International Conference on Control, Automation and Systems Oct. 26-29, 2011 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea, Proceedings include in IEEE Xplore and EI compendex, pp 242– 247.
2. *Điều khiển robot với mạng hàm bán kính cơ sở có hệ số học được tối ưu bằng giải thuật di truyền*, Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 5, Thành phố Hồ Chí Minh, 22-23 tháng 10 năm 2010, trang 277 – 282. Tạp chí Tự động hóa ngày nay số 126 tháng 5 năm 2011, trang 14 – 20.
3. *Robust PID Sliding Mode Control of Robot Manipulators with On-line Learning Neural Networks*, Proceeding of European Control Conference 2009, 23 - 26 August 2009 Budapest Hungary, pp. 2187-2192.
4. *Robust Neural Sliding Mode Control of Robot Manipulators*, Proceeding of 2<sup>nd</sup> Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation, March 23-25 2009, Zarzis, Tunisia, pp. 210 -215 (API Conference Proceedings 1107).
5. *Điều khiển robot n bậc tự do theo phương pháp tính mô men sử dụng mạng nơron xấp xỉ các đại lượng bất định*, Tạp chí Nghiên cứu KH và Công nghệ Quân sự, số đặc biệt, tháng 3 năm 2009, trang 73 - 82.
6. *Điều khiển robot n bậc tự do với mặt trượt tích phân và mạng nơron xấp xỉ các đại lượng phi tuyến bất định*, Tạp chí Khoa học và kỹ thuật Học viện KTQS, số 127, tháng 4 năm 2009, trang 36-45.
7. *Điều khiển robot theo nguyên lý trượt sử dụng mạng nơron*, Hội nghị Cơ điện tử toàn quốc lần thứ 4, Đà Nẵng 24-26/10/2008, trang 190 - 200. Tạp chí Tin học và điều khiển học, tập 24 số 3 năm 2008, trang 236 - 246.

