

ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT THÍCH NGHI ROBOT DỰA TRÊN TÍN HIỆU QUAN SÁT NHIỄU

Hoàng Sơn¹, Nguyễn Thị Phụng¹

¹Trường Đại học Lâm nghiệp

TÓM TẮT

Bài báo này đưa ra phương pháp điều khiển trượt thích nghi (Adaptive Sliding Mode Control-ASMC) dựa trên tín hiệu quan sát nhiễu (Disturbance Observer-DOB) để áp dụng nó vào việc điều khiển quỹ đạo chuyển động của cánh tay robot khi bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài trong quá trình làm việc. Khi robot làm việc ngoài thực tế, việc chịu tác động của các nhiễu bên ngoài là không tránh khỏi, hơn nữa giá trị của nhiễu thường rất khó xác định. Để giải quyết vấn đề điều khiển chính xác quỹ đạo chuyển động của robot trong khi không xác định được giá trị tác động của nhiễu bên ngoài, thông qua phương pháp nghiên cứu lý thuyết, phân tích thực nghiệm và chứng minh qua mô phỏng, chúng tôi đề xuất một bộ điều khiển trượt thích nghi (ASMC) dựa trên giá trị quan sát nhiễu (DOB), bộ điều khiển này bao gồm một thuật toán thích nghi để ước tính giới hạn trên của nhiễu mà không cần phải biết trước về nhiễu từ môi trường. Tính ổn định của bộ điều khiển trượt thích nghi (ASMC) do nghiên cứu đề xuất được chứng minh thông qua định lý Lyapunov. Kết quả mô phỏng bộ điều khiển trượt thích nghi (ASMC) ứng dụng cho cánh tay máy tiếp liệu trong gia công cơ khí đã chứng minh tính chính xác của bộ điều khiển trượt thích nghi (ASMC) do nghiên cứu đề xuất trong bài báo.

Từ khóa: Điều khiển trượt thích nghi, nhiễu môi trường, quan sát nhiễu.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu về điều khiển quỹ đạo chuyển động của cánh tay robot khi làm việc trong môi trường thực đã thu hút được sự quan tâm của thế giới. Tuy nhiên, việc điều khiển chuyển động robot còn gặp nhiều khó khăn như: mô hình động học mang tính phi tuyến cao; sai số mô hình động lực học lớn; gặp phải nhiễu tác động trong quá trình làm việc, sau đây chúng ta gọi chung các yếu tố này là nhiễu. Do đó, rất cần một bộ điều khiển có thể đáp ứng được yêu cầu triệt tiêu được ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu này.

Nghiên cứu này tập trung thiết kế một bộ điều khiển trượt thích nghi (ASMC) đáp ứng các yêu cầu cấu trúc đơn giản, có khả năng chống lại ảnh hưởng của nhiễu (UAD) mà không cần biết trước giá trị của các nhiễu. Cụ thể, ý tưởng bắt đầu từ phân tích về các đặc tính của nhiễu để đưa ra khái niệm mới về giới hạn trên của nhiễu. Bộ điều khiển ASMC chúng tôi đề xuất có cấu trúc đơn giản hơn so với việc sử dụng ba luật thích nghi trong tài liệu (Mezghani Ben Romdhane Neila *et al*, 2011; Sze San Chong *et al*, 1996; Man Zhihong *et al*, 1997) trong khi vẫn duy trì được độ chính xác trong điều khiển. Kết quả mô phỏng chứng minh tính hiệu quả và tính

khả thi của bộ điều khiển ASMC được chúng tôi thiết kế.

Bài viết này được chia thành các phần sau:

- Phân tích động lực học của robot n bậc tự do (n -DOF) khi có tác động của các nhiễu;
- Thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi dựa trên giá trị quan sát nhiễu;
- Kết quả mô phỏng;
- Kết luận.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là phương pháp điều khiển robot ở chế độ trượt thích nghi dựa trên tín hiệu quan sát nhiễu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: tìm hiểu qua giáo trình sách báo để tiến hành các nội dung nghiên cứu lý thuyết sau: Phân tích động lực học robot n -DOF khi có tác động của nhiễu, thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi dựa trên giá trị quan sát nhiễu từ đó áp dụng vào điều khiển quỹ đạo của cánh tay robot khi bị chịu tác động nhiễu bên ngoài.

Phương pháp mô phỏng: Sử dụng phương pháp mô phỏng để mô phỏng quỹ đạo và sai số của các khớp, tín hiệu điều khiển và tín hiệu bù nhiễu của bộ điều khiển được đề xuất, từ đó đưa ra kết luận về bộ điều khiển được đề xuất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích động lực học robot n -DOF khi có tác động của nhiễu

Phương trình động lực của robot n -DOF được viết dưới dạng tổng quát (Richard M. Murray *et al*, 1994) là:

$$M(q)\ddot{q} + H(q, \dot{q}) + G(q) = F + d(t) \quad (1)$$

Trong đó $q \in R^{n \times 1}$ vector của các góc khớp, $M(q) \in R^{n \times n}$ là ma trận mô men quán tính, $H(q, \dot{q}) \in R^{n \times 1}$ là vector tương tác và ly tâm, $G(q) \in R^{n \times 1}$ là vector trọng lực, $F \in R^{n \times 1}$ là vector của các mô men khớp (đầu vào điều khiển), và $d(t) \in R^{n \times 1}$ là vector của các nhiễu bên ngoài được đưa vào với: $\|d(t)\| < d_1, \quad d_1 > 0 \quad (2)$

$$M_0(q)\ddot{q} + H_0(q, \dot{q}) + G_0(q) = F + w(t) \quad (4)$$

Với:

$$w(t) = -\Delta M_0(q)\ddot{q} - \Delta H(q, \dot{q}) - \Delta G(q) + d(t), \quad (5)$$

Trong đó $w(t)$ đặc trưng cho nhiễu của hệ thống robot n -DOF, nó bao gồm cả các yếu tố về sai số mô hình và nhiễu bên ngoài tác động lên robot.

Phân tích nhiễu $w(t)$:

Nhận xét 1:

Ma trận quán tính $M(q)$ là xác định dương và khả nghịch.

$$\eta_1 \|x\|^2 \leq x^T M(q)x \leq \eta_2 \|x\|^2, \quad \forall x \in R^{n \times 1}. \quad (7)$$

Từ các thuộc tính của $M(q)$ và $C(q, \dot{q})$, chúng ta có phương trình sau (Sze San Chong *et al*, 1996):

$$x^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q}))x = 0, \quad \forall x \in R^n, \quad (8)$$

Trong đó $C(q, \dot{q})\dot{q} = H(q, \dot{q})$

Nhận xét 2: Các vector $H(q, \dot{q})$ và $G(q)$ được

$$\|H(q, \dot{q})\| < \alpha_1^h + \alpha_2^h \|q\| + \alpha_3^h \|\dot{q}\|^2 \quad (9)$$

$$\|G(q)\| < \alpha_1^g + \alpha_2^g \|q\| \quad (10)$$

Với $\alpha_1^h, \alpha_2^h, \alpha_3^h, \alpha_1^g$ và α_2^g là những số dương.

Do sự phức tạp của cấu trúc cơ học robot hoặc sự thay đổi của tham số tải làm việc sẽ gây ra lỗi mô hình. Do vậy, các giá trị thực tế của mô hình (1) sẽ được phân tích như sau:

$$M(q) = M_0(q) + \Delta M(q) \quad (3a)$$

$$H(q, \dot{q}) = H_0(q, \dot{q}) + \Delta H(q, \dot{q}) \quad (3b)$$

$$G(q) = G_0(q) + \Delta G(q) \quad (3c)$$

Với $M_0(q), H_0(q, \dot{q}), G_0(q)$ là các giá trị có thể xác định chính xác được của cánh tay robot; $\Delta M_0(q), \Delta H_0(q, \dot{q}), \Delta G_0(q)$ là các sai số mô hình không chính xác.

Thay thế các biểu thức (3a), (3b) và (3c) vào (1), các phương trình động của robot có thể được viết lại thành:

Giới hạn trên được cho bởi một số dương chưa biết (Mezghani Ben Romdhane Neila *et al*, 2011):

$$\|M(q)\| < \alpha_0^m \quad (6)$$

Tồn tại các hằng số dương η_1 và η_2 thỏa mãn bất đẳng thức sau (Mezghani Ben Romdhane Neila *et al*, 2011):

giới hạn trên bởi hàm dương (Huu Cong-Nguyen *et al*, 2009) được cho bởi (9) và (10).

Từ (6), (9) và (10) chúng ta có thể kết luận rằng nhiễu được giới hạn trên bởi một hàm dương:

$$\|w(t)\| < \alpha_0^w + \alpha_1^w \|q\| + \alpha_2^w \|\dot{q}\|^2 + \alpha_3^w \|\ddot{q}\|. \quad (11)$$

Với $\alpha_0^w, \alpha_1^w, \alpha_2^w$ và α_3^w là những số dương.

Tuy nhiên, trong thực tế chỉ có biến vị trí và biến vận tốc là có thể đo được, do vậy nghiên cứu (Mezghani Ben Romdhane Neila *et al*, 2011; Sze San Chong *et al*, 1996; Man Zhihong *et al*, 1997) đã ràng buộc (11) vào hai biến này, chúng ta có:

$$\|w(t)\| < b_0 + b_1 \|q\| + b_2 \|\dot{q}\|^2 \quad (12)$$

Với b_0, b_1, b_2 là những số dương.

Đặt $\theta = \max(1, \|q\|, \|\dot{q}\|^2)$ và $b = b_0 + b_1 + b_2$ chúng ta có: $\|w(t)\| < b\theta$ (13)

3.2. Thiết kế bộ điều khiển trượt thích nghi dựa trên giá trị quan sát nhiễu

3.2.1. Thiết kế mặt trượt

Trong nghiên cứu này, bề mặt trượt $s = 0$ được chọn là tuyến tính (GUO YI-shen *et al*, 2008).

$$s = \dot{e} + \Lambda e \quad (14)$$

trong đó là $e = q - q_d \in R^{n \times 1}$ sai lệch vị trí,

$\Lambda = \text{diag}(\Lambda_1, \dots, \Lambda_n)$, $\Lambda_i > 0$ và q_d là quỹ đạo mong muốn. Theo định nghĩa của e , tồn tại các biến sau đây:

$$\dot{e} = \dot{q} - \dot{q}_d \in R^{n \times 1} \quad \text{và} \quad \ddot{e} = \ddot{q} - \ddot{q}_d \in R^{n \times 1} \quad (15)$$

3.2.2. Thiết kế bộ điều khiển

Theo bề mặt trượt trong (14) bộ điều khiển được thiết kế như sau:

$$F = -M_0(q)[\Lambda \dot{e} - \ddot{q}_d] + H_0(q, \dot{q}) + G_0(q) - C_0(q, \dot{q})s - k_1 \text{sgn}(s) - k_2 s + f_w, \quad (16)$$

Trong đó:

$$k_1 = \text{diag}(k_{11}, k_{12}, \dots, k_{1n}), k_{1i} > 0 \quad \text{và}$$

$$k_2 = \text{diag}(k_{21}, k_{22}, \dots, k_{2n}), k_{2i} > 0$$

f_w là một bộ bù được dùng để chống lại các tác động của nhiễu trong (5), được xác định theo các trường hợp sau:

Trường hợp 1: Nếu giới hạn trên của nhiễu (13) giả sử đã biết thì bộ bù được xác định như sau: $f_w = -b\theta$ (17)

Luật điều khiển được đưa ra trong (16) với f_w đã biết được xác định trong (17) là bộ điều khiển trượt (Sliding mode control – SMC).

Trường hợp 2: Nếu nhiễu trong (5) không xác định và giới hạn trên b trong (13) là không biết. Bộ bù được định nghĩa như sau:

$$f_w = -\frac{(\hat{b}\theta)^2 s}{\hat{b}\theta \|s\| + \beta^2} \quad (18)$$

Với \hat{b} là ước tính của b trong (13), được cập nhật theo luật thích nghi sau:

$$\dot{\hat{b}} = \gamma_1 \theta \|s\| \quad (19a)$$

$$\hat{b}(0) = 0 \quad (19b)$$

$$\gamma_1 > 0 \quad (19c)$$

Trong (18), β được xác định bởi các biểu thức sau:

$$\dot{\beta} = -\gamma_2 \beta \quad (20a)$$

$$\beta(0) = 1 \quad (20b)$$

$$\gamma_2 > 0 \quad (20c)$$

Luật điều khiển đưa ra trong (16) với f_w được đưa ra bởi (18) là bộ điều khiển trượt thích nghi (Adaptive Sliding Mode Control – ASMC) do nghiên cứu đề xuất.

Chứng minh tính ổn định của ASMC: Xét hàm Lyapunov sau đây:

$$V = \frac{1}{2} s^T M_0(q) s + \frac{1}{2} \gamma_1^{-1} \tilde{b}^2 + \frac{1}{2} \gamma_2^{-1} \beta^2 \quad (21)$$

Trong đó, $s^T M_0(q) s > 0$, hàm Lyapunov là xác định dương. Đạo hàm của V ta có:

$$\dot{V} = 0.5 \dot{s}^T M_0(q) s + 0.5 s^T \dot{M}_0(q) s + 0.5 s^T \dot{M}_0(q) s + \gamma_1^{-1} \tilde{b} \dot{\tilde{b}} + \gamma_2^{-1} \beta \dot{\beta} \quad (22)$$

Thay thế $\dot{\beta}$ trong (20a) vào ta có:

$$\dot{V} = s^T M_0(q)\dot{s} + 0.5s^T \dot{M}_0(q)s + \gamma_1^{-1} \tilde{b}\dot{\tilde{b}} - \beta^2 \quad (23)$$

Đạo hàm của (14) là:

$$\dot{s} = \ddot{e} + \Lambda\dot{e} = \Lambda\dot{e} + \ddot{q} - \ddot{q}_d. \quad (24)$$

Thay (4) vào (24):

$$\dot{s} = \Lambda\dot{e} - \ddot{q}_d + M_0(q)^{-1}(F + w(t) - H_0(q, \dot{q}) - G_0(q)). \quad (25)$$

Thay thế \dot{s} trong (25) vào (23) được kết quả như sau:

$$\dot{V} = s^T M_0(q)[\Lambda\dot{e} - \ddot{q}_d + M_0(q)^{-1}(F + w(t) - H_0(q, \dot{q}) - G_0(q))] + 0.5s^T \dot{M}_0(q)s + \gamma_1^{-1} \tilde{b}\dot{\tilde{b}} - \beta^2 \quad (26)$$

Thay (18) vào (16), sau đó thay (16) vào (26) ta được kết quả như sau:

$$\dot{V} = -k_1 s^T \text{sgn}(s) - k_2 s^T s + s^T \left(-\frac{(\hat{b}\theta)^2 s}{\hat{b}\theta\|s\| + \beta^2} + w(t) \right) + 0.5s^T (\dot{M}_0(q) - 2C_0(q, \dot{q}))s + \gamma_1^{-1} \tilde{b}\dot{\tilde{b}} - \beta^2 \quad (27)$$

Sử dụng (8) ta có $s^T (\dot{M}_0(q) - 2C_0(q, \dot{q}))s = 0$, biểu thức cho trong (27) có thể được viết là:

$$\dot{V} = -k_1 s^T \text{sgn}(s) - k_2 s^T s - \frac{s^T (\hat{b}\theta)^2 s}{\hat{b}\theta\|s\| + \beta^2} + s^T w(t) + \gamma_1^{-1} \tilde{b}\dot{\tilde{b}} - \beta^2 \quad (28)$$

Và từ $\tilde{b} = b - \hat{b} \Rightarrow \dot{\tilde{b}} = -\dot{\hat{b}} = -\gamma_1 \theta \|s\|$, ta được:

$$\dot{V} = -k_1 s^T \text{sgn}(s) - k_2 s^T s - \frac{s^T (\hat{b}\theta)^2 s}{\hat{b}\theta\|s\| + \beta^2} + s^T w(t) - \tilde{b}\theta\|s\| - \beta^2 \quad (29)$$

Các tham số được cho bởi (29) có các thuộc tính sau $s^T w(t) \leq \|s\| \|w(t)\|$ và $\|w(t)\| < b\theta$, do đó:

$$s^T w(t) \leq \|s\| b\theta \quad (30)$$

Từ (30) chúng ta chứng minh được:

$$\dot{V} \leq -k_1 s^T \text{sgn}(s) - k_2 s^T s + \frac{-(\hat{b}\theta)^2 s^T s + (\hat{b}\theta)^2 \|s\|^2 - \beta^4}{\hat{b}\theta\|s\| + \beta^2} \quad (31)$$

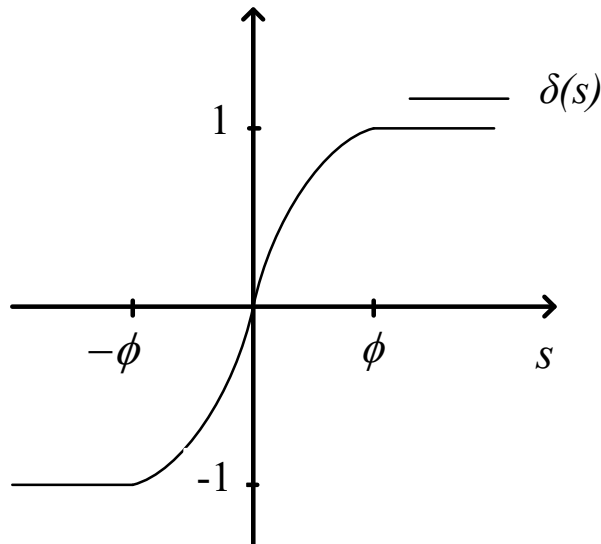
Do $s^T s = \|s\|^2$, nên $\dot{V} \leq -k_1 s^T \text{sgn}(s) - k_2 s^T s - \frac{\beta^4}{\hat{b}\theta\|s\| + \beta^2}$ (32)

Từ luật thích nghi (19a,b,c) chúng ta có $\hat{b} > 0$, do đó: $\dot{V} \leq 0 \quad \dot{V} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} s = 0 \\ \beta = 0 \end{cases}$. Do đó, bộ điều khiển ASMC đề xuất trong (16) và

(18) là ổn định tiệm cận.

Để giảm hiện tượng chattering trong điều khiển trượt, chúng ta có thể thay hàm $\text{sgn}(s)$ bằng hàm $\delta(s)$ có phương trình (33):

$$\delta(s) = \begin{cases} 1 & \text{if } s > \phi \\ \frac{(4 - \pi)s}{4\phi} + \arctan\left(\frac{s}{\phi}\right) & \text{if } -\phi \leq s \leq \phi \\ -1 & \text{if } s < -\phi \end{cases} \quad (33)$$



Hình 1. Đặc tính hàm $\delta(s)$

Do vậy bộ điều khiển ASMC mới sẽ được nhiều f_w được định nghĩa trong (18).
 đề xuất trong (34) với thành phần tín hiệu bù

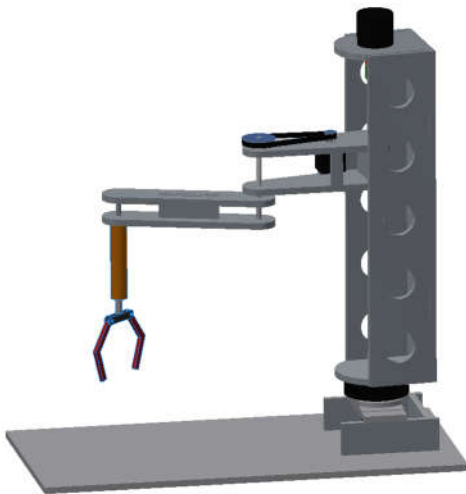
$$F = -M_0(q)[\Lambda \dot{e} - \ddot{q}_d] + H_0(q, \dot{q}) + G_0(q) - C_0(q, \dot{q})s - k_1 \delta(s) - k_2 s + f_w \quad (34)$$

3.3. Ứng dụng và mô phỏng

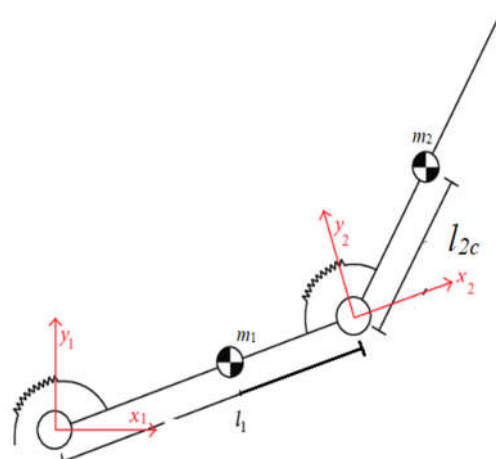
Cánh tay robot được chọn để mô phỏng thuật toán điều khiển là robot trong hình 2. Robot có 2 khớp quay trong mặt phẳng ngang song song mặt đất để di chuyển vật từ vị trí A (vị trí vật trên băng tải tiếp liệu) đến vị trí B (vị trí vật trên bàn máy gia công cơ khí) và một

khớp tịnh tiến có tay gấp dùng hệ thống xilanh khí nén. Nếu gộp hệ thống xilanh khí nén chỉ có chức năng gấp nhả vật và tải của robot vào thanh thứ 2 thì robot này là robot 2-NOF chuyển động trong mặt phẳng ngang.

3.3.1. Phương trình động lực học robot



a. Mô hình thực tế



b. Mô hình lý tưởng quy đổi để tính động lực học

Hình 2. Robot dùng cho tiếp liệu phi cơ khí

Phương trình động lực học robot 2-NOF được viết như sau (Mezghani Ben Romdhane khi sử dụng các giả thiết lý tưởng (Hình 2b) Neila et al, 2011):

$$M_0(q)\ddot{q} + C_0(q, \dot{q})\dot{q} + G_0(q) = F + w(t) \quad (35)$$

Thành phần $M_0(q) = \begin{bmatrix} M_{011} & M_{012} \\ M_{021} & M_{022} \end{bmatrix}$ với $M_{011}(q) = m_{01}l_{1c}^2 + m_{02}(l_{2c}^2 + l_1^2 + 2l_1l_{2c} \cos(q_2)) + I_{01} + I_{02}$;

$$M_{012}(q) = M_{021}(q) = m_{02}(l_{2c}^2 + l_1 l_{2c} \cos(q_2)) + I_{02}; M_{022}(q) = m_{02} l_{2c}^2 + I_{02}; l_{1c} = \frac{l_1}{3};$$

Thành phần $C_0(q) = \begin{bmatrix} C_{011}(q, \dot{q}) & C_{012}(q, \dot{q}) \\ C_{021}(q, \dot{q}) & C_{022}(q, \dot{q}) \end{bmatrix}$ với $C_{011} = -m_{02} l_1 l_{2c} \sin(q_2) \dot{q}_2$; $C_{021} = m_{02} l_1 l_{2c} \sin(q_2) \dot{q}_1$;

$$C_{012} = -m_{02} l_1 l_{2c} \sin(q_2) \dot{q}_2 - m_{02} l_1 l_{2c} \sin(q_2) \dot{q}_1; C_{022} = 0.$$

Thành phần $G_0(q) = 0$ vì cánh tay chuyển tâm khối, I là mô men quán tính. Các giá trị động trong mặt phẳng ngang. Các tham số sử dụng tham số trong (35) được cho trong bảng 1. dụng gồm khối lượng m , lc là khoảng cách tới

Bảng 1. Các tham số lý tưởng của robot 2-NOF

m_{01} (kg)	m_{02} (kg)	l_1 (m)	l_{2c} (m)	I_{01} (Kgm ²)	I_{02} (Kgm ²)	$\phi_1 = \phi_2$
3.313	3.6	0.96	0.5	0.0636	0.52	0.02

3.3.2. Các thành phần nhiễu và sai số mô hình gồm

a. Nhiễu trọng lực

Do robot làm việc trong môi trường gia công cơ khí, nên giả sử có ảnh hưởng rung lắc chân đế trong quá trình di chuyển vật, khi chân đế rung lắc sẽ tạo ra độ nghiêng là làm 2 trục chuyển động không trên mặt phẳng nằm ngang, điều này tạo ra thành phần nhiễu trọng trường ΔG . Trong giới hạn cho phép về độ cứng vững của chân đế, giá trị nhiễu trọng lực đặt lên 2 khớp được tính như sau:

$$\Delta G_1 \leq 10 \sin(2\pi t) \text{ và } \Delta G_2 \leq 7 \sin(2\pi t) \quad (36)$$

b. Sai số mô hình

Trong quá trình di chuyển phiê để tiếp liệu cho bàn máy gia công cơ khí, các phiê sẽ có khối lượng không giống nhau, dẫn đến khối lượng m_2 của khớp thứ 2 có sự thay đổi (nếu như ta quy đổi khối lượng m_2 gồm khối lượng bản thân thanh 2 và khối lượng tải). Giả sử

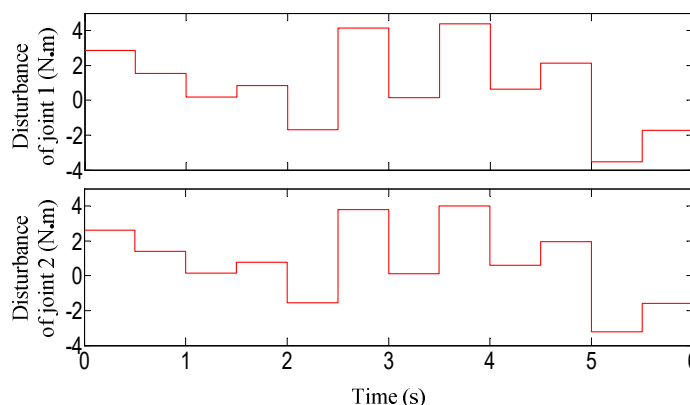
theo thiết kế, dao động của tải thay đổi là 10%, không mất tính tổng quát chúng ta có: $m_2 = 1.1m_{02}$.

Do sự phức tạp của kết cấu cơ khí, không mất tính tổng quát chúng ta giả sử $I_2 = 1.15I_{02}$ và $I_1 = 1.1I_{01}$, với I_{01} và I_{02} là giá trị lý tưởng tính được.

c. Nhiễu bên ngoài

Với các robot tiếp liệu làm việc trong xưởng gia công cơ khí, các thành phần bụi kim loại có thể bám trên các trục khớp quay, các thành phần này sẽ tạo ra lực ma sát trên các trục khớp, giá trị của lực ma sát này phụ thuộc vào hình dạng và kích thước của hạt bụi, số lượng hạt bụi... Do vậy, chúng ta giả sử lực ma sát này là tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên.

Chủ yếu nhiễu bên ngoài gây trên robot là do gió. Đảm bảo tính tổng quát trong mô phỏng, ảnh hưởng đầu vào được thể hiện bởi các tín hiệu ngẫu nhiên trong hình 3.

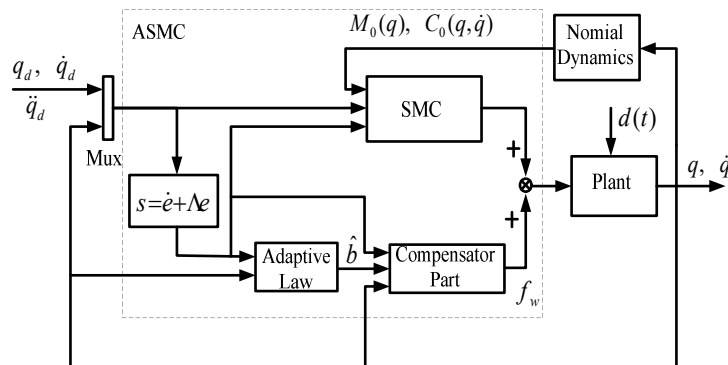


Hình 3. Các tín hiệu nhiễu ngẫu nhiên nhiễu ma sát

3.3.3. Cấu trúc bộ điều khiển ASMC đề xuất

Như đã đề cập, bộ điều khiển ASMC đề xuất được xác định trong (34) và (18), được

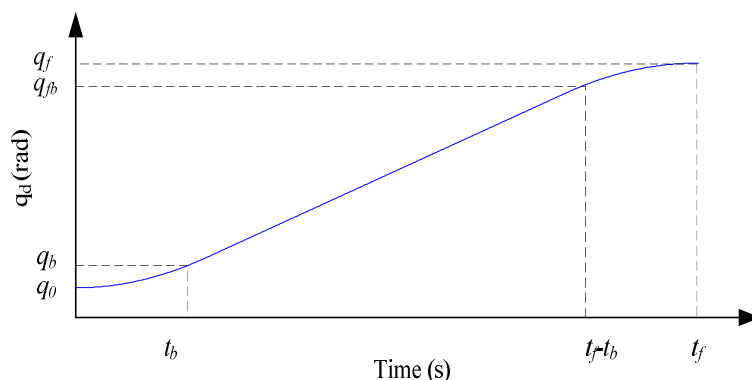
minh họa bằng sơ đồ khối trong hình 4, với SMC là bộ điều khiển trượt kinh điển.



Hình 4. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển ASMC đề xuất

Quỹ đạo mong muốn (quỹ đạo đặt) cho các khớp trong mô phỏng được thể hiện trên

hình 5 (John J Craig, 2005).



Hình 5. Quỹ đạo đặt cho hai khớp

$$q_d = \begin{cases} q_0 + \frac{1}{2}at^2 & \text{if } 0 \leq t \leq t_b \\ q_b + at_b(t-t_b) & \text{if } t_b < t < t_f - t_b \\ q_f - \frac{1}{2}a(t_f - t)^2 & \text{if } t_f - t_b \leq t \leq t_f \end{cases}, q_d = [q_{d1} \ q_{d2}]^T \quad (37)$$

$$\dot{q}_d = \begin{cases} at & \text{if } 0 \leq t \leq t_b \\ at_b & \text{if } t_b < t < t_f - t_b \\ a(t_f - t) & \text{if } t_f - t_b \leq t \leq t_f \end{cases}, \dot{q}_d = [\dot{q}_{d1} \ \dot{q}_{d2}]^T \quad (38)$$

$$\ddot{q}_d = \begin{cases} a & \text{if } 0 \leq t \leq t_b \\ 0 & \text{if } t_b < t < t_f - t_b \\ -a & \text{if } t_f - t_b \leq t \leq t_f \end{cases}, \ddot{q}_d = [\ddot{q}_{d1} \ \ddot{q}_{d2}]^T \quad (39)$$

Trong công thức (37) - (39), cho: $t_f = [5 \ 5]^T$;

$$q_0 = [0 \ 0]^T; \quad q_f = \left[\frac{15\pi}{18} \ \frac{7\pi}{18} \right]^T; \quad a = \frac{6(q_f - q_0)}{t_f^2};$$

$$t_b = \frac{t_f}{2} - \frac{\sqrt{a^2 t_f^2 - 4a(q_f - q_0)}}{2a}; \quad q_b = q_0 + \frac{1}{2}at_b^2;$$

Các giá trị ban đầu được cho là:

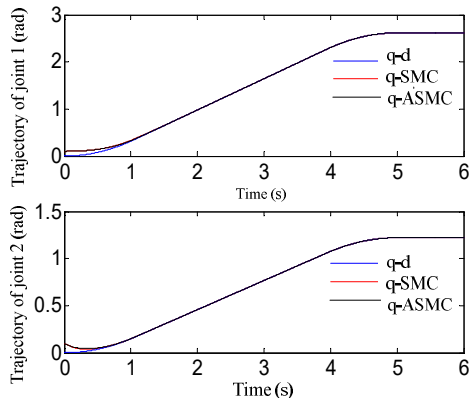
$$[q_1(0) \ q_2(0)]^T = [0.1 \ 0.1]^T \text{ và}$$

$$[\dot{q}_1(0) \ \dot{q}_2(0)]^T = [0 \ 0]^T$$

Các tham số của bộ điều khiển là: $\Lambda = \text{diag}(5,5)$, $\gamma_1 = 20$, $\gamma_2 = 30$, $k_1 = \text{diag}(10,10)$, $k_2 = \text{diag}(100,100)$ và $\phi_1 = \phi_2 = 0.02$.

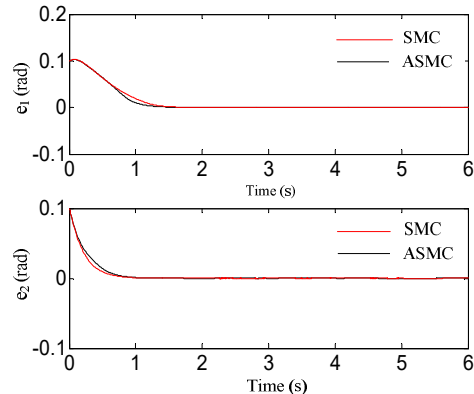
3.3.4. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển kinh điển SMC và bộ điều khiển ASMC đề xuất được xác định trong (34) và (18) được thể hiện

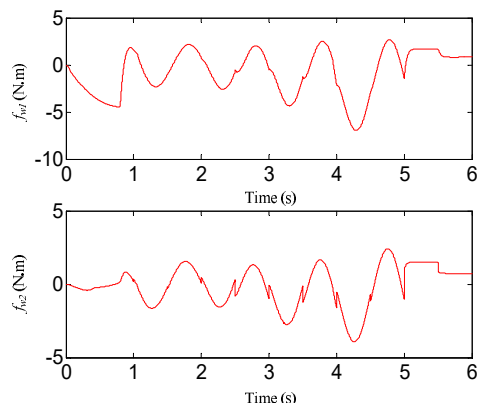


Hình 6. Quỹ đạo của hai khớp

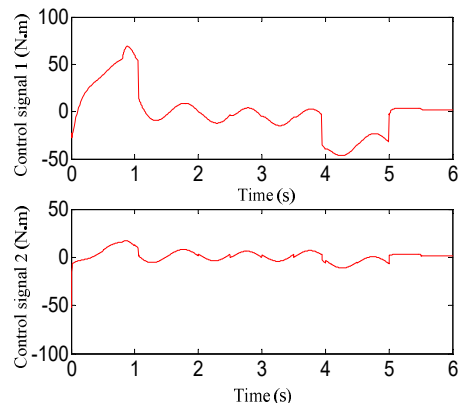
trên các hình 6 đến hình 9. Hình 6 biểu diễn quỹ đạo hai khớp và hình 7 biểu diễn sai số quỹ đạo hai khớp tương ứng với bộ điều khiển SMC kinh điển và bộ điều khiển ASMC đề xuất. Hình 7 biểu diễn tín hiệu bù (48) được tính dựa trên việc ước lượng giới hạn trên của nhiễu, và hình 8 biểu diễn tín hiệu của bộ điều khiển ASMC khi được làm trơn bởi việc thay hàm $\text{sgn}(s)$ bằng hàm $\delta(s)$.



Hình 7. Sai số quỹ đạo hai khớp



Hình 8. Tín hiệu bù nhiễu của ASMC dựa trên ước tính giới hạn trên nhiễu



Hình 9. Tín hiệu điều khiển của ASMC

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng các ảnh hưởng của các nhiễu được loại, quỹ đạo hai khớp bám theo quỹ đạo đặt mong muốn. Hình 7 cho thấy sai lệch quỹ đạo tiến về giá trị 0 khi sử dụng cả SMC và ASMC. Do vậy, bộ điều khiển ASMC đề xuất có thể thay thế được hoàn toàn bộ điều khiển kinh điển SMC khi chúng ta không biết được giá trị của các nhiễu. Bộ điều khiển kinh điển SMC bắt buộc chúng ta phải biết trước giá trị nhiễu hoặc giới hạn trên của nhiễu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu về bộ điều khiển trượt thích nghi ASMC dựa trên tín hiệu quan sát nhiễu. Thuật toán thích nghi đề xuất có thể ước tính được giới hạn trên của nhiễu để tạo ra tín hiệu bù trong bộ điều khiển ASMC mà không cần biết chính xác về nhiễu. Với thuật toán thích nghi này, cấu trúc bộ điều khiển ASMC đơn giản hơn so với thuật toán được đề xuất trong (Mezghani Ben Romdhane Neila *et al*, 2011; Sze San Chong *et al*, 1996; Man

ZHIHONG *et al*, 1997). Các kết quả mô phỏng xác nhận tính khả thi trong quá trình điều khiển quỹ đạo robot và làm cơ sở để chế tạo bộ điều khiển trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bandyopadhyay, B, Janardhanan, S, Spurgeon, Sarah K (2013). *Advances in sliding mode control*. Springer-Verlag: Germany.

2. Mezghani Ben Romdhane Neila, Damak Tarak (2011). *Adaptive terminal sliding mode control for rigid robotic manipulators*. International Journal of Automation and Computing; **8**(2): 215-220.

3. Sze San Chong, Xinghuo Yu and Man Zhihong (1996). *A robust adaptive sliding mode controller for robotic manipulators*. IEEE Workshop on Variable Structure Systems, Tokyo, Japan; 31-35.

4. Man ZHIHONG, Xinghuo YU (1997). *Adaptive terminal sliding mode tracking control for rigid robotic manipulators with uncertain dynamics*. The Japan society of mechanical Engineers; 40(3): 493-502.

5. Richard M. Murray, Zexiang Li, S. Shanhar Sastry (1994). *A mathematical introduction to robotic manipulation*. CRC Press: USA.

6. Huu Cong-Nguyen, Woo-Song Lee, Chang-Jae Cho and Sung-Hyun Han (August 2009). *Real-time adaptive control of robot manipulator based on neural network compensator*. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan; 2091-2096.

7. GUO YI-shen, CHEN Li (2008). *Terminal sliding mode control for coordinated motion of a space rigid manipulator with external disturbance*. Applied Mathematics and Mechanics; **29**(5): 583-590.

8. John J Craig (2005). *Introduction to robot mechanics and control, 3rd ed*. Prentice-Hall: USA.

ROBUST ADAPTIVE CONTROL FOR ROBOTIC MANIPULATOR BASED ON DISTURBANCE OBSERVER

Hoang Son¹, Nguyen Thi Phuong¹

¹Vietnam National University of Forestry

SUMMARY

This article introduces Adaptive Sliding Mode Control (ASMC) based on Disturbance Observer (DOB) to apply it to control the trajectory of the robot arm when affected by external disturbance during working. When robots work in reality, the impact of external disturbance is inevitable, and the value of disturbance is often difficult to determine. In order to solve the problem of accurately controlling the robot's trajectory while not determining the impact value of external disturbance, through theoretical research methods, empirical analysis and demonstration by simulation, we propose an adaptive sliding controller (ASMC) based on the disturbance observer (DOB), which includes an adaptive algorithm to estimate the upper limit of disturbance without having to know about it from the external conditions. The stability of the adaptive sliding controller (ASMC) proposed by the research is proved through Lyapunov's theorem. The simulation results of the adaptive sliding controller (ASMC) applied to the machine arm when participating in the supply in mechanical machining proved the accuracy of the adaptive sliding controller (ASMC) proposed by the study in the paper.

Keywords: Adaptive sliding mode control, disturbance, disturbance Observer.

Ngày nhận bài : 23/12/2019

Ngày phản biện : 24/02/2020

Ngày quyết định đăng : 02/3/2020