

ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI MỜ HỆ EULER-LAGRANGE ADAPTIVE FUZZY CONTROL OF EULER-LAGRANGE SYSTEMS

LÊ ANH TUẤN

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: tuanla.ck@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Chúng tôi phát triển một bộ điều khiển thích nghi bền vững cho một lớp các cơ hệ đủ dẫn động. Lõi của bộ điều khiển được thiết kế dựa trên điều khiển trượt trong khi cơ cấu thích nghi được xây dựng dựa trên hướng logic mờ. Hiệu quả và khả năng làm việc của bộ điều khiển đề xuất được kiểm chứng thông qua ứng dụng của nó tới một tay máy hai bậc tự do.

Từ khóa: Cơ hệ Euler-Lagrange, kỹ thuật logic mờ, điều khiển thích nghi bền vững.

Abstract

We develop an adaptive robust controller for a class of fully actuated mechanical systems. The control core is designed using sliding mode-like method while constructing an adaptive mechanism relies on fuzzy logic approach. The application of controller to a 2DOF manipulator shows the effectiveness of hybridized control approach.

Keywords: Euler-Lagrange systems, fuzzy logic technique, robust adaptive control.

1. Giới thiệu chung

Các máy móc công nghiệp, các thiết bị có chuyển động là những hệ cơ học dẫn động bằng các động cơ. Thông qua hệ thống truyền động, công, công suất, lực hay mô men của động cơ được truyền đến khâu cuối cùng (end-effectors) của hệ thống chuyển động, tác động lên đối tượng (objects) để thực hiện nhiệm vụ yêu cầu. Chuyển động của những hệ cơ như vậy được mô tả bằng một tập các phương trình vi phân cấp hai. Phương pháp thiết lập mô hình toán của một hệ động lực dựa trên các kỹ thuật cơ học giải tích và cơ học hệ nhiều vật. Euler-Lagrange là một hướng thiết lập mô hình toán cho hệ nhiều vật. Mô hình toán của hệ động lực được xây dựng bằng phương pháp nói trên gọi tắt là hệ Euler-Lagrange (Euler-Lagrange systems) [1]. Trên quan điểm động lực học và điều khiển, một máy hoặc thiết bị được gọi là đủ dẫn động (fully actuated system) nếu số động cơ bằng số tín hiệu cần điều khiển, được gọi là hụt dẫn động (under-actuation) nếu

số động cơ dẫn động ít hơn số tín hiệu điều khiển [2]. Nghiên cứu này giới hạn trong các cơ hệ Euler-Lagrange đủ dẫn động.

Hầu hết các kỹ thuật điều khiển từ cơ bản đến nâng cao đã áp dụng cho nhiều đối tượng là hệ cơ đủ dẫn động. Trong nghiên cứu này, chúng tôi phát triển một thuật toán điều khiển cho một lớp các hệ đủ dẫn động mô tả bằng một hệ phương trình vi phân phi tuyến cấp hai dưới dạng ma trận. Chúng tôi hướng đến một bộ điều khiển đạt được đồng thời cả tính bền vững và thích nghi. Với hướng điều khiển bền vững, chúng tôi dựa trên kỹ thuật trượt (SMC-like method). Thực vậy, kỹ thuật SMC [3] rất hiệu quả đối với các bài toán dẫn động (tracking) và ổn định hóa (stabilization) các tín hiệu ra của một hệ động lực. Nó đảm bảo tính bền vững của các đáp ứng bất chấp sự biến đổi rộng các tham số của hệ, nhiễu, và thậm chí là thiếu thông tin về mô hình toán của hệ. Tuy nhiên, hướng điều khiển như vậy là chưa thông minh. SMC đơn giản là đảm bảo tính bền vững nhưng không thay đổi linh hoạt cấu trúc của bộ điều khiển. Vì vậy nó chỉ hiệu quả trong một dải giới hạn các bất ổn (uncertainties). Hướng điều khiển thích nghi khắc phục được tình trạng này. Nó làm cho hệ trở nên thông minh hơn, có khả năng huấn luyện, nhận dạng, và ước lượng các yếu tố bất ổn. Có nhiều hướng điều khiển thích nghi khác nhau như thích mô hình tham chiếu (model-reference adaptive control - MRAC) [4], tự chỉnh (self-tuning control - STC) [5], thích nghi nơ ron (neural-networks control - NNC), và hướng logic mờ (fuzzy logic system - FLS) [6]. Nhìn chung, hai hướng MRAC và STC phù hợp với hệ có tham số biến đổi rộng. Hai hướng này chủ yếu để xây dựng cơ cấu thích nghi có chức năng ước lượng tham số. Nó không có chức năng ước lượng nhiễu và các yếu tố phi mô hình (unmodeled dynamics). Hướng NNC và FLS tỏ ra cao cấp hơn. Nó có thể xấp xỉ tất cả các thành phần bất ổn của hệ thông qua một thành phần quy đổi duy nhất. Tuy nhiên hai kỹ thuật này cần nhiều tính toán lặp và phức tạp vì cần nhiều lớp nơ ron, lớp mờ để xấp xỉ, nhận dạng, và huấn luyện hệ thống. Với cách tiếp như vậy, chúng tôi sử dụng kỹ thuật logic mờ FLS để xây dựng một bộ ước lượng, đặt trên đường hồi tiếp, để cung cấp thông tin ước lượng cho bộ điều khiển. Toàn bộ các

bất ổn và yếu tố chưa biết của hệ động lực được quy về một thành phần duy nhất. Cơ cấu thích nghi chỉ cần nhận dạng duy nhất thành phần này và cung cấp thông tin tới bộ điều khiển, góp phần dẫn động tốt tín hiệu ra của hệ.

Bài báo được cấu trúc như sau: Mục 2 mô tả tổng quát hệ động lực đủ dẫn động; Xây dựng luật điều khiển dựa trên kỹ thuật tựa SMC; Thiết kế một cơ cấu thích nghi bằng FLS để ước lượng tất cả các yếu tố bất ổn, nhiễu và các thành phần chưa biết khác của hệ động lực; Chứng minh ổn định hệ mạch kín cũng được thảo luận trong mục này. Mục 3 kiểm chứng hiệu quả của hệ thống điều khiển đề xuất bằng cách áp dụng nó tới một tay máy hai bậc tự do thông qua mô phỏng. Yếu tố cần ước lượng ở đây là ma sát ngẫu nhiên trong các khớp của rô bốt. Phân tích các đáp ứng tín hiệu ra, tín hiệu điều khiển, khả năng thích nghi và ước lượng cũng được thảo luận trong mục này. Sau cùng, các kết luận, kiến nghị, hướng nghiên cứu tiếp theo được trình bày trong Mục 4.

2. Điều khiển mờ hệ Euler-Lagrange

Xét đối tượng điều khiển là một cơ hệ đủ dẫn động n bậc tự do tương ứng với n tọa độ suy rộng $\mathbf{q} \in \mathbb{R}^n$ được điều khiển bằng n tín hiệu điều khiển $\mathbf{T} \in \mathbb{R}^n$. Tính chất của hệ được mô tả bằng một tập n phương trình vi phân cấp hai được viết gọn lại dưới dạng ma trận

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) + \mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) = \mathbf{T} \quad (1)$$

với ma trận khối lượng $\mathbf{M}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ xác định dương, $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ là ma trận cản, $\mathbf{G}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^n$ là véc tơ trọng trường, và $\mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) \in \mathbb{R}^n$ là đại lượng quy đổi của các yếu tố bất ổn trong hệ động lực, chẳng hạn như sự biến động các tham số, tác động của nhiễu, các yếu tố không biết như ma sát, cản. Như vậy, tất cả các đại lượng chưa biết hoặc biến động đều được quy gọn vào thành phần này. Khi thiết kế bộ điều khiển, thành phần $\mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ là chưa biết là sẽ được xấp xỉ thành $\hat{\mathbf{F}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ bằng luật thích nghi dựa trên kỹ thuật logic mờ. Định lý sau cung cấp một bộ điều khiển được thiết kế để dẫn động các tín hiệu ra \mathbf{q} của hệ động lực (1) đến các đích $\mathbf{q}_d(t)$ một cách tiệm cận.

Xét luật điều khiển thích nghi có dạng:

$$\mathbf{T} = \mathbf{M}(\mathbf{q})(\ddot{\mathbf{q}} - \ddot{\mathbf{q}}_d) + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_d) + \hat{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega) - \mathbf{K}\mathbf{s} - \eta \text{sgn}(\mathbf{s}) \quad (2)$$

với $\mathbf{K} = \text{diag}(K_1, \dots, K_n)$ là ma trận đường chéo hệ số điều khiển vi phân, $\eta = \text{diag}(\eta_1, \dots, \eta_n)$ là các hệ số

đương đóng ngắt mặt trượt. Mặt trượt $\mathbf{s} \in \mathbb{R}^n$ được xác định bằng biểu thức:

$$\mathbf{s} = (\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_d) + \boldsymbol{\lambda}(\mathbf{q} - \mathbf{q}_d) \quad (3)$$

với $\boldsymbol{\lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ là ma trận đường chéo các hệ số hội tụ số mũ.

Thành phần $\mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ đặc trưng cho các đại lượng chưa biết hoặc bất ổn (uncertain) của hệ sẽ được ước lượng bằng một cấu trúc thích nghi. Ở đây, $\hat{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega)$ là xấp xỉ của $\mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ bằng kỹ thuật lô gic mờ. Hệ mờ $\hat{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega)$ có tín hiệu vào $\mathbf{z} = [\ddot{\mathbf{q}} \ \dot{\mathbf{q}} \ \mathbf{q}] \in \mathbb{R}^{n \times 3}$, ma trận trọng số $\Omega = [\Omega_1 \ \Omega_2 \ \Omega_3] \in \mathbb{R}^{n \times 3}$, có tín hiệu ra được ước lượng bằng luật thích nghi:

$$\dot{\hat{\Omega}}_i = -\gamma_i^{-1} s_i \zeta(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) \quad (4)$$

và:

$$\hat{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega) = \hat{\Omega}^T \zeta(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}) \quad (5)$$

với $\zeta(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ là véc tơ của các hàm cơ sở, $\gamma_i = \text{diag}(\gamma_{i1}, \dots, \gamma_{in})$ là n ma trận hệ số thích nghi, và s_i là n thành phần của mặt trượt \mathbf{s} .

Định lý: Dưới tác dụng của bộ điều khiển trượt (2) kết hợp với ước lượng thích nghi (4) và (5), các tín hiệu ra \mathbf{q} của hệ Euler-Lagrange (1) hội tụ số mũ đến đích yêu cầu \mathbf{q}_d .

Chứng minh: Ta bắt đầu với một hàm Lyapunov dương:

$$V(t) = \frac{1}{2} \left(\mathbf{s}^T \mathbf{M}(\mathbf{q}) \mathbf{s} + \sum_{i=1}^n \tilde{\Omega}_i^T \gamma_i \tilde{\Omega}_i \right) > 0 \quad (6)$$

với $\tilde{\Omega}_i = \hat{\Omega}_i - \Omega_i$ là sai số ước lượng của các ma trận trọng số, $\hat{\Omega}_i$ là ước lượng của $\Omega_i \in \mathbb{R}^n$. Lưu ý rằng $\mathbf{M}(\mathbf{q})$ xác định dương $\mathbf{q}^T \mathbf{M}(\mathbf{q}) \mathbf{q} > 0 \ \forall \mathbf{q} \in \mathbb{R}^n$, γ_i là ma trận đường chéo hệ số thích nghi dương $\gamma_{in} > 0$, vì vậy $V(t) > 0$. Đạo hàm của hàm Lyapunov (6) có dạng:

$$\dot{V}(t) = \mathbf{s}^T \dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) \mathbf{s} + \frac{1}{2} \mathbf{s}^T \dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q}) \mathbf{s} + \sum_{i=1}^n \tilde{\Omega}_i^T \gamma_i \dot{\tilde{\Omega}}_i \quad (7)$$

Bộ điều khiển thích nghi (2) dẫn mô hình động lực (1) đến một hệ mạch kín:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{G}(\mathbf{q}) \\ + \mathbf{K}\mathbf{s} + \eta \text{sgn}(\mathbf{s}) \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega) \quad (8)$$

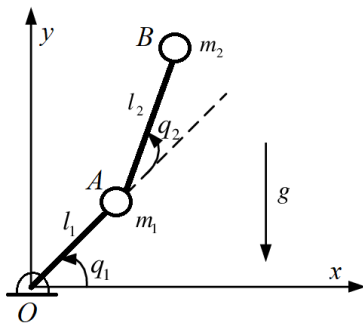
với $\tilde{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega) = \hat{\mathbf{F}}(\ddot{\mathbf{q}}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \Omega) - \mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ là sai số ước lượng quy đổi. Đạo hàm của mặt trượt (3) kết hợp với (8) và cơ cấu thích nghi (4) và (5) thì suy từ (7) ra được:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= -\mathbf{s}^T \mathbf{K} \mathbf{s} - \mathbf{s}^T \boldsymbol{\eta} \operatorname{sgn}(\mathbf{s}) \\ &= -\sum_{i=1}^n (K_i s_i^2 + \eta_i |s_i|) < 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Điều kiện (6) và (9) thỏa mãn định lý thứ hai về ổn định Lyapunov, nghĩa là cả \mathbf{s} và $\tilde{\boldsymbol{\Omega}}_i$ đều ở trong biên xác định. Nói cách khác, \mathbf{s} tiến đến $\mathbf{0}$ (hay \mathbf{q} tiến đến \mathbf{q}_d) đồng thời $\tilde{\boldsymbol{\Omega}}_i$ tiến đến $\boldsymbol{\Omega}_i$ một cách tiệm cận khi $t \rightarrow \infty$. Định lý trên đã được chứng minh.

3. Ví dụ áp dụng cho tay máy hai bậc tự do

Ta kiểm chứng thuật toán bền vững (2) với bộ ước lượng mờ (4) và (5) bằng tay máy hai bậc tự do có sơ đồ vật lý như Hình 1. Các tham số vật lý của tay máy gồm $m_1 = 1\text{kg}$, $m_2 = 1.5\text{kg}$, $l_1 = 1\text{m}$, và $l_2 = 0.8\text{m}$. Mô men $\mathbf{T} = [T_1 \ T_2]^T$ tại hai khớp O và A dẫn động hai góc lắc $\mathbf{q} = [q_1 \ q_2]^T$ đến đích yêu cầu $\mathbf{q}_d = [q_{1d} \ q_{2d}]^T$. Giả sử quỹ đạo chuyển động mong muốn của tải ở điểm B là đường tròn bán kính 0.5m tương ứng phương trình góc lắc mong muốn tại hai khớp lần lượt là $q_{1d} = 0.5 \sin 2t$ và $q_{2d} = 0.5 \sin 2t$.



Hình 1. Sơ đồ tính tay máy hai bậc tự do

Với dạng mô hình toán (1), bốn phần tử của ma trận khối lượng $\mathbf{M} = [m_{11} \ m_{12}; m_{21} \ m_{22}]$ gồm $m_{11} = (m_1 + m_2)r_1^2 + m_2r_2^2 + 2m_2r_1r_2 \cos q_2$, $m_{12} = m_{21} = m_2r_2^2 + m_2r_1r_2 \cos q_2$, và $m_{22} = m_2r_2^2$. Các phần tử của ma trận cản $\mathbf{C} = [c_{11} \ c_{12}; c_{21} \ 0]$ gồm $c_{11} = c_{21} = m_2r_1r_2 \sin q_2$, $c_{12} = 2m_2r_1r_2 \sin q_2$. Hai phần tử của véc tơ trọng trường $\mathbf{G} = [g_1 \ g_2]^T$ cho bởi $g_1 = (m_1 + m_2)r_1 \cos q_2 + m_2r_2 \cos(q_1 + q_2)$, $g_2 = m_2r_2 \cos(q_1 + q_2)$.

Các hệ số của bộ điều khiển và cơ cấu thích nghi được chọn gồm $\mathbf{K} = \text{diag}(17, 17)$, $\boldsymbol{\eta} = \text{diag}(1.4, 1.5)$, và $\gamma_1 = \gamma_2 = 1.2 \times 10^{-4}$. Điều kiện đầu của mô hình động lực và cơ cấu thích nghi lần lượt là $\mathbf{q}(0) = \dot{\mathbf{q}}(0) = \mathbf{0}$, $\tilde{\boldsymbol{\Omega}}_i(0) = [0.15]_{1 \times n}$. Chúng ta xét $\mathbf{F}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$ được giản lược thành $\mathbf{F}(\dot{\mathbf{q}})$ chỉ các yếu tố ma sát trong rô bốt, có dạng:

$$\mathbf{F}(\dot{\mathbf{q}}) = [10\dot{q}_1 + 3\operatorname{sgn} \dot{q}_1 \quad 8\dot{q}_2 + 2\operatorname{sgn} \dot{q}_2]^T \quad (10)$$

Lưu ý rằng ma sát (10) có trong mô hình động

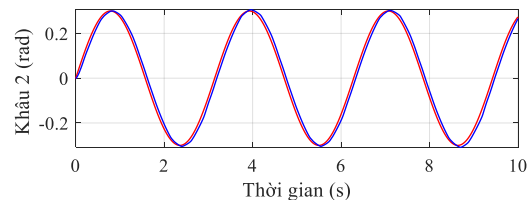
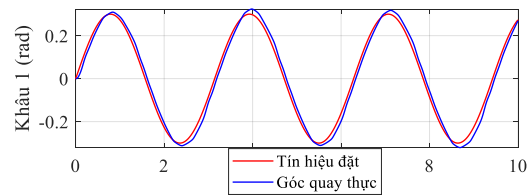
lực (1), còn bộ điều khiển (2) không biết thành phần ma sát này. Cấu trúc thích nghi logic mờ (4) và (5) sẽ xấp xỉ ma sát trong rô bốt có dạng $\mathbf{F}(\dot{\mathbf{q}}, \boldsymbol{\Omega})$ rồi cung cấp nó cho bộ điều khiển. Mỗi thành phần $\zeta_l(\mathbf{z})$ ($\mathbf{z} = \dot{\mathbf{q}} \in \mathbb{R}^2$, $l=1-5$) của hàm cơ sở $\zeta(\dot{\mathbf{q}})$ trong (4) viết dưới dạng mờ hóa đơn (singleton fuzzifier) dạng:

$$\eta_l(\mathbf{x}) = \frac{\prod_{i=1}^{15} \mu_{A_i^l}(x_i)}{\sum_{l=1}^n \left[\prod_{i=1}^{15} \mu_{A_i^l}(x_i) \right]} \quad (11)$$

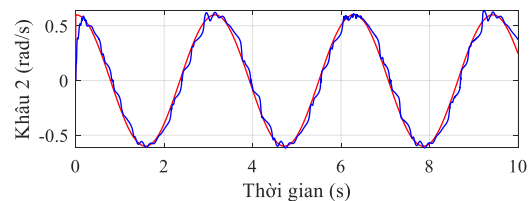
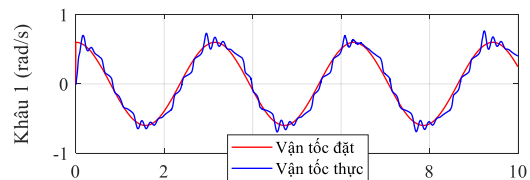
Ở đây, $\mu_{A_i^l}(x_i)$ là các hàm thành viên (membership functions) được chọn:

$$\mu_{A_i^l}(x_i) = \exp\left(-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\pi/24}\right)^2\right) \quad (12)$$

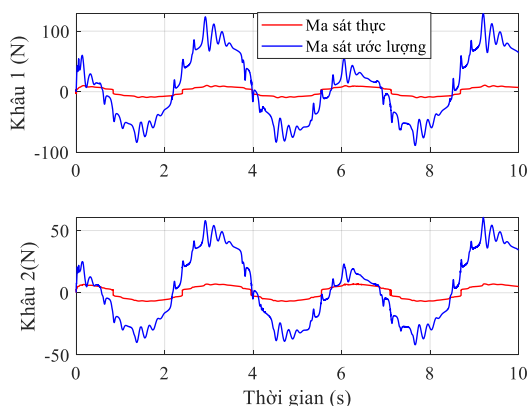
với $i=1-5$, \bar{x}_i^l được chọn gồm $\{-\pi/6, -\pi/12, 0, \pi/12, \pi/6\}$ tương ứng với tập mờ A_i^l dạng {NB, NS, ZO, PS, PB}. Kết quả mô phỏng gồm chuyển động quay của hai khâu, tốc độ chuyển động, các giá trị ước lượng của ma sát tại các khớp, quy luật tác động của mô men quay động cơ tại các khớp, lần lượt được thể hiện trên các hình từ 2 đến 5.



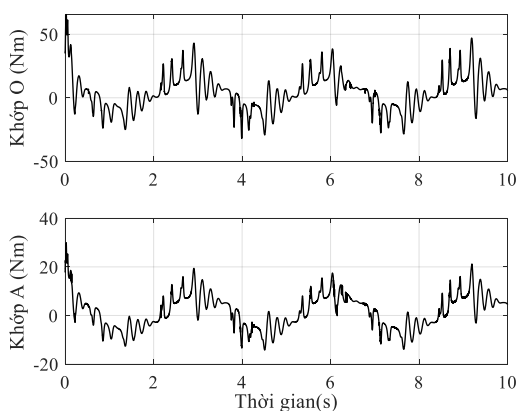
Hình 2. Góc quay của hai khâu



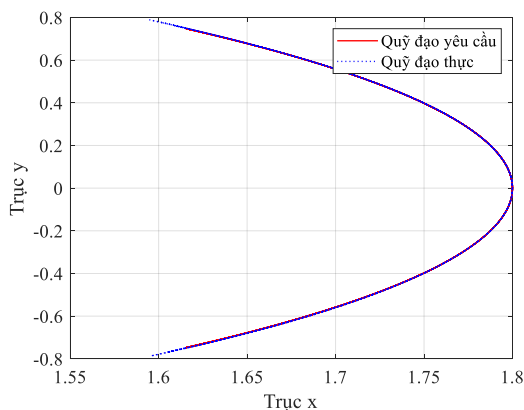
Hình 3. Vận tốc góc của hai khâu



Hình 4. Ước lượng lực ma sát \hat{F}



Hình 5. Mô men quay tại các khớp



Hình 6. Quỹ đạo chuyển động của tay gắp (Điểm B)

Thể hiện trên Hình 2, khả năng bám tín hiệu đặt của góc quay cả hai khâu khá tốt với sự trễ nhỏ. Vì hệ thống thực hiện đồng thời nhiều nhiệm vụ vừa dẫn động vừa ước lượng ma sát nên khả năng dẫn động của nó không tốt bằng các bộ điều khiển chỉ thực hiện một nhiệm vụ. Một lý do nữa là ta chưa chọn được các hệ số điều khiển và hệ số ước lượng thích nghi tối ưu. Hình 4 thể hiện các giá trị ước lượng của ma sát. Thực tế, hệ thống điều khiển không quan tâm đến sự chính

xác của ước lượng này. Đơn giản là nó kết hợp với bộ điều khiển để thực hiện mục tiêu chính là ổn định hóa một cách tiệm cận các đáp ứng của hệ. Hình 5 thể hiện quy luật thay đổi mô men quay tại các khớp. Nó có nhiều đỉnh hoặc “chattering” là do tác động của thành phần đóng - ngắt $sgn(s)$ trong luật điều khiển (2).

4. Kết luận

Chúng tôi đã phát triển một hệ thống điều khiển thích nghi bền vững cho một lớp các hệ động lực đủ dẫn động. Tính bền vững của các đáp ứng đạt được bằng kỹ thuật tựa trượt. Trong khi đó, khả năng thích nghi, khả năng ước lượng các bất ổn, các yếu tố chưa biết của hệ động lực được xử lý bằng kỹ thuật logic mờ. Một hệ thống điều khiển như vậy có tính thông minh, ứng xử linh hoạt, và thích ứng tốt với các biến động cả môi trường làm việc của cơ hệ. Kết quả ứng dụng tới một tay máy cho thấy thuật toán điều khiển đề xuất làm việc tốt, hiệu quả. Chúng tôi dự kiến tích hợp kỹ thuật mạng nơ ron vào lõi điều khiển mờ trượt để nâng cao tính học (learning skill) cho các cơ hệ Euler-Lagrange ở nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Ortega et al., *Euler-Lagrange systems*, Springer, 1998.
- [2] M.W. Spong, *Energy based control of a class of underactuated mechanical systems*, IFAC Proceedings, Vol.29, No.1, pp.2828-2832, 1996.
- [3] V.I. Utkin, *Sliding mode control: Mathematical tools, design and applications*, Lecture Notes in Mathematics, Vol.1932, Springer 2008.
- [4] R.B. Anderson et al., *Novel model reference adaptive control laws for improved transient dynamics and guaranteed saturation constraints*, Journal of the Franklin Institute, Vol.358, No.12, pp.6281-6308, 2021.
- [5] L.C. Westphal, *Adaptive and self-tuning control*, Handbook of Control Systems Engineering, Vol.635, Springer, 2001.
- [6] S.C. Tong, *Adaptive fuzzy control for uncertain nonlinear systems*, Journal of Control and Decision, Vol.6, No.1, pp.30-40, 2019.

Ngày nhận bài:	05/01/2022
Ngày nhận bản sửa:	18/01/2022
Ngày duyệt đăng:	08/02/2022