

KẾT HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI LI - SLOTINE VỚI BỘ QUAN SÁT TRẠNG THÁI CHO ROBOT ALMEGA 16 TRONG KHÔNG GIAN KHỚP

COMBINED ADAPTIVE LI - SLOTINE CONTROL ALGORITHM WITH OBSERVATIONS
FOR ROBOT ALMEGA 16 IN JOINT SPACE

Võ Thu Hà^{1,*}, Võ Quang Vinh²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.101>

TÓM TẮT

Nội dung bài báo đề cập đến vấn đề ứng dụng bộ điều khiển thích nghi Li - Slotine với bộ quan sát trạng thái thích nghi cho hệ chuyển động Robot Almega16 và đã chứng minh tính ổn định của bộ điều khiển theo tiêu chuẩn Lyapunov. Trong đó, bộ quan sát trạng thái sử dụng luật thích nghi để tính toán ước lượng các tham số động lực học hằng bất định, gửi giá trị quan sát tốc độ. Bộ điều khiển nhận tín hiệu phản hồi vị trí robot thông qua cảm biến, tín hiệu phản hồi tốc độ thông qua bộ quan sát rồi tính toán để đưa ra moment điều khiển tương ứng robot và bộ quan sát. Trong sơ đồ cấu trúc điều khiển hệ chuyển động robot Almega 16 luôn có hệ thống nhận dạng các thông số hằng bất định với luật cập nhật thích nghi dùng để chỉnh định liên tục sao cho các giá trị thông số thực và bám chính xác theo các giá trị thông số đặt với sai số vị trí của khớp tác động cuối nhanh tiến tới không và chính xác.

Từ khóa: Luật điều khiển thích nghi Li - Slotine, bộ quan sát trạng thái thích nghi, tiêu chuẩn Lyapunov.

ABSTRACT

The content of the article deals with the application of the Li - Slotine adaptive controller with an adaptive state observer for the Almega16 Robot motion system and has demonstrated the stability of the controller according to Lyapunov standards. In which, the state observer uses the adaptive law to calculate the estimate of the constant dynamic parameters, sending the observed value of the speed. The controller receives the robot position feedback signal through the sensor, the speed feedback signal through the observer and then calculates to give the corresponding control torque of the robot and the observer. In the control structure diagram of the Almega 16 robot motion system, there is always a system to identify uncertain constants with adaptive update rules used for continuous adjustment so that the actual parameter values follow the exact parameters and the parameter value set with the position error of the end-acting joint quickly approaches zero and is accurate.

Keywords: Adaptive Li - Slotine control algorithm, observation, Lyapunov method.

¹Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Điện lực

*Email: vtha@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/4/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/5/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/6/2023

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Thuật toán điều khiển thích nghi theo Li - Slotine luôn có hàm nhận dạng các tham số hằng bất định của hệ thống và được liên tục cập nhật các thông số đó để chỉnh định giữa các thông số ước lượng được với các thông số thực rồi đưa vào bộ điều khiển để cập nhật thích nghi, sao cho đảm bảo các tín hiệu sai lệch các khớp quay sẽ hội tụ về không, bộ điều khiển cũng được chứng minh sự ổn định của hệ thống là dựa trên tiêu chuẩn Lyapunov [1-3]. Tuy nhiên ta đang giả thiết rằng tín hiệu tốc độ \dot{q} là đo được và phản hồi về bộ điều khiển. Thực tế, không thể đo được tốc độ \dot{q} hoặc nếu đo được thì cũng rất khó khăn để xác định được chính xác các thông số đó. Do đó để thay thế việc đo tốc độ bằng phương pháp sử dụng bộ quan sát thích nghi. Nội dung của phương pháp dựa trên ý tưởng của bộ quan sát Luenberge. Như vậy sẽ dễ dàng cho việc phải tính toán các thông số chính xác đưa vào bộ điều khiển. Điều này đặc biệt có ý nghĩa đối với những hệ chuyển động robot công nghiệp có n bậc tự do [1-3] có tính phi tuyến mạnh. Để chứng minh tính đúng đắn của thuật toán điều khiển, nội dung bài báo đã ứng dụng cho hệ chuyển động robot Almega16 với 3 bậc tự do

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CHO HỆ CHUYỂN ĐỘNG ROBOT ALMEGA 16

Từ [1, 4, 5], xác định được mô hình động lực học:

$$\tau = M(q) \cdot \ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (1)$$

Biết: $S = C(q, \dot{q}) - \frac{1}{2}\dot{M}(q)$ là ma trận đối xứng lệch $S = -S^T$.

Để áp dụng được luật điều khiển này cho hệ chuyển động robot bám được quỹ đạo chính xác cần có các giả thiết sau: Mô hình toán học cho hệ chuyển động robot có nhiều bậc tự do đủ thành phần; với các có tham số hằng không biết chính xác hoặc không biết và được xác định bởi (2), [2, 4]:

$$\tau = M(q, p)\ddot{q} + C(q, \dot{q}, p)\dot{q} + G(q, p) = Y(q, \dot{q}, \ddot{q})p \quad (2)$$

Từ [5], được kết quả phương trình động lực của tay máy Almega16 với 3 khớp quay:

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 + m_1 l_{c_2}^2 + m_3 (c_{23} l_{c_3} + c_2 a_2)^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 l_{c_2}^2 + m_3 (l_{c_2}^2 + a_2^2 + 2 l_{c_3} a_2 c_3) + I_2 + I_3 & m_3 (l_{c_3}^2 + l_{c_3} a_2 c_3) + I_3 \\ 0 & m_3 (l_{c_3}^2 + l_{c_3} a_2 c_3) + I_3 & m_3 c_{23} l_{c_3} g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n\dot{\theta}_2 + n\dot{\theta}_3 & n\dot{\theta}_1 & n\dot{\theta}_1 \\ -n\dot{\theta}_1 & -h\dot{\theta}_3 & h(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ -n\dot{\theta}_1 & -h\dot{\theta}_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2m_1 l_{c_2} g c_2 - m_3 g (c_{23} l_{c_3} + c_2 a_2) \\ m_3 l_{c_3} g c_{23} \end{bmatrix}$$

Nhận xét: Từ kết quả tính toán phương trình động lực học của Robot Almega 16 cho thấy robot này là một hệ có tính phi tuyến mạnh, có các thành phần xen chéo giữa các trục khớp như thành phần ma trận quán tính $M(q)$, thành phần trọng trường $G(q)$ đều phụ thuộc vào biến khớp q còn thành phần tương hỗ và li tâm $C(q, \dot{q})\dot{q}$ phụ thuộc cả vào biến khớp q , tốc độ các khớp $\dot{q}(t)$, cho thấy thành phần $M(q)$, $G(q)$ làm ảnh hưởng lớn đến sự độ ổn định và độ chính xác vị trí của Robot còn thành phần $C(q, \dot{q})\dot{q}$ làm ảnh hưởng lớn khi robot chuyển động với tốc độ cao. Hơn nữa, khối lượng tính toán chính xác được mô hình toán học như khối lượng các khớp, momen các khớp hay như kích thước hình học của cả tay máy của robot là rất lớn. Cho nên các thông số khối lượng, chiều dài,... của một hệ thống Robot được coi là thông số không biết hoặc không biết chính xác như:

$$p = [m_1, m_2, \dots, m_n, l_1, l_2, \dots, l_n]^T$$

Trong đó: m_n - Khối lượng của khớp n ; l_n - mômen quán tính của khớp n .

Với hệ thống cảm biến vị trí và cảm biến tốc độ của khớp có độ chính xác nhất định, đồng thời có thể bị nhiễu trong quá trình đo lường phản hồi nên gây ra sai số đo. Về mặt toán học, nếu vi phân cấp hai của các tham số không phải là hằng số thì sẽ tồn tại vi phân cấp cao hơn, nên các quá trình biến đổi sẽ phi tuyến. Đặc điểm hệ điều khiển chuyển động tay máy Almega 16: Có nhiều thông số trong phương trình động lực học không biết trước hoặc không xác định chính xác được; Các lực tương tác giữa các bộ phận trong hệ như lực ma sát nhớt, ma sát tĩnh,..., lực li tâm giữa các khớp, lực tương hỗ giữa các khớp phụ thuộc vào thông số vận tốc và gia tốc của hệ chuyển động Robot; Các thông số đó luôn biến đổi trong quá trình điều khiển chuyển động Robot.

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI LI -SLOTINE VỚI BỘ QUAN SÁT THÍCH NGHI

3.1. Nội dung thuật toán điều khiển

Theo [5] xác định được hàm điều khiển tổng quát cho robot:

$$\tau = \hat{M}(q)\dot{v} + \hat{C}(q, \dot{q})v + \hat{G}(q) - K_d r \tag{3}$$

$$= Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})\hat{p} - K_d r$$

Kết hợp phương trình (2) và (3) xác định được:

$$\hat{M}(q)\dot{v} + \hat{C}(q, \dot{q})v + \hat{G}(q) - K_d r = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \tag{4}$$

Ký hiệu các thành phần ước lượng trong (4) thành: $M, C, G, \hat{M}, \hat{C}, \hat{G}$.

$$\text{Đặt: } \begin{cases} \dot{q} = v - r \\ \ddot{q} = \dot{v} - \dot{r} \end{cases} \begin{cases} \dot{r} = \dot{v} - \dot{q} \\ r = v - \dot{q} \end{cases} \tag{5}$$

trong đó:

$$v = \dot{q}_d + \Lambda(q_d - q) = \dot{q}_d + \Lambda e; \tag{6}$$

$$r = \dot{e} + \Lambda e = \dot{q}_d - \dot{q} + \Lambda(q_d - q) = v - \dot{q}$$

$$\Lambda = \text{diag}(\lambda_i) \text{ với } \lambda_i > 0.$$

Trong đó việc đặt như vậy (4) của tay máy n bậc tự do trở thành:

$$M\dot{r} + Cr + K_d r = \tilde{E}_M \dot{v} + \tilde{E}_C v + \tilde{E}_G = Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})\tilde{e}_p \tag{7}$$

Để xác định được vectơ tham số $p(t)$, chọn hàm xác định dương:

$$V = \frac{1}{2} r^T M(q)r + \frac{1}{2} \tilde{e}_p^T G^{-1} \tilde{e}_p \tag{8}$$

Với: $\Gamma = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_3)$ tùy chọn.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \dot{V}(r) &= \frac{1}{2} r^T \dot{M}(q)r + \frac{1}{2} r^T M(q)\dot{r} + \frac{1}{2} \dot{r}^T M(q)r + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \\ &= \frac{1}{2} r^T \dot{M}(q)r + \frac{1}{2} \dot{r}^T M(q)r + \frac{1}{2} r^T M(q)\dot{r} + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \\ &= \frac{1}{2} r^T \dot{M}(q)r + r^T M(q)\dot{r} + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \end{aligned} \tag{9}$$

Vì $M(q) = M^T(q)$.

Kết hợp (1) với (3) ta có:

$$\begin{aligned} M(q)\dot{r} + C(q, \dot{q})r &= [M(q)\dot{v} + C(q, \dot{q})v + G(q)] \\ &\quad - [M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q)] \\ \Rightarrow M(q)\dot{r} &= Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})p - \tau - C(q, \dot{q})r \end{aligned} \tag{10}$$

Thay (10) vào (9) xác định được:

$$\dot{V} = r^T (Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})p - \tau) + r^T (\frac{1}{2} \dot{M}(q) - C(q, \dot{q}))r + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p$$

Do: $S = C(q, \dot{q}) - \frac{1}{2} \dot{M}(q)$ là ma trận đối xứng lệch, tức là:

$$r^T (\frac{1}{2} \dot{M}(q) - C(q, \dot{q}))r = 0 \tag{11}$$

Do đó:

$$V = r^T (Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})p - \tau) + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= r^T (-Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})\hat{p} + Y(q, \dot{q}, v, \dot{v})p - K_d r) + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \\ &= r^T Y\tilde{e}_p - r^T K_d r + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \\ &= \tilde{e}_p^T Y^T r - r^T K_d r + \tilde{e}_p^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p \end{aligned}$$

$$\dot{V} = -r^T K_d r + \tilde{e}_p^T (Y^T r + \Gamma^{-1} \dot{\tilde{e}}_p) \tag{12}$$

Với luật cập nhật thích nghi:

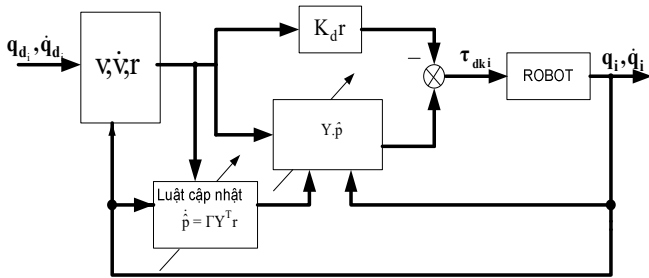
$$\dot{p} = -\dot{e}_p = GY^T r \quad (13)$$

Dẫn đến: $\dot{V} = -r^T K_d r$ là xác định âm, điều đó làm hệ thống đảm bảo: $r = \dot{e} + \Lambda e \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$

Hay: $\lim_{t \rightarrow \infty} r = 0 \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} e = 0$ (14)

Điều này đảm bảo cho quỹ đạo của robot tiến tới quỹ đạo đặt khi thời gian tiến tới vô cùng.

Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển thích nghi Li - Slotine cho Robot như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển thích nghi Li - Slotine cho robot

Bộ điều khiển Li - Slotine thích nghi đã giải quyết được vấn đề thông số trong phương trình động lực học của robot không biết chính xác được. Nhưng ở trên, ta đang giả thiết rằng tín hiệu tốc độ q là đo được và phản hồi về bộ điều khiển. Thực tế, ta không thể đo được tốc độ q hoặc nếu đo được thì cũng khó xác định chính xác. Trong nội dung bài báo đề xuất thay thế việc đo tốc độ bằng phương pháp sử dụng bộ quan sát trạng thái thích nghi. Nội dung của phương pháp dựa trên ý tưởng của bộ quan sát Luenberger.

3.2. Bộ quan sát trạng thái thích nghi

Từ [5] xác định:

$$\hat{M}\dot{v} + \hat{C}v + \hat{G} + K_d r = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (15)$$

Khi $\ddot{q} = \dot{v}$ động lực học cho mỗi khớp được viết như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_i \\ \ddot{q}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_i \\ \dot{q}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \dot{\eta}_i \quad (16)$$

$$\eta_i = M^{-1} [\tau_{dk} - (M\ddot{q} + C + G)]$$

Bộ quan sát thích nghi cho robot có dạng:

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_i \\ \ddot{q}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{q}_i \\ \hat{\dot{q}}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \dot{v}_i + L(q_i - \hat{q}_i) \quad (17)$$

Luật thích nghi theo Li - Slotine:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\theta}} &= \Gamma^{-1} Y^T r \\ \tau_{dk} &= Y \hat{\theta} + K_d r = \hat{M}\dot{v} + \hat{C}v + \hat{G} + K_d r \end{aligned} \quad (18)$$

Trong đó: $r = \dot{e} + \lambda e$; $\dot{v} = \ddot{q}_d + \lambda \dot{e}$; $\dot{e} = \dot{q}_d - \dot{q}$

Định nghĩa các trạng thái sai lệch như sau: Sai lệch quỹ đạo $e = q_d - q$, sai lệch quan sát $e_0 = q - \hat{q}$, $e = \dot{q} - \hat{\dot{q}}$ thay

thế $\dot{q} = \dot{q} - \dot{e}_0$ ta được $\dot{e} = \dot{e} + \dot{e}_0$. Vector sai lệch quỹ đạo và quan sát được viết $\zeta = [e, \dot{e}, e_0, \dot{e}_0]$. Có hai sai lệch tính đến là sai lệch ước lượng và sai lệch quan sát.

Thay (18) vào (15), ta được:

$$M\ddot{q} + H = \hat{M}\ddot{q}_d + \hat{M}\Lambda\dot{e} + \hat{H} + K_d r \quad (19)$$

Đặt: $\tilde{V} = V - \hat{V}$ (20)

$$\tilde{V}_0 = V - \hat{V} \quad (21)$$

$$\hat{V} = \hat{V} - \hat{V} \quad (22)$$

Từ (21) và (22) ta có:

$$\hat{V} = V - \tilde{V}_0 - \hat{V} \quad (23)$$

$$F = \tilde{V} + \hat{V} - K_d r \quad (24)$$

Thay (20) và (24) vào (19) ta được:

$$\hat{M}\ddot{q} + \hat{M}\Lambda\dot{e} = \hat{M}\ddot{q} + \tilde{M}\ddot{q} + H - \hat{H} - K_d r \quad (25)$$

Thay $\dot{e} = \dot{e} + \dot{e}_0$ và viết $\hat{V} = V - F - K_d r$ ta được:

$$\hat{M}\ddot{q} - \hat{M}\ddot{q} + \hat{M}\Lambda\dot{e} + \hat{M}\Lambda\dot{e}_0 = \tilde{M}\ddot{q} + F \quad (26)$$

Phương trình quỹ đạo sai lệch:

$$\ddot{e} + \Lambda\dot{e} = M^{-1} [\tilde{M}\ddot{q} + F] - \Lambda\dot{e}_0 \quad (27)$$

$$\ddot{e} + \Lambda\dot{e} = \hat{M}^{-1} [\tilde{M}\ddot{q} + F] \quad (28)$$

Viết: $\dot{e} = \dot{e} + \dot{e}_0$ và $\ddot{q}_d = 0$ vì thế $\ddot{q} = \ddot{q}_d - \ddot{e} = -\ddot{e}$, có thể viết (28) thành:

$$\ddot{e} + \Lambda\dot{e} + \Lambda\dot{e}_0 = -\hat{M}^{-1}(\zeta)\tilde{M}(\zeta)\ddot{e} + \hat{M}^{-1}(\zeta)F(\zeta) \quad (29)$$

$$\Rightarrow \ddot{e} + (I + \hat{M}^{-1}\tilde{M})^{-1}\Lambda\dot{e} = (I + \hat{M}^{-1}\tilde{M})^{-1}F - (I + \hat{M}^{-1}\tilde{M})\Lambda\dot{e}_0 \quad (30)$$

Bây giờ xét đến sai lệch quan sát. Viết lại phương trình động lực học robot bằng cách thay thế luật điều khiển:

$$M\ddot{q} + H = \hat{M}\dot{v} + \hat{M} + K_d r \quad (31)$$

$$\Rightarrow \ddot{q} = M^{-1} [\hat{M}\dot{v} + \hat{M} - M + K_d r] \quad (32)$$

Phương trình sai lệch quan sát:

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_0 \\ \ddot{e}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{q} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{\dot{q}} \\ \hat{\ddot{q}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \dot{v} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} M^{-1}(q) [\tilde{M}(q)\dot{v} - F] - \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{q} \\ \hat{\dot{q}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \dot{v} - L \quad (33)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_0 \\ \ddot{e}_0 \end{bmatrix} = [A-LH] \begin{bmatrix} e_0 \\ \dot{e}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} M^{-1} [\tilde{M}\dot{v} - F] \quad (34)$$

Trong đó: $A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$; $H = [I \ 0]$

Thay $\dot{v} = \ddot{q}_d \Lambda \dot{e}$; $\dot{e} = \dot{e} + \dot{e}_0$ ta có:

$$\begin{bmatrix} \ddot{e}_0 \\ \dot{e}_0 \end{bmatrix} = [A-LH] \begin{bmatrix} e_0 \\ \dot{e}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} M^{-1} \tilde{M} \Lambda \dot{e} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} M^{-1} \tilde{M} \Lambda \dot{e}_0 + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} M^{-1} F \quad (35)$$

Bây giờ tuyến tính hóa (30) và (35), viết $\ddot{e} = f(\zeta)$, tính $\frac{\partial f(\zeta)}{\partial(\zeta)}$ tại $\zeta = 0$ và loại bỏ các thành phần bậc cao, kết quả thu được sai lệch điều khiển như sau:

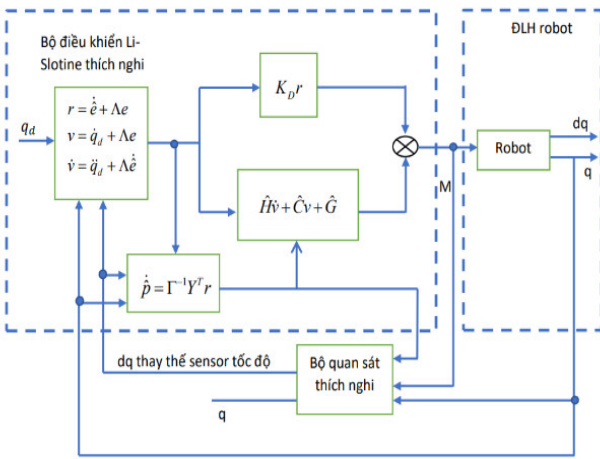
$$\ddot{e} + \Lambda \dot{e} = -\Lambda \dot{e}_0 \quad (36)$$

Ta có: Sai số quan sát: $\begin{cases} e_0 \rightarrow 0 \\ \dot{e}_0 \rightarrow 0 \end{cases}$ khi $t \rightarrow \infty$

Từ (36) $\rightarrow \ddot{e} + \Lambda \dot{e} = 0$. Sai số quỹ đạo: $\begin{cases} e_0 \rightarrow 0 \\ \dot{e}_0 \rightarrow 0 \end{cases}$ khi $t \rightarrow \infty$

Vậy với (15) dựa trên bộ quan sát trạng thái đảm bảo sai số quỹ đạo $e \rightarrow 0$ và sai số quan sát $e_0 \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$.

Hệ thống điều khiển thích nghi Li - Slotine kết hợp bộ quan sát trạng thái cho Robot, hình 2.



Hình 2. Hệ thống điều khiển thích nghi Li - Slotine và bộ quan sát trạng thái cho robot

Hình 2 cho thấy, cảm biến đo vị trí khớp robot đưa về bộ quan sát, bộ quan sát trạng thái sử dụng luật thích nghi để tính toán ước lượng các tham số hằng bất định của robot, gửi thông số quan sát tốc độ về bộ điều khiển thích nghi. Bộ điều khiển thích nghi sẽ nhận tín hiệu về vị trí robot thông qua cảm biến, tín hiệu phản hồi tốc độ thông qua bộ quan sát rồi tính toán để đưa ra moment điều khiển tương ứng tới robot và bộ quan sát

4. MÔ PHỎNG KIỂM CHỨNG QUA ROBOT ALMEGA 16

4.1. Mô phỏng tay máy Almega 16 với 3 bậc tự do trong không gian khớp

Để áp dụng bộ điều khiển thích nghi Li - Slotine ta sử dụng kết quả tính toán về mô hình toán học của Robot Almega 16 với 3 bậc tự do ở [5]. Với khối lượng của Robot Almega 16 là 250kg và $m_1 = 65\text{kg}$; $m_2 = 50\text{kg}$; $m_3 = 15\text{kg}$, $\hat{d}_1 = 0,1\text{m}$, $\hat{a}_2 = 0,065$; $\hat{a}_3 = 0,047$

Trong đó: \hat{d}_1 là khoảng cách giữa trục khớp 1 theo trục X; \hat{a}_2 ; \hat{a}_3 là khoảng cách giữa các trục khớp 2 và khớp 3 theo trục Z.

Kết quả của của bộ quan sát thích nghi trên bảng 1 và kết quả thông số của bộ điều khiển thích nghi Li-Slotine bảng 2.

Bảng 1. Thông số của bộ quan sát thích nghi

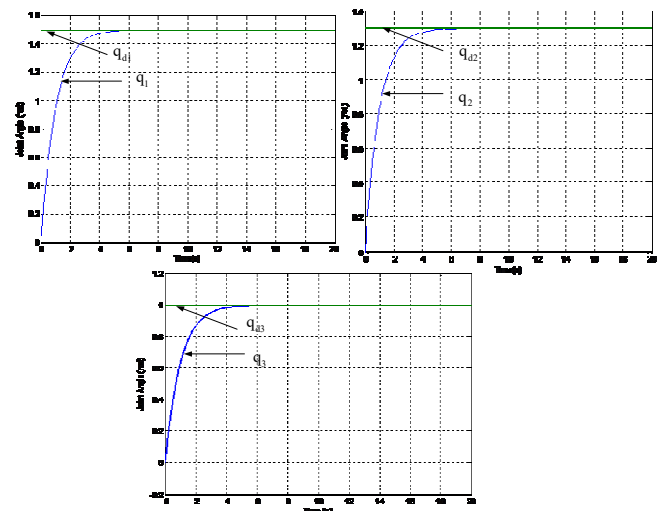
Tham số	Giá trị
L_1	$\begin{bmatrix} 1200 & 0 & 0 \\ 0 & 1200 & 0 \\ 0 & 0 & 1200 \end{bmatrix}$
L_2	$\begin{bmatrix} 1200 & 0 & 0 \\ 0 & 1200 & 0 \\ 0 & 0 & 1200 \end{bmatrix}$
L_3	$\begin{bmatrix} 1200 & 0 & 0 \\ 0 & 1200 & 0 \\ 0 & 0 & 1200 \end{bmatrix}$

Bảng 2. Thông số của bộ ĐKTN Li-Slotine

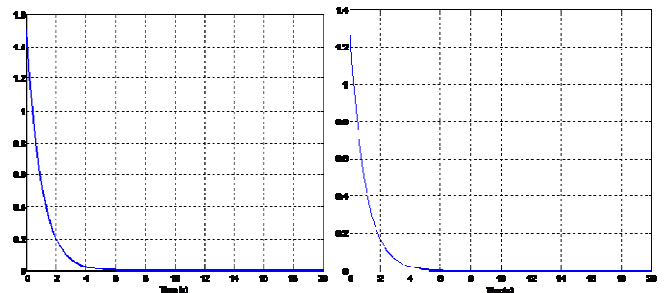
Ký hiệu	Giải thích ký hiệu	Thông số K_d, Γ
K_d	Hệ số điều chỉnh	$K_{d1} = 1000$; $K_{d2} = 1500$; $K_{d3} = 2000$
Γ	Ma trận chéo dương	$\Gamma_1 = 282$; $\Gamma_2 = 285$; $\Gamma_3 = 282$

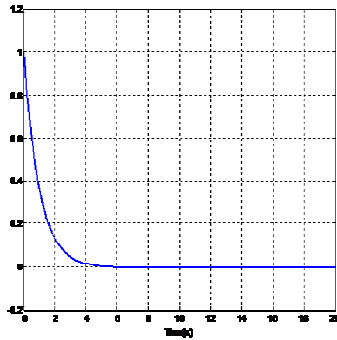
4.2. Kết quả mô phỏng

Trường hợp 1: Quỹ đạo đặt là hàm 1(t).



Hình 3. Biểu diễn giữa góc khớp đặt (q_{d1}, q_{d2}, q_{d3}) và góc khớp thực (q_1, q_2, q_3)

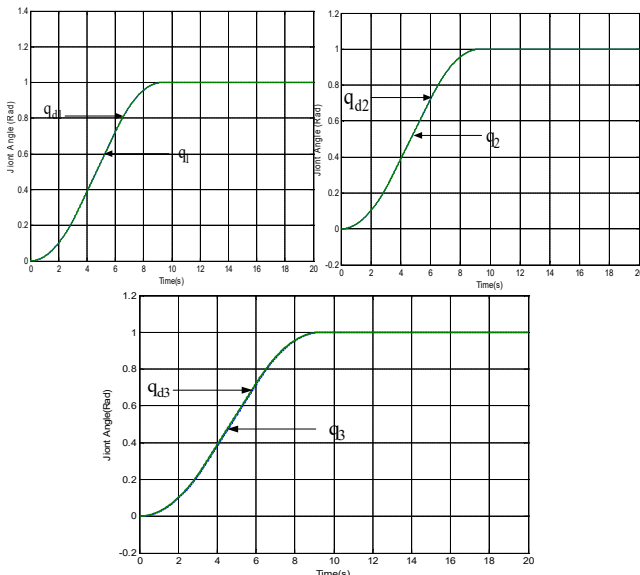




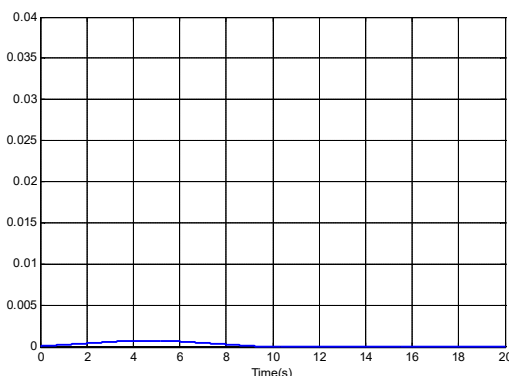
Hình 4. Biểu diễn sai lệch giữa các góc khớp đặt (q_{d1}, q_{d2}, q_{d3}) và góc khớp thực (q_1, q_2, q_3)

Nhận xét: Các góc khớp thực (q_{thuc}) của ba khớp đều bám góc khớp đặt (q_d) với sai lệch giữa các góc khớp đặt (q_d) và góc khớp thực (q_{thuc}) nhanh chóng tiến tới 0, hệ không có dao động.

Trường hợp 2: Quỹ đạo 2-1-2.



Hình 5. Biểu diễn giữa góc khớp đặt (q_{d1}, q_{d2}, q_{d3}) và góc khớp thực (q_1, q_2, q_3)



Hình 6. Biểu diễn sai lệch giữa các góc khớp đặt và góc khớp thực

Nhận xét:

Sai lệch lớn nhất:

$$e_{max} = \frac{5,9 \cdot 10^{-4}}{1} \cdot 100\% = 0,059\%$$

Sai lệch tĩnh: $e = 0\%$.

5. KẾT LUẬN

Với các kết quả mô phỏng được chứng minh trong mục 4 cho đối tượng điều khiển đã chọn, thấy rằng: hệ chuyển động robot Almaga 16 bám chính xác quỹ đạo cho trước mà không phụ thuộc vào thông số hằng bất định của mô hình toán học và các thành phần xen kẽ. Bộ quan sát sử dụng luật thích nghi dùng tính toán ước lượng các tham số trong mô hình toán học không biết hoặc không biết chính xác rồi chuyển các tín hiệu giá trị đã quan sát được về tốc độ. Các tín hiệu phản hồi vị trí robot thông qua cảm biến, tín hiệu phản hồi tốc độ thông qua bộ quan sát rồi tính toán để đưa ra moment điều khiển tương ứng tới robot và bộ quan sát. Tín hiệu đầu ra của bộ quan sát sẽ chuyển đến đầu vào của bộ điều khiển thích nghi và được chỉnh định lại các tham số bất định bằng luật cập nhật (13) sao cho các thông số thực cần xác định bám chính xác các thông số đặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Jean-Jacques E. Slotine, W. Li, 1991. *Applied Nonlinear Control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
 [2]. M.Erlc, W. S. Lu, 1995. *A reduced-order adaptive velocity observer for manipulator control*. IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 11, No. 2.
 [3]. R. Johansson, A. Robertsson, 2002. *Observer-based Strict Positive Real (SPR) Feedback Control System Design*. Automatica, Vol. 38, pp. 1557-1564.
 [4]. H. M. Schwartz and J.M. Daly, 2008. *An Approach to Output Feedback Adaptive Control for Robot Manipulators*. International Journal of Robotics and Automation, Vol.23, No.3.
 [5]. Vo Thu Ha, 2012. *Some control solutions to improve the movement quality of industrial manipulators*. PhD thesis, Hanoi University of Science and Technology.

AUTHORS INFORMATION

Vo Thu Ha¹, Vo Quang Vinh²

¹Faculty of Electrical Engineering, University of Economics - Technology for Industries, Hanoi, Vietnam

²Electric Power University, Hanoi, Vietnam