

ĐIỀU KHIỂN CẦN TRỤC THÁP BẰNG HỒI TIẾP TUYẾN TÍNH HÓA

CONTROL OF TOWER CRANES USING FEEDBACK LINEARIZATION

TS. LÊ ANH TUẤN

Khoa Cơ khí, Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Chúng tôi đề xuất một bộ điều khiển cải tiến cho chuyển động ba chiều của cần trục tháp bằng kỹ thuật hồi tiếp tuyến tính hóa. Bộ điều khiển đồng thời thực hiện bốn nhiệm vụ: quay tháp và di chuyển xe con đến vị trí yêu cầu, giữ nhỏ các góc lắc hàng trong suốt quá trình vận chuyển, và triệt tiêu hoàn toàn góc lắc hàng ở đích đến. Kết quả mô phỏng cho thấy các đáp ứng của hệ ổn định tiệm cận.

Abstract

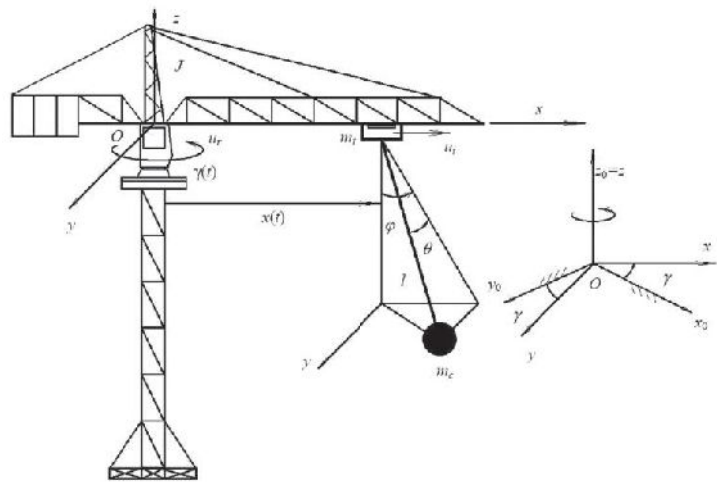
We propose an improved controller for the 3D motion of tower cranes based on feedback linearization. The controller concurrently conducts four duties: rotating tower and moving trolley to desired positions precisely, keeping small the cargo swings during transport process, and completely suppressing them at cargo destination. The simulation results show the asymptotical stability of system responses.

Key words: Feedback linearization, tower cranes.

1. Giới thiệu chung

Cần trục tháp được sử dụng phổ biến trong xây dựng, dùng để vận chuyển vật liệu và cấu kiện trong thi công nhà cao tầng. Cần trục tháp ngày nay thường được khai thác với tốc độ cao để tăng năng suất của quá trình làm hàng. Tốc độ khai thác nhanh dễ dẫn đến góc lắc hàng lớn và các cơ cấu hoạt động thiếu chính xác nếu cần trục không được trang bị luật điều khiển tốt. Điều này có thể gây nguy hiểm trong quá trình làm hàng, gây đổ cần trục, gây tai nạn trong khu vực khai thác. Bài toán điều khiển chống lắc hàng và dẫn động chính xác các cơ cấu khi khai thác nhanh cần trục tháp là vấn đề có tính thời sự, được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Omar và Nayfeh [1] đã thiết kế thuật toán điều khiển cho cần trục tháp bằng kỹ thuật gain–scheduling (một loại kỹ thuật điều khiển thích nghi) khi chiều dài cáp thay đổi. Masoud và cộng sự [2] đã thiết kế bộ điều khiển cho cần trục tháp bằng kỹ thuật hồi tiếp trễ (time-delayed feedback). Golafshani [3] đã đề xuất một bộ điều khiển đảm bảo tối ưu quỹ đạo chuyển động của hàng. Vaughan và cộng sự [4] giảm lắc hàng của cần trục tháp bằng kỹ thuật nắn tín hiệu vào (input shaping). Đây là kỹ thuật điều khiển truyền thẳng (feedforward control) có kết hợp với người điều khiển.

Khác với các công bố ở trên [1-4], công trình này tiếp cận bài toán điều khiển cần trục tháp theo hướng điều khiển bằng kỹ thuật hồi tiếp tuyến tính hóa. Đầu tiên, ta xây dựng mô hình toán của cần trục tháp trong trường hợp phối hợp đồng thời sự hoạt động của cơ cấu quay và cơ cấu di chuyển xe con. Mô hình toán là một hệ gồm bốn phương trình vi phân phi tuyến mô tả đầy đủ tính chất động lực của hệ. Mô hình toán của cần trục tháp có số tín hiệu ra lớn hơn số tín hiệu vào. Có bốn tín hiệu ra cần điều khiển gồm: Vị trí của xe con mang



Hình 1. Mô hình vật lý cần trục tháp

hàng x_r , góc xoay của tháp cầu γ và hai góc lắc của hàng φ và θ . Chỉ có hai tín hiệu điều khiển gồm lực đẩy xe con u_r và mô men quay tháp cầu u_γ (Xem hình 1). Bộ điều khiển cùng lúc thực hiện bốn nhiệm vụ: (i) dẫn động chính xác xe con (ii) quay tháp cầu chính xác đến góc quay yêu cầu (iii) giữ nhỏ các góc lắc hàng trong suốt quá trình nâng chuyển (iv) triệt tiêu hoàn toàn các góc lắc này

ở đích đến. Tiếp đến, một bộ điều khiển được thiết kế bằng kỹ thuật hồi tiếp tuyến tính hóa để đảm bảo ổn định tiệm cận của bốn tín hiệu ra.

Cấu trúc bài báo gồm: Mục 2 giới thiệu mô hình toán, mục 3 thiết kế luật điều khiển, mục 4 mô phỏng số, mục 5 đưa ra kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Mô hình toán

Mô hình toán gồm bốn phương trình vi phân phi tuyến đã được thiết lập trong [5], được viết gọn lại dưới dạng ma trận như sau:

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

với $\mathbf{q} = [x \ \gamma \ \varphi \ \theta]^T$ là tọa độ suy rộng. Các phần tử của

$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = [m_{ij=1+4}]$, $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = [c_{ij=1+4}]$, $\mathbf{G}(\mathbf{q}) = [0 \ 0 \ g_1 \ g_2]^T$, và $\mathbf{F} = [u_l \ u_r \ 0 \ 0]^T$ lần lượt xác định bằng các biểu thức:

$$\begin{aligned} m_{11} &= (m_t + m_c); m_{22} = (J + (m_t + m_c).x^2 + m_c l^2 \sin^2 \theta + m_c l^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \theta + 2m_l \sin \varphi \cos \theta x); \\ m_{33} &= m_c l^2 \cos^2 \theta; m_{44} = m_c l^2; m_{12} = m_{21} = m_l \sin \theta; m_{13} = m_{31} = m_l \cos \varphi \cos \theta; \\ m_{14} &= m_{41} = -m_c l \sin \varphi \sin \theta; m_{23} = m_{32} = 0.5 m_c l^2 \cos \varphi \sin 2\theta; m_{24} = m_{42} = -(m_c l^2 \sin \varphi + m_l \cos \theta x); \\ c_{11} &= b_x; c_{12} = (m_l \cos \theta (\dot{\theta} - \sin \varphi \dot{\varphi}) - (m_t + m_c).x\dot{\gamma}); c_{13} = -m_c l (\cos \varphi \sin \theta \dot{\theta} + \sin \varphi \cos \theta \dot{\varphi}); \\ c_{14} &= m_c l (\cos \theta \dot{\gamma} - \cos \varphi \sin \theta \dot{\varphi} - \sin \varphi \cos \theta \dot{\theta}); c_{21} = (2(m_t + m_c).x + m_l \sin \varphi \cos \theta)\dot{\gamma}; \\ c_{22} &= b_\gamma + m_c l (\sin \varphi \cos \theta \dot{x} + \cos \varphi \cos \theta x \dot{\varphi} - \sin \varphi \sin \theta x \dot{\theta}) + m_c l^2 (\sin 2\varphi \cos^2 \theta \dot{\varphi} + \cos^2 \varphi \sin 2\theta \dot{\theta}); \\ c_{23} &= m_c l (\cos \varphi \cos \theta x \dot{\gamma} - l(0.5 \sin \varphi \sin 2\theta \dot{\varphi} + \cos \varphi \dot{\theta})); c_{32} = -m_c l (0.5 \sin 2\varphi \cos^2 \theta \dot{\gamma} + \cos \varphi \cos \theta x \dot{\gamma}); \\ c_{24} &= m_c l (l \cos 2\theta \cos \varphi \dot{\varphi} + (\sin \theta x \dot{\theta} - \sin \varphi \sin \theta x \dot{\gamma})); c_{33} = b_\theta - 0.5 m_c l^2 \sin 2\theta \dot{\theta}; c_{41} = -m_c l \cos \theta \dot{\gamma}; \\ c_{34} &= m_c l^2 (2 \cos^2 \theta \cos \varphi \dot{\gamma} - 0.5 \sin 2\theta \dot{\varphi}); c_{42} = m_c l (\sin \varphi \sin \theta x \dot{\gamma} - \cos \theta \dot{x} - 0.5 \cos^2 \varphi \sin 2\theta \dot{\gamma}); \\ c_{43} &= m_c l^2 (0.5 \sin 2\theta \dot{\varphi} - 2 \cos^2 \theta \cos \varphi \dot{\gamma}); c_{44} = b_\theta; g_1 = m_c g / \cos \theta \sin \varphi; g_2 = m_c g / \sin \theta \cos \varphi. \end{aligned}$$

3. Thiết kế luật điều khiển

Ta xây dựng luật điều khiển $[u_l \ u_r]^T$ để dẫn tín hiệu ra $\mathbf{q} = [x \ \gamma \ \varphi \ \theta]^T$ đến giá trị yêu cầu $\mathbf{q}_d = [x_d \ \gamma_d \ 0 \ 0]^T$ một cách tiệm cận. Cần trực tháp có bốn tín hiệu ra nhưng chỉ có hai tín hiệu điều khiển. Mô hình toán (1) được tách ra làm hai hệ con: Một tương ứng với trạng thái chủ động $\mathbf{q}_1 = [x \ \gamma]^T$ và một tương ứng với trạng thái bị động $\mathbf{q}_2 = [\varphi \ \theta]^T$. Hai hệ con gồm:

$$\mathbf{M}_{11}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 = \mathbf{F}_1 \quad (2)$$

$$\mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{M}_{22}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 + \mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{G}_2(\mathbf{q}) = \mathbf{0} \quad (3)$$

Ở đây, $\mathbf{M}_{11}(\mathbf{q})$, $\mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})$, $\mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})$, $\mathbf{M}_{22}(\mathbf{q})$ là các ma trận con của $\mathbf{M}(\mathbf{q})$. $\mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $\mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $\mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $\mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ là các ma trận con của $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$. Các ma trận này xác định bởi:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{11}(\mathbf{q}) & \mathbf{M}_{12}(\mathbf{q}) \\ \mathbf{M}_{21}(\mathbf{q}) & \mathbf{M}_{22}(\mathbf{q}) \end{bmatrix}, \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) & \mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \\ \mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) & \mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \end{bmatrix}.$$

Các hệ con này cho thấy chỉ có trạng thái chủ động được điều khiển trực tiếp bởi tín hiệu điều khiển. Trong khi đó, không rõ trạng thái bị động có liên hệ như thế nào với tín hiệu điều khiển. Để rõ hơn, hệ con (2) và (3) được viết lại dưới dạng tường minh:

$$\ddot{\mathbf{q}}_1 = \mathbf{M}_{11}^{-1}(\mathbf{q})(-\mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_2 - \mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 - \mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{F}_1) \quad (4)$$

$$\ddot{\mathbf{q}}_2 = \mathbf{M}_{22}^{-1}(\mathbf{q})(-\mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_1 - \mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 - \mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 - \mathbf{G}_2(\mathbf{q})) \quad (5)$$

Lần lượt thay (5) vào (2), (4) vào (3), ta được hai hệ con:

$$\bar{\mathbf{M}}_1(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_1 + \bar{\mathbf{C}}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 + \bar{\mathbf{C}}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{G}_1(\mathbf{q}) = \mathbf{F}_1 \quad (6)$$

$$\bar{\mathbf{M}}_2(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}_2 + \bar{\mathbf{C}}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 + \bar{\mathbf{C}}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{G}_2(\mathbf{q}) = \mathbf{F}_2 \quad (7)$$

với:

$$\bar{\mathbf{M}}_1(\mathbf{q}) = \mathbf{M}_{11}(\mathbf{q}) - \mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{22}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{21}(\mathbf{q}), \mathbf{G}_1(\mathbf{q}) = -\mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{22}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{G}_2(\mathbf{q}),$$

$$\bar{\mathbf{C}}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{22}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}),$$

$$\bar{\mathbf{C}}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mathbf{M}_{12}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{22}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}),$$

$$\bar{\mathbf{M}}_2(\mathbf{q}) = \mathbf{M}_{22}(\mathbf{q}) - \mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{11}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{12}(\mathbf{q}), \mathbf{F}_2 = -\mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{11}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{F}_1,$$

$$\bar{\mathbf{C}}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{C}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{11}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}),$$

$$\bar{\mathbf{C}}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{C}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mathbf{M}_{21}(\mathbf{q})\mathbf{M}_{11}^{-1}(\mathbf{q})\mathbf{C}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}),$$

Phương trình (6) và (7) thể hiện dạng khác mô hình toán cần thực tháp. Mô hình này cho thấy quan hệ tường minh giữa trạng thái bị động và tín hiệu điều khiển. Luật điều khiển phi tuyến $\mathbf{F}_1 = [\mathcal{U}_l \ \mathcal{U}_r]^T$ được thiết kế để dẫn xe con và quay tháp đến chính xác vị trí yêu cầu $\mathbf{q}_{1,d} = [x_d \ \gamma_d]^T$. Đồng thời, nó giữ nhỏ góc lắc hàng $\mathbf{q}_2 = [\varphi \ \theta]^T$ suốt quá trình vận chuyển, và triệt tiêu hoàn toàn ($\mathbf{q}_{2,d} = [0 \ 0]^T$) ở đích đến. Xem trạng thái chủ động là tín hiệu ra, hệ động lực (6)÷(7) được viết lại:

$$\ddot{\mathbf{q}}_1 = \bar{\mathbf{M}}_1^{-1}(\mathbf{q})(-\bar{\mathbf{C}}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 - \bar{\mathbf{C}}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 - \mathbf{G}_1(\mathbf{q}) + \mathbf{F}_1) \quad (8)$$

$$\ddot{\mathbf{q}}_2 = \bar{\mathbf{M}}_2^{-1}(\mathbf{q})(-\bar{\mathbf{C}}_{21}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 - \bar{\mathbf{C}}_{22}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 - \mathbf{G}_2(\mathbf{q}) + \mathbf{F}_2) \quad (9)$$

với phương trình tín hiệu ra:

$$\mathbf{y} = \mathbf{q}_1 \quad (10)$$

Các biểu thức (8) và (9) xác định với mọi $l > 0$, $\varphi < \pi/2$ và $\theta < \pi/2$. Dùng kỹ thuật hồi tiếp phi tuyến, ta “tuyến tính hóa” phần chủ động (8) bằng cách đặt:

$$\mathbf{F}_1 = \bar{\mathbf{M}}_1(\mathbf{q})\mathbf{V} + \bar{\mathbf{C}}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_1 + \bar{\mathbf{C}}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}}_2 + \mathbf{G}_1(\mathbf{q}) \quad (11)$$

dẫn đến:

$$\ddot{\mathbf{q}}_1 = \mathbf{V} \quad (12)$$

với $\mathbf{V} \in \mathcal{R}^2$ là tín hiệu điều khiển quy đổi. Để ổn định trạng thái \mathbf{q}_1 , đặt:

$$\mathbf{V} = \ddot{\mathbf{q}}_{1,d} - \mathbf{K}_d(\dot{\mathbf{q}}_1 - \dot{\mathbf{q}}_{1,d}) - \mathbf{K}_p(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_{1,d}) \quad (13)$$

dẫn đến phương trình vi phân của sai số tín hiệu trạng thái chủ động:

$$\ddot{\mathbf{e}}_1 + \mathbf{K}_d \dot{\mathbf{e}}_1 + \mathbf{K}_p \mathbf{e}_1 = \mathbf{0} \quad (14)$$

với $\mathbf{e}_1 = \mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_{1,d}$ và $\mathbf{K}_d = \text{diag}(K_{d1}, K_{d2})$ và $\mathbf{K}_p = \text{diag}(K_{p1}, K_{p2})$.

Phương trình vi phân (14) ổn định với mọi ma trận xác định dương \mathbf{K}_d và \mathbf{K}_p . Vậy trạng thái \mathbf{q}_1 trượt tiệm cận đến giá trị tham chiếu $\mathbf{q}_{1,d}$ khi $t \rightarrow \infty$. Thay (13) vào (11) ta được luật điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa:

$$\mathbf{F}_1 = \bar{\mathbf{M}}_1(\mathbf{q}) \{ \ddot{\mathbf{q}}_{1,d} - \mathbf{K}_d(\dot{\mathbf{q}}_1 - \dot{\mathbf{q}}_{1,d}) - \mathbf{K}_p(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_{1,d}) \} + \bar{\mathbf{C}}_{11}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}}_1 + \bar{\mathbf{C}}_{12}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}}_2 + \bar{\mathbf{G}}_1(\mathbf{q}) \quad (15)$$

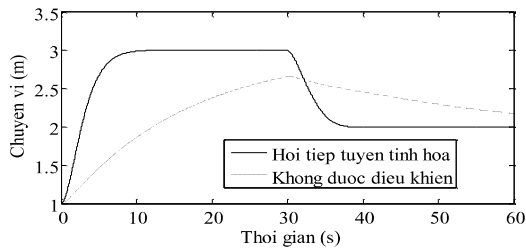
4. Mô phỏng và kết quả

Hệ động lực (2)&(3) dẫn động bởi luật điều khiển (15) gồm 4 phương trình vi phân cấp 2 phi tuyến. Để mô phỏng số, ta chuyển hệ thành này thành 8 phương trình vi phân cấp 1, sau đó mô phỏng bằng thuật toán Runge–Kutta bậc 4 lập trình trên môi trường MATLAB. Kết quả mô phỏng hiện trên các hình từ 2 đến 5. Các thông số dùng trong mô phỏng cho trên bảng 1. Các thông số của bộ điều khiển gồm \mathbf{K}_d và \mathbf{K}_p được xác định bằng kỹ thuật “gần đúng dần” (Trial and error).

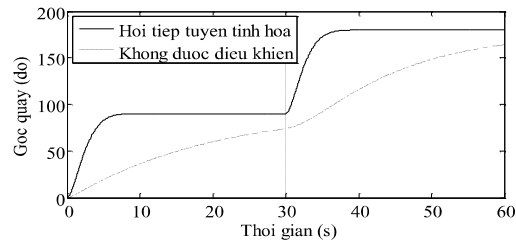
Xe con di chuyển chính xác đến các vị trí yêu cầu một cách tiệm cận (hình 2). Tháp được điều khiển để quay đến các góc quay yêu cầu một cách tiệm cận (hình 3). Các góc lắc hàng được giữ nhỏ trong suốt quá trình vận chuyển ($\varphi_{\max 1} = 5^\circ$, $\varphi_{\max 2} = 2,5^\circ$, $\theta_{\max 1} = 3^\circ$, $\theta_{\max 2} = -0,8^\circ$) và triệt tiêu hoàn toàn ở đích đến (hình 4&5). Khi không được điều khiển, các đáp ứng không đạt được các giá trị xác lập, đáp ứng góc lắc hàng bị phân kỳ (hình 4) hoặc tắt chậm (hình 5).

Bảng 1. Thông số mô phỏng điều khiển cần trục tháp

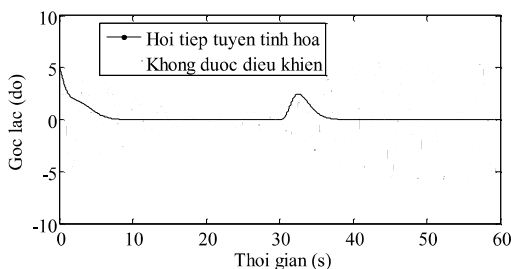
Các thông số của cần trục tháp	Bộ điều khiển
$m_c = 400 \text{ kg}; m_t = 500 \text{ kg};$	$K_{d1} = 1,2;$
$J = 90 \text{ kgm}^2; l = 3 \text{ m};$	$K_{d2} = 1,4;$
$b_x = 90 \text{ Ns/m}; b_g = 140 \text{ N s/m};$	$K_{p1} = 0,4;$
$b_l = 12 \text{ N s/m}; b_p = 12 \text{ N s/m};$	$K_{p12} = 0,55;$



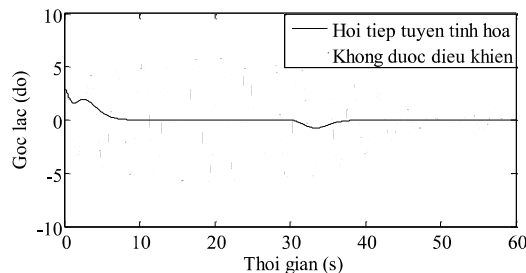
Hình 2. Chuyển động xe con



Hình 3. Quay tháp



Hình 4. Góc lắc hàng phi



Hình 5. Góc lắc hàng theta

Bảng 2 so sánh hai chỉ tiêu chất lượng của đáp ứng của công trình này với công trình [1] dùng kỹ thuật thích nghi - gain scheduling. Không như bộ điều khiển gain scheduling [1], lượng quá điều chỉnh của bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa hầu như không tồn tại. Xe con mang hàng và tháp dừng chính xác đúng vị trí yêu cầu. Góc lắc hàng của bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa (15) được giữ nhỏ hơn nhiều so với góc lắc hàng được điều khiển bởi luật thích nghi [1].

Bảng 2. So sánh các chỉ tiêu chất lượng của đáp ứng hệ thống điều khiển

	Hồi tiếp tuyến tính hóa		Thích nghi - gain scheduling [1]	
	Thời gian tăng (s)	Lượng quá điều chỉnh	Thời gian tăng (s)	Lượng quá điều chỉnh
Chuyển vị xe con	12	0	3	0.1 m
Quay tháp	7	0	3.5	0
Góc lắc hàng φ	8	3.2^0	3.8	14^0
Góc lắc hàng θ	8	1.6^0	3.6	7^0

5. Kết luận

Bằng kỹ thuật hồi tiếp tuyến tính hóa, chúng tôi đã thiết kế thành công một bộ điều khiển phi tuyến cho chuyển động ba chiều của cần trục tháp. Bộ điều khiển làm việc hiệu quả, có chất lượng tốt, và ổn định tiệm cận tất cả các tín hiệu ra của hệ: Xe con và tháp được dẫn động đến vị trí yêu cầu một cách chính xác, hàng không bị lắc lớn trong suốt quá trình vận chuyển và bị dập tắt hoàn toàn ở đích đến. Nếu được kiểm chứng thực nghiệm, bộ điều khiển này có thể áp dụng vào cần trục tháp trong thực tế, góp phần điều khiển chống lắc hàng và khai thác nhanh cần trục. Bộ điều khiển hồi tiếp tuyến tính hóa (15) có cấu trúc tương đối đơn giản, dễ mô phỏng, dễ thực nghiệm và dễ áp dụng vào thực tế. Tuy nhiên luật điều khiển này đòi hỏi mô hình toán của hệ phải chính xác nếu muốn bộ điều khiển làm việc hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Omar, H. M. and Nayfeh, A. H. Gain scheduling feedback control for tower cranes. *Journal of Vibration and Control*, 2003, 9 (3-4), 399-418.
- [2] Masoud, Z. N., Nayfeh, A. H., and Mousa, A. A. Delayed position feedback controller for the reduction of payload pendulations of rotary cranes. *Journal of Vibration and Control*, 2003, 9 (1-2), 257-277.
- [3] Golafshani, A. R. Modeling and optimal control of tower crane motions, *PhD thesis*, University of Waterloo, Ontario, Canada, 1999.
- [4] Vaughan, J., Kim, D., and Singhose, W. Control of tower crane with double-pendulum payload dynamics. *IEEE Transactions on Control System Technology*, 2010, 18 (6), 1345-1358.
- [5] Tuan, L. A., Dang, V. H., Ko, D. H., Tran, N. A., and S. G. Lee. Nonlinear controls of a rotating tower crane in conjunction with trolley motion, *Journal of Systems and Control Engineering*, 227 (5) (2013) 451-460.

Người phản biện: PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu; PGS.TS. Lê Văn Học

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO HỆ THỐNG BƠM GẠM HÚT HIỆU QUẢ DẦU TRÀN TỪ TÀU BIỂN DESIGN EFFECTIVE OIL SKIMMING SYSTEM TO SKIM FLOATING OIL THAT SPILLED FROM SHIPS

TS. TRẦN HỒNG HÀ

Khoa Máy tàu biển, Trường ĐHHH Việt Nam

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu của nhóm kỹ sư máy trường Hàng hải về một hệ thống hút gạn dầu tràn hiệu quả. Trong hệ thống này, bơm màng được lựa chọn sử dụng trong hệ thống do nó có khả năng tự hút cao và có thể hút được chất lỏng có độ nhớt lớn. Năng lượng sử dụng cho bơm được cấp từ một máy nén khí, cả bơm và máy nén khí lắp trên một xe vận chuyển cơ động để có thể di chuyển tới các vị trí khác nhau. Hệ thống được thử nghiệm tại hồ huấn luyện của trường Hàng Hải và cầu cảng Đình Vũ. Kết quả thử nghiệm cho thấy lưu lượng hút gạn đạt tới 30 m³/h với chiều dài ống hút tới 20 m và chiều cao hút tới 8 m.

Abstract

This paper introduces a research result of the marine engineers of VIMARU that designed an effective oil skimming system. In this system a diaphragm pump is selected it has good self-priming move and can pump high viscosity liquid. Energy used for pump