

HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BẮM QUĨ ĐẠO CHO ROBOT HÀN TỰ HÀNH TRAJECTORY TRACKING CONTROL FOR SELF-PROPELLED WELDING ROBOT

Nguyễn Mạnh Tiến, Bùi Văn Hạnh, Nguyễn Danh Huy, Nguyễn Thị Liên Anh
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot hàn đã được quan tâm trong một số năm gần đây nhằm mục đích chủ động chế tạo sản phẩm trong nước với giá thành thấp so với ngoại nhập. Ngành đóng tàu ở Việt Nam với những bước phát triển mới đòi hỏi sự sử dụng các robot hàn tự hành. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về hệ thống điều khiển robot hàn tự hành và xây dựng mô hình toán học tổng quát của cơ cấu robot hàn tự hành. Với tỉ số truyền hộp truyền lớn, mô hình phân ly cho hệ thống truyền động-cơ cấu chuyển động của mô hình robot hàn được xây dựng trên cơ sở coi thành phần mô men phi tuyến và ràng buộc của hệ thống chuyển động là nhiễu với chuyển động một khớp; xây dựng hệ thống điều khiển hệ thống truyền động với 3 mạch vòng điều khiển và tổng hợp tham số các bộ điều khiển dòng điện, tốc độ động cơ và vị trí tay robot dựa trên các tiêu chuẩn tối ưu. Các kết quả mô phỏng quỹ đạo chuyển động của cơ cấu robot được minh họa.

ABSTRACT

A research, design and production of the welding robots have been interested in recent years for a purpose of producing them with lower price than the price of imported ones. With new developments, the shipbuilding industry in Vietnam has required a large number of self-propelled welding robots. This paper introduces some research results of trajectory control system of self-propelled welding robot for the shipbuilding industry. The paper presents generally mathematical model of self-propelled welding robot. With the high gear reduction ratios of the robot mechanism, the components of nonlinear interacting term of the robot are treated as disturbance for the single joint. On the basis of this, the decoupling model of robot drive system is built. The servo control system with three control loops including the motor current and speed loops as well as end-effector position one are designed and parameters of the current, speed and position controllers are synthesized based on optimal criteria. Some simulation results of self-propelled-welding robot trajectories are illustrated.

I. MỞ ĐẦU

Robot hàn tự hành đóng vai trò quan trọng trong công nghiệp đóng tàu thủy ở Việt nam với sự góp phần nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Các nghiên cứu, thiết kế và chế tạo robot hàn tự hành đã và đang được thực hiện nhằm tạo cơ sở cho chế tạo trong nước robot hàn đáp ứng nhu cầu công nghiệp đóng tàu ở Việt nam với chất lượng cao, giá thành thấp so với ngoại nhập.

Bài báo sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu về hệ thống điều khiển của robot hàn tự hành. Dựa vào hệ thống cơ khí của robot hàn tự hành, sẽ xây dựng mô hình toán học tổng quát cơ cấu robot hàn. Cơ cấu robot có tỉ số truyền bộ truyền khá lớn, ảnh hưởng ràng buộc giữa các khớp và tính phi tuyến của hệ thống chuyển động nhỏ. Trên cơ sở đó, sẽ xây dựng

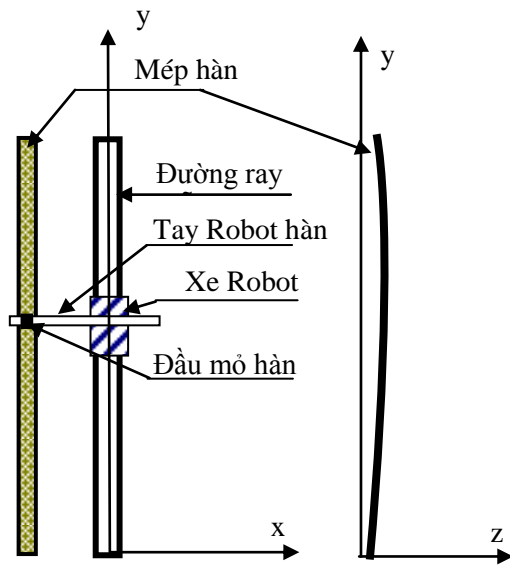
mô hình toán học độc lập cho một khớp robot, khi coi thành phần mô men phi tuyến ràng buộc của hệ thống chuyển động robot là tín hiệu nhiễu tải đối với chuyển động một khớp. Hệ thống điều khiển chuyển động một khớp được thiết kế với 3 mạch vòng điều khiển dòng điện, tốc độ động cơ và vị trí đầu hàn. Hệ thống điều khiển đơn giản, dễ thực hiện trong thực tế do các bộ điều khiển chuyển động của khớp có thể được thiết kế độc lập, không phụ thuộc vào tham số các khớp lân cận đảm bảo độ chính xác di chuyển của đầu hàn theo yêu cầu công nghệ hàn.

Bài báo gồm 4 mục : Mô hình cơ cấu robot hàn tự hành , mô hình toán học cơ cấu robot , hệ thống điều khiển độc lập một khớp; và kết quả mô phỏng quá trình robot di chuyển theo quỹ đạo hàn đặt trước.

II. CƠ CẤU ROBOT TỰ HÀNH

Robot hàn tự hành với cơ cấu di chuyển bao gồm 4 trục với các chuyển động để hàn các mối hàn leo giáp mỗi khi ghép nối tổng đoạn vỏ tàu thủy như mô tả trên hình 1 và hình 2 là ảnh cơ cấu robot hàn tự hành.

Trục thứ nhất di chuyển đầu hàn theo trục y, trục thứ hai di chuyển đầu hàn theo trục x, trục thứ ba di chuyển đầu hàn theo trục z có phương vuông góc với thân tàu, trục thứ tư có chức năng lắc đầu hàn ngang đường hàn theo độ rộng cần thiết đường hàn. Trong đó 3 chuyển động theo các trục x,y,z được phối hợp để tạo thành quỹ đạo chuyển động của đầu hàn bám theo mép hàn trên thân tàu.



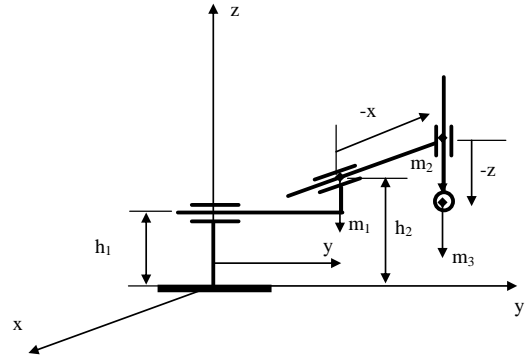
Hình 1. Mô hình cơ cấu robot hàn tự hành



Hình 2. Hình ảnh cơ cấu robot hàn tự hành

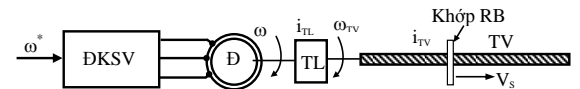
III. MÔ HÌNH TOÁN HỌC ROBOT

Hình 3 mô tả hệ tọa độ và các thông số của cơ cấu robot. Coi khối lượng thanh nối robot tập trung tại các điểm cuối các thanh nối tương ứng.



Hình 3. Mô tả động học cơ cấu robot

Trên hình 4 mô tả cơ cấu chuyển động của một khớp robot hàn. Động cơ Đ là động cơ servo xoay chiều được cấp điện từ bộ Điều khiển servo (ĐKSV) sẽ truyền chuyển động cho trục vít TV thông qua bộ truyền lực, cơ cấu khớp robot chuyển động tịnh tiến với tốc độ V_s nhờ hệ thống trục vít với bước răng S_0 .



Hình 4. Cơ cấu chuyển động của khớp robot

Phương trình động lực học của cơ cấu robot hàn tự hành được viết ở dạng tổng quát [1, 2] như sau :

$$\bar{M} = H(\bar{q})\ddot{\bar{q}} + V(\bar{q}, \dot{\bar{q}}) + G(\bar{q}) \quad (1)$$

với các ma trận thành phần có dạng :

$$H(\bar{q}) = \begin{bmatrix} m_2 + m_3 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 + m_2 + m_3 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$V(\bar{q}, \dot{\bar{q}}) = 0 \quad ; \quad G(\bar{q}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m_3 g \end{bmatrix}$$

$$\bar{q} = [x, y, z]^T$$

m_1, m_2, m_3 : Tương ứng là khối lượng các thanh nối 1, 2, 3.

Động cơ truyền động các khớp cơ cấu robot là các động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu. Theo [3], phương trình điện áp stato động cơ khớp i được viết ở dạng :

$$\bar{u}_{si} = R_{si} \bar{i}_{si} + L_{si} \frac{d\bar{i}_{si}}{dt} + j\omega_{si} \bar{\Psi}_{pi} \quad (2)$$

Ở chế độ điều khiển góc mô men δ duy trì 90° , mô men động cơ khớp i được viết ở dạng:

$$M_{Di} = \frac{3}{2} p_p \Psi_{pi} I_{qsi} = K_{mi} I_{si} \quad (3)$$

Phương trình điện áp stato (2) được viết ở dạng toán tử laplace:

$$U_{si}(p) = R_{si}(1 + T_{si}p)I_{si}(p) + \Psi_{pi}\omega_{si}(p) \quad (4)$$

Từ (4) dòng điện I_{si} được xác định theo :

$$I_{si} = \frac{U_{si}(p) - \Psi_{pi}\omega_{si}(p)}{R_{si}(1 + T_{si}p)} \quad (5)$$

Từ (1), phương trình mô men một khớp robot hàn được viết ở dạng :

$$M_i = H_{ii}\ddot{q}_i + G_i(\bar{q}) \quad (6)$$

Thành phần H_{ii} có thể viết tách thành hai thành phần :

$$H_{ii} = H_{oii} + \Delta H_{ii} \quad (7)$$

Trong đó: H_{oii} – Thành phần chỉ chứa các hằng số khớp i .

ΔH_{ii} – Thành phần chứa các hằng số khớp khác i và biến khớp.

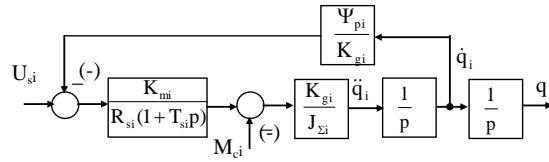
Khi đó (6) được viết ở dạng :

$$M_i = H_{oii}\ddot{q}_i + [\Delta H_{ii}\ddot{q}_i + G_i(\bar{q})] \quad (8)$$

Thành phần đầu của mô men khớp (8) chỉ phụ thuộc vào tham số hằng số khớp i , thành phần thứ hai biểu thị sự ràng buộc giữa các khớp và sự phi tuyến của robot.

Mô men khớp robot qui đổi về trục động cơ ở dạng toán tử laplace có dạng :

$$M'_i(p) = K_{gi} \{ H_{oii}p^2q_i(p) + [\Delta H_{ii}p^2q_i(p) + G_i(\bar{q})] \} \quad (9)$$



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc hệ thống truyền động khớp robot

Mô hình toán học cơ cấu động cơ – robot của một khớp được mô tả bằng các phương trình (3), (5) và (9) được trình bày trên hình 5. Trên sơ đồ hình 5 :

$M_{ci} = M_{oi} + K_{gi}[\Delta H_{ii}\ddot{q}_i + G_i(\bar{q})]$ - Mô men cản hệ truyền động khớp i .

M_{oi} - Mô men tổn hao trong hộp truyền

$K_{gi} = \frac{v_i}{\omega_i}$ - Hệ số truyền từ trục vít về trục động cơ.

$J_{\Sigma i} = J_{Di} + K_{gi}^2 H_{oii}$ - Mô men quán tính tổng qui đổi về trục động cơ

v_i - Tốc độ của thanh nối robot (mm/s).

ω_i - Tốc độ quay động cơ.

J_{Di} – Mô men quán tính động cơ khớp (Kgm²)

Mô men cản biểu thị sự ràng buộc phi tuyến giữa các khớp. Do hộp giảm tốc của các khớp robot hàn có giá trị lớn, nên hệ số truyền k_{gi} nhỏ, có thể coi thành phần mô men biểu thị sự ràng buộc giữa các khớp là thành phần nhiễu của khớp i . Như vậy mô hình robot sẽ gồm 3 hệ thống độc lập nhau. Điều đó cho phép dễ dàng tổng hợp hệ thống điều khiển các khớp.

IV. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN MỘT KHỚP

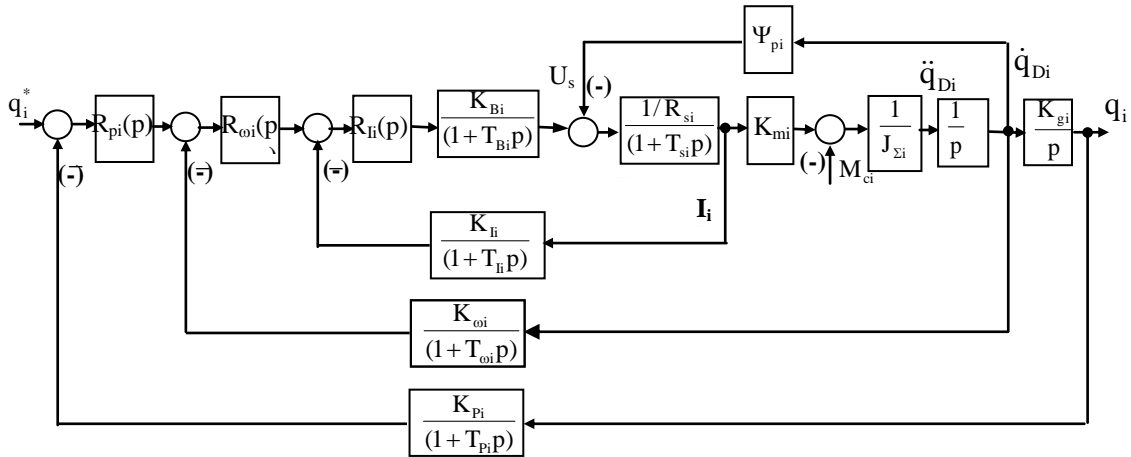
Sơ đồ hệ thống điều khiển phản hồi điển hình cho một khớp được thiết kế có dạng như hình 6. Hệ thống điều khiển gồm 3 mạch vòng điều chỉnh dòng điện, tốc độ và vị trí khớp với 3 bộ điều khiển tương ứng là $R_i(p)$, $R_\omega(p)$ và $R_p(p)$. Cấu trúc bộ điều khiển dòng điện, tốc độ được tổng hợp theo các tiêu chuẩn tối ưu có

$$\text{dạng: } R_i(p) = \frac{1 + T_s p}{2K_{oi} T_{oi}}; R_\omega(p) = \frac{1 + 4T_{oo} p}{2K_{oo} T_{oo}}$$

$$R_p(p) = \frac{1}{2K_{oP}T_{oP}} \quad (10)$$

K_{oI} , $K_{o\omega}$, K_{oP} – Tương ứng là hệ số khuếch đại hệ hở mạch vòng dòng điện, tốc độ và vị trí.

Trong đó : $T_s=L_s/R_s$ - Hằng số thời gian stato.



Hình 6. Sơ đồ hệ thống điều khiển cho một khớp

$$K_{oI} = \frac{K_B K_i}{R_s}; \quad K_{o\omega} = \frac{K_\omega}{K_I J_\Sigma}; \quad K_{oP} = \frac{K_P K_g}{K_\omega}$$

T_{oI} , $T_{o\omega}$, T_{oP} – Tương ứng là hằng số thời gian nhỏ của mạch vòng dòng điện, tốc độ động cơ và vị trí đầu hàn robot :

$$T_{oI} = T_B + T_I; \quad T_{o\omega} = 2T_{oI} + T_\omega; \quad T_{oP} = 2T_{o\omega} + T_P$$

Tham số các bộ điều chỉnh các hệ thống điều khiển khớp được tính toán theo các thông số của từng khớp.

Bảng 1 liệt kê các biểu thức tính các thông số của các khớp robot hàn tự động. Giá trị các thông số cơ cấu chuyển động các khớp được trình bày ở phần phụ lục.

Bảng 1. Các biểu thức tính toán thông số khớp

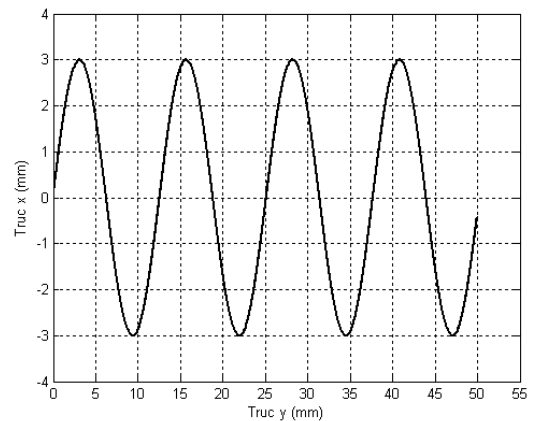
K	K_g	J_Σ	M_c
1	$\frac{S_{o1}}{2i_{TL} \pi}$	J_{d1}	$M_{o1} + K_{g2}^2 (m_2 + m_3) \ddot{x}$
2	$\frac{R_{br}}{i_{TL}}$	$J_{d2} + K_{g2}^2 m_2$	$M_{o2} + K_{g2}^2 (m_2 + m_1) \ddot{y}$
3	$\frac{S_{o2}}{2i_{TL} \pi}$	$J_{d3} + K_{g3}^2 m_3$	$M_{o3} + K_{g3}^2 m_3 g$

V. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Robot hàn được mô phỏng khi thực hiện chuyển động đầu hàn theo quỹ đạo hình sin

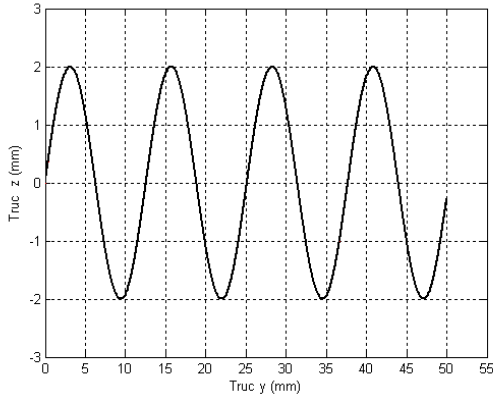
dọc theo trục x, z từ vị trí ban đầu $A(x_o, y_o, z_o)$ đến vị trí $B(x_c, y_c, z_c)$ với tốc độ hàn đặt trước. Thông số mô phỏng được trình bày ở phần phụ lục. Kết quả mô phỏng được trình bày trên hình 7 và 8. Hình 7, 8 là quỹ đạo chuyển động của đầu hàn trong mặt phẳng xy và zy. Trên đồ thị hình 7, 8 đường nét đứt là quỹ đạo đặt, đường nét liền là quỹ đạo di chuyển của đầu hàn. Hình 9 trình bày sai lệch vị trí dọc theo các trục x, y, z.

Nhận xét : quỹ đạo di chuyển của đầu hàn bám khá chính xác quỹ đạo đặt, chỉ khác quỹ đạo đặt ở khoảng di chuyển đầu do quá trình quá độ.



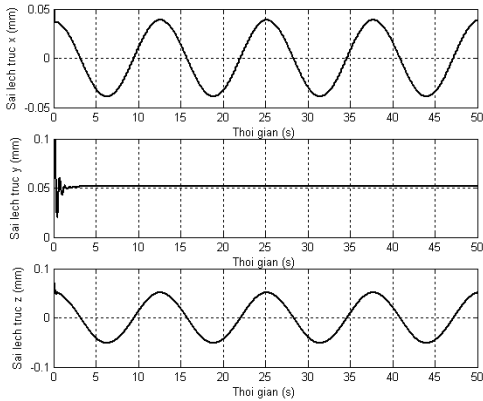
Hình 7. Quỹ đạo di chuyển của đầu hàn trong mặt phẳng xy

- + Đường nét đứt là quỹ đạo đặt
- + Đường nét liền là quỹ đạo thực



Hình 8. Quỹ đạo di chuyển của đầu hàn trong mặt phẳng zy:

- + Đường nét đứt là quỹ đạo đặt
- + Đường nét liền là quỹ đạo thực



Hình 9. Sai lệch chuyển động dọc theo các trục x,y,z

VI. KẾT LUẬN

Với mô hình toán học độc lập của khớp, hệ thống điều khiển phân ly với 3 mạch vòng điều khiển cho từng khớp robot hàn tự hành đã

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Mạnh Tiến; Báo cáo chuyên đề Đề tài cấp nhà nước KC.03.06/06-10: Nghiên cứu thiết kế và chế tạo robot hàn tự hành phục vụ cho ngành đóng tàu ở Việt nam. 5/2009.
2. Nguyễn Mạnh Tiến ; Điều khiển robot công nghiệp; Nhà xuất bản KHKT, 2007.
3. Nguyễn Phùng Quang; Truyền động điện thông minh; Nhà xuất bản KHKT, 2002

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Mạnh Tiến - Tel: 0913.007.584, Email: tienm@mail.hut.edu.vn
 Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
 Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội

đảm bảo độ chính xác di chuyển cao theo quỹ đạo đặt. Hệ thống điều khiển được đề xuất đơn giản, khối lượng tính toán nhỏ và dễ thực hiện bằng các thiết bị điều khiển servo trong thực tế.

PHỤ LỤC

Bảng 2. Tham số cơ khí của robot

Trục	m(kg)	i_{TL}	S_o (mm/vg)
X	6.0	100	2,5
Y	5.0	100	$R_{br}=14$ mm
Z	2.5	100	2,5

Bảng 3. Tham số động cơ điện

Trục	P (W)	n (vg/p)	J_d (kgm^2)	K_m (Nm/A)	K_e (V/1/s)
X	100	3000	$0.67 \cdot 10^{-4}$	0.32	0.21
Y	100	3000	$0.67 \cdot 10^{-4}$	0.32	0.21
Z	50	3000	$0.42 \cdot 10^{-4}$	0.16	0.08

Bảng 4. Tham số Bộ điều chỉnh

Trục	Tham số	Dòng điện	Tốc độ	Vị trí
X	K_r	3.3733	0.067	9666
	$T_r(s)$	0.0223	1.3	
Y	K_r	3.3733	4.9034	137.36
	$T_r(s)$	0.0223	1.3	
Z	K_r	2.1191	0.0163	4833
	$T_r(s)$	0.007	1.3	