

## ROBOT HÀN TỰ ĐỘNG WELDING MOBILE ROBOT

Nguyễn Thanh Phương, Phan Văn Hoàn  
Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh

### TÓM TẮT

Bài báo đề nghị một phương pháp đơn giản dùng trong hàn tự động. Hệ thống bao gồm một robot di động ba bánh xe và một bộ dụng cụ hàn. Robot di động được điều khiển bằng bộ điều khiển ổn định đơn giản dựa trên tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Kết quả mô phỏng được dùng để kiểm chứng độ ổn định của bộ điều khiển. Thí nghiệm đã được thực hiện cho thấy khả năng ứng dụng của phương pháp đề nghị.

### ABSTRACT

This paper proposes a simple method for welding. The system includes a three-wheeled mobile robot platform and a tool for welding. A simple robust nonlinear controller design method based on Lyapunov stability for tracking trajectory and velocity of welding. The effectiveness of the proposed controller is shown through simulation and experimental results.

**Từ khóa:** Robot di động, Lyapunov.

### 1. Giới thiệu

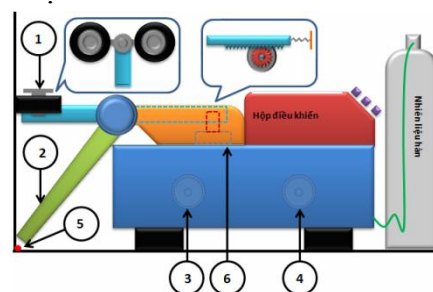
Ngày nay, hàn được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp, đặc biệt là công nghiệp đóng tàu. Vì môi trường hàn là một môi trường độc hại nên rất nhiều nghiên cứu về tự động hóa quá trình hàn đã được thực hiện với mục đích nâng cao chất lượng hàn, nâng cao năng suất hàn và cải thiện điều kiện lao động. Trong công nghiệp đóng tàu, các kết cấu hàn thường là những tấm thép phẳng liên kết khối hộp với nhau nên đây là một trong những điều kiện lý tưởng để áp dụng việc hàn tự động. Theo hướng đơn giản và rẻ tiền, bài báo này đề nghị một phương pháp hàn tự động mới là sử dụng xe di động ba bánh.

Các nghiên cứu [1-3] đề cập đến vấn đề mô hình hóa, điều khiển robot hàn di động hai bánh và đã ứng dụng thành công trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên để ứng dụng vào thực tế, cần có sự cải tiến về hệ thống đỡ của robot. Trong robot di động hai bánh, thân robot được nâng đỡ bởi hai bánh xe và hai biên bi đỡ. Do đó robot tiếp

xúc với mặt phẳng nền qua bốn điểm. Khi mặt phẳng nền không hoàn toàn phẳng, robot sẽ làm việc không tốt vì bánh xe không tiếp xúc được với nền. Điều này có thể khắc phục được khi dùng robot di động ba bánh.

### 2. Mô hình hệ thống.

Robot hàn tự động (hình 1) gồm: 1 robot di động ba bánh (hai bánh truyền động độc lập và một bánh đa hướng giữ thăng bằng), 1 giá đỡ mang mỏ hàn có thể chuyển động theo phương lên xuống và vào ra, 1 bình nhiên liệu hàn.



**Hình 1** Mô hình Robot hàn

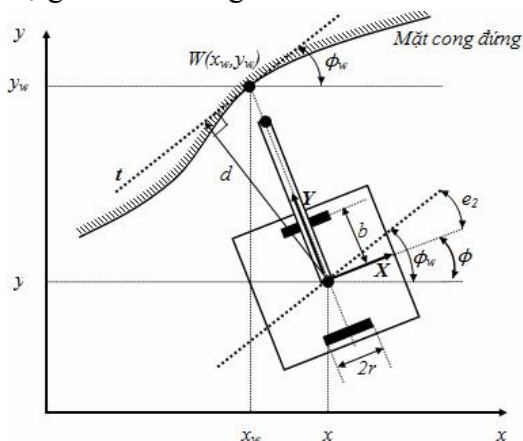
1.Cảm biến đo góc; ② Cánh tay hàn  
③,④ Mô tơ điều khiển hai bánh trái, phải;

⑤ Điểm cần hàn; ⑥ Cảm biến đo khoảng cách

Giới hạn hàn của robot: Robot chỉ được thiết kế để hàn đường tiếp xúc giữa hai đối tượng hàn thỏa mãn các điều kiện sau:

- Hai đối tượng này phải được đặt vuông góc với nhau.
- Đối tượng đặt theo phương đứng phải có dạng mặt cong tròn và có bán kính cong của đoạn bất kỳ không bé hơn khoảng cách từ tâm robot đến mặt cong này.
- Đối tượng đặt theo phương ngang phải có dạng là một mặt phẳng.

Để phục vụ cho việc thiết kế bộ điều khiển, mô hình robot hàn tự động được đưa vào một hệ trục tọa độ tuyệt đối (xem hình 2). Thông qua hệ trục tọa độ này ta có thể dễ dàng tìm được mối quan hệ giữa các thông số.



**Hình 2** Biểu diễn mô hình robot hàn trong hệ trục tọa độ tuyệt đối

Trong đó:

- (x,y): hệ trục tọa độ tuyệt đối [m,m]
- r: bán kính bánh xe của Robot [m]
- b: khoảng cách từ tâm Robot đến bánh xe [m]
- $\phi$ : góc nghiêng của Robot [rad]
- $\phi_w$ : góc nghiêng của mặt cong đứng [rad]
- $W(x_w, y_w)$ : điểm cần hàn [m,m]

Với giả thiết là các bánh xe chỉ quay, không trượt, phương trình chuyển động của robot được biểu diễn như phương trình sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 \\ \sin\phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tương tự đối với điểm cần hàn  $W(x_w, y_w)$  ta có:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_w \\ \dot{y}_w \\ \dot{\phi}_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi_w & 0 \\ \sin\phi_w & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_w \\ \omega_w \end{bmatrix} \quad (2)$$

Phương trình đường thẳng t tiếp tuyến với mặt cong đứng tại điểm  $W(x_w, y_w)$  có dạng:

$$(x - x_w)\sin\phi_w - (y - y_w)\cos\phi_w = 0 \quad (3)$$

Có được phương trình tiếp tuyến t từ công thức (3) ta dễ dàng tính được khoảng cách từ tâm Robot đến đường thẳng này:

$$d = (x - x_w)\sin\phi_w - (y - y_w)\cos\phi_w \quad (4) \quad (4)$$

Sai số  $e = [e_1, e_2]^T$  được tính bởi công thức:

$$\begin{cases} e_1 = d - d_r \\ e_2 = \phi - \phi_w \end{cases} \quad (5)$$

Với:

- $e_1$ : sai số về khoảng cách từ tâm robot đến mặt cong đứng.
- $e_2$ : sai số về góc giữa đầu robot với tiếp tuyến của mặt cong đứng tại điểm khảo sát.

Vấn đề đặt ra là phải thiết kế bộ điều khiển sao cho  $e_1, e_2 \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow \infty$

### 3. Thiết kế bộ điều khiển.

Đạo hàm phương trình (4), thế các kết quả từ (1) và (3) vào ta được:

$$\begin{aligned} \dot{d} &= (\dot{x} - \dot{x}_w)\sin\phi_w + (x - x_w)\omega_w\cos\phi_w \\ &\quad - (\dot{y} - \dot{y}_w)\cos\phi_w + (y - y_w)\omega_w\sin\phi_w \\ &= (x - x_w)\omega_w\cos\phi_w \\ &\quad + (y - y_w)\omega_w\sin\phi_w \\ &\quad - v\sin(\phi - \phi_w) \end{aligned} \quad (6)$$

Mặt khác:

$$\begin{cases} x - x_w = d \frac{\sin\phi}{\cos(\phi_w - \phi)} \\ y - y_w = -d \frac{\cos\phi}{\cos(\phi_w - \phi)} \end{cases} \quad (7)$$

Thế (7) vào (6):

$$\dot{d} = d\omega_w \tan(\phi - \phi_w) - v \sin(\phi - \phi_w) \quad (8)$$

Đạo hàm hai vế (5):

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = \dot{d} - \dot{d}_r \\ \dot{e}_2 = \dot{\phi} - \dot{\phi}_w \end{cases}$$

Suy ra:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = d\omega_w \tan(\phi - \phi_w) - v \sin(\phi - \phi_w) \\ \dot{e}_2 = \omega - \omega_w \end{cases}$$

Với  $d = e_1 + d_r$

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = (e_1 + d_r)\omega_w \tan(\phi - \phi_w) - v \sin(\phi - \phi_w) \\ \dot{e}_2 = \omega - \omega_w \end{cases} \quad (9)$$

Chọn hàm Lyapunov có dạng:

$$V = \frac{1}{2}e_1^2 + \frac{1 - \cos e_2}{k_2} \geq 0 \quad (10)$$

Đạo hàm V:

$$\dot{V} = \dot{e}_1 e_1 + \frac{\dot{e}_2 \sin e_2}{k_2} \quad (11)$$

Thay các giá trị  $\dot{e}_1, \dot{e}_2$  từ (9) vào (11):

$$\dot{V} = \frac{1}{k_2} \sin e_2 \left[ -v e_1 + (e_1 + d_r)\omega_w \frac{1}{\cos e_2} e_1 k_2 + (\omega - \omega_w) \right] \begin{cases} e_1 = l |\cos e_2| + r_s - d_r \\ e_2 = \frac{\pi}{2} (12) \angle (O_1 O_3, O_1 C) \end{cases} \quad (15)$$

Để  $\dot{V} \leq 0$  ta chọn luật điều khiển như sau:

$$\begin{cases} v = v_r \\ \omega = k_2 e_1 \left[ v_r - \frac{(e_1 + d_r)\omega_w}{\cos e_2} \right] - k_1 \sin e_2 + \omega_w \end{cases} \quad (13)$$

Thế  $v$  và  $\omega$  từ (13) vào (12):

$$\dot{V} = -\frac{k_1}{k_2} \sin^2 e_2 \leq 0$$

(thỏa mãn tiêu chuẩn ổn định Lyapunov)

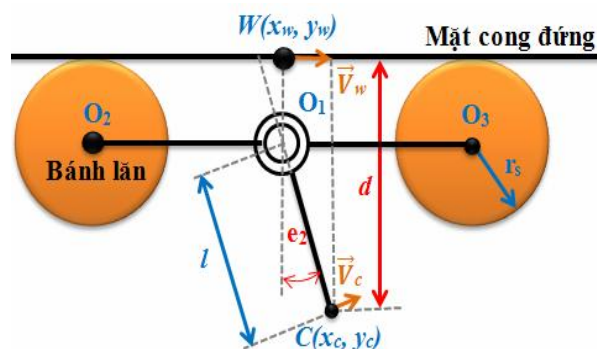
Với :  $k_1$  và  $k_2 \geq 0$  là các hệ số của hàm Lyapunov.

Tìm được  $v$  và  $\omega$ , ta tính được vận tốc hai bánh xe phải và trái ( $\omega_r, \omega_l$ ) theo công thức:

$$\begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r & b/r \\ 1/r & -b/r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (14)$$

#### 4. Đo lường sai số.

Ở phần trên  $e = [e_1, e_2]^T$  được tính toán dựa trên một hệ trục tọa độ tuyệt đối do ta không có cảm biến thật. Trên thực tế thông qua các cảm biến ta có thể dễ dàng đo được  $e = [e_1, e_2]^T$  như hình 3.



Hình 3 Tính toán sai số

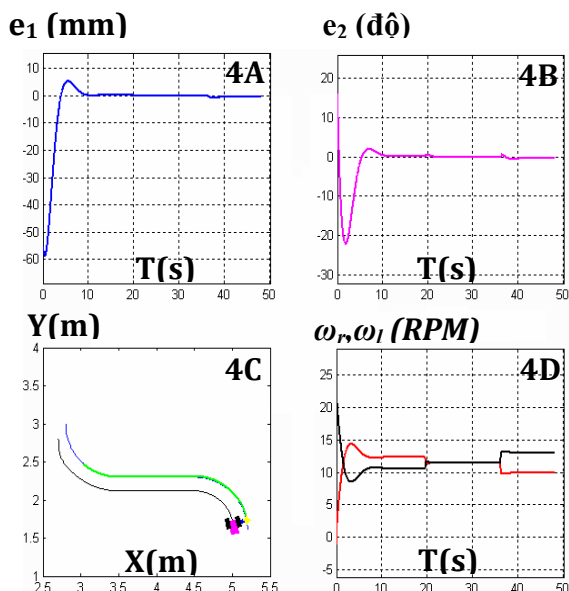
Dựa vào hình 3 ta tính được:

#### 5. Kết quả mô phỏng, thực nghiệm.

Chương trình mô phỏng được viết bằng phần mềm Matlab phiên bản R2010b. Mô phỏng được thực hiện dựa trên bảng số liệu 1 với quỹ đạo kết hợp đường thẳng, cung lồi, cung lõm.

### 5.1. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng bộ điều khiển robot hàn được thiết kế ở mục 3 theo bảng số liệu 1 được thể hiện trong hình sau:



- **Hình 4A:** Kết quả mô phỏng sai số  $e_1$  theo thời gian.
- **Hình 4B:** Kết quả mô phỏng sai số  $e_2$  theo thời gian.
- **Hình 4C:** Kết quả mô phỏng quỹ đạo di chuyển của robot.
- **Hình 4D:** Kết quả mô phỏng vận tốc hai bánh xe theo thời gian.

**Hình 4** Mô phỏng với quỹ đạo kết hợp đường thẳng, cung lồi và cung lõm.

*Nhận xét :*

Quan sát **Hình 4A** và **hình 4B** ta thấy được khả năng hội tụ của bộ điều khiển đã thiết kế ( $e_1, e_2 \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ). **Hình 4D** biểu diễn sự thay đổi của vận tốc hai bánh xe theo thời gian nhưng vận tốc trung bình không đổi (thỏa mãn yêu cầu robot di chuyển với vận tốc đều).

**Kết quả thực nghiệm.**

Để kiểm tra khả năng ứng dụng của bộ điều khiển, tác giả đã thi công robot thật và tiến hành thực nghiệm khả năng hoạt động của robot này trên hai dạng quỹ đạo

là: quỹ đạo tròn và quỹ đạo cong ngẫu nhiên.

#### 5.1.1 Thực nghiệm với quỹ đạo tròn:

**Hình 5** thể hiện kết quả thực nghiệm với quỹ đạo tròn bán kính 0.15 m.



**Hình 5** Thực nghiệm với quỹ đạo tròn  
 Thực nghiệm với quỹ đạo ngẫu nhiên:  
**Hình 6** thể hiện kết quả thực nghiệm với quỹ đạo cong ngẫu nhiên dài 2.3 m.

**Bảng 1** Số liệu mô phỏng

Ký hiệu	Giải thích	Giá trị	Đơn vị
$v_r$	Vận tốc mong muốn	0,06	m/s
$k_1$	Tham số của bộ điều khiển Lyapunov	3	
$k_2$	Tham số của bộ điều khiển Lyapunov	300	
$dr$	Khoảng cách mong muốn giữa tâm Robot và mặt cong đứng.	0,18	m
$b$	Khoảng cách từ tâm robot đến bánh xe	0.07	m
$r$	Bán kính bánh xe	0.05	m



**Hình 6** Thực nghiệm với quỹ đạo cong ngẫu nhiên

## 6. Kết luận

Bài báo đã thiết kế và kiểm chứng được bộ điều khiển cho Robot di động theo thuật toán bám tường dựa trên tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đã chứng minh khả năng hội tụ và ổn định của bộ điều khiển phi tuyến này. Bài báo cũng đã ứng dụng bộ điều khiển trên vào công nghệ hàn (Robot hàn tự động) nhằm góp phần làm tăng chất lượng mỗi hàn đồng thời tiết kiệm sức lao động, cách ly con người khỏi môi trường bức xạ cao và khí độc hại.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tấn Tiến và đồng sự, “Control of Two-Wheeled Welding Mobile Robot: Part I – Kinematic Model Approach”, Hội nghị Khoa học và Kỹ thuật lần thứ 8, Đại học Bách Khoa Tp. HCM, Việt Nam, pp.7-14, tháng 4, 2002.
- [2] Nguyễn Tấn Tiến và đồng sự, “Control of Two-Wheeled Welding Mobile Robot: Part II – Kinematic Model Approach”, Hội nghị Khoa học và Kỹ thuật lần thứ 8, Đại học Bách Khoa Tp. HCM, Việt Nam, pp.15-22, tháng 4, 2002.
- [3] T.T.Nguyễn, T.L.Chung, T.H.Bui, and S.B.Kim, “A Simple Nonlinear Control of Two-Wheeled Welding Mobile Robot”, Korean Transaction on Control, Automation and Systems Engineering, (Code; 02-02-E04, accepted to publish).
- [4] Lagoudakis, Michail G., “Mobile Robot Local Navigation with a Polar Neural Map”, MSc Thesis, University of Southwestern Louisiana, 1998.
- [5] P. van Turenout, G. Honderd, L.J. van Schelven, “Wall following control of a Mobile Robot”, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, 1992, p. 280-285.
- [6] P.Gonzalez De Santos, M.A. Armada and M.A Jimenez, “Ship Building with Power”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 35-43, Dec.2000.