

# ROBOT GỠ XỈ HÀN

## WELDING SLAG REMOVING MOBILE ROBOT

*Nguyễn Tấn Tiến\**, *Lê Hoài Quốc\** và *Kim Sang Bong\*\**

*\*Khoa Cơ Khí, Đại học Bách khoa Tp HCM*

*268 Lý Thường Kiệt, Q. 10, Tp. HCM, Việt nam*

*\*\*Khoa Mechatronics, Đại học Quốc gia Pukyong, Pusan, Korea*

**Tóm tắt:** Bài báo đề nghị một phương pháp đơn giản dùng để gỡ xỉ hàn tự động. Hệ thống bao gồm một robot di động ba bánh xe và một dụng cụ để gỡ xỉ hàn (tạm gọi là đĩa gỡ xỉ 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 slag removing. The system includes a three wheeled-mobile robot platform and a tool for removing welding slag (namely, welding slag removing disk). A simple robust nonlinear controller design method based on Lyapunov stability for tracking trajectory and velocity of welding slag path is derived. The effectiveness of the proposed controller is shown through simulation and experimental results.

**Keyword:** Robot gỡ xỉ hàn (Welding Slag Removing Mobile Robot - WSRMR)

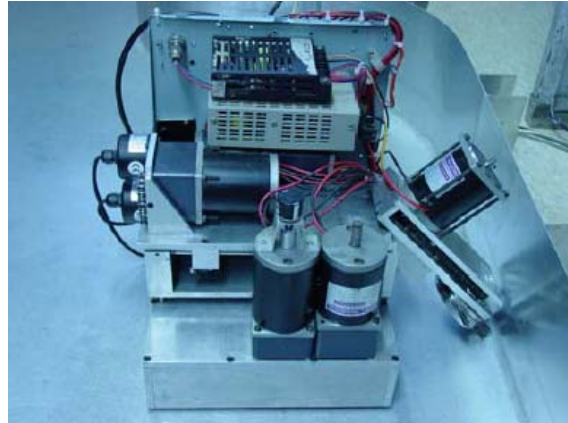
### 1. GIỚI THIỆU

Quá trình hàn được dùng 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 môi trường lý tưởng để áp dụng các quá trình hàn tự động. Santos<sup>[8]</sup>, 2000, chế tạo robot hàn bốn chân ROWER dùng để hàn các kết cấu thép trong xưởng đóng tàu. ROWER đã được ứng dụng thành công trong thực tế, tuy nhiên giá thành của robot này rất cao. Theo hướng đơn giản và rẻ tiền, việc sử dụng robot di động hai bánh xe trong tự động hoá quá trình hàn đã được thực hiện bởi Jeon<sup>[5,7]</sup>, 2000-2001; Kam<sup>[6]</sup>, 2001; Nguyễn<sup>[1,3]</sup>, 2002. Sau quá trình hàn là công việc cạy xỉ hàn, làm sạch bề mặt và sơn. Cho đến thời điểm hiện nay, trên thế giới, việc cạy xỉ hàn vẫn còn phải làm bằng tay. Bài báo đề nghị một phương pháp đơn giản để gỡ xỉ hàn dùng robot di động ba bánh xe.

Các nghiên cứu trước đây của chúng tôi<sup>[1-3]</sup> đề cập đến vấn đề mô hình hóa, điều khiển robot hàn di động hai bánh xe 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 xe, thân robot được nâng đỡ bởi hai bánh xe và hai biên bi đỡ (ball transfer). Do đó robot tiếp xúc với mặt phẳng nên qua bốn điểm. Khi mặt phẳng nền không hoàn toàn phẳng, robot có thể không làm việc được vì bánh xe không tiếp xúc được với mặt nền. Điều này có thể khắc phục được khi dùng robot di động ba bánh xe. Khi được trang bị thêm dụng cụ thích hợp, robot này có thể dùng để gỡ xỉ hàn hay làm sạch bề mặt hàn.

### 1. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG

WSRMR dùng trong bài báo này gồm: 1 robot di động ba bánh xe, trên đó mang một giá đỡ có thể chuyển động theo hai phương lên xuống và vào ra, cùng một dụng cụ gỡ xỉ hàn. Hình WSRMR cho ở hình H.1.



H.1 Welding Slag Removing Mobile Robot (WSRMR)

Đĩa gỡ xỉ hàn hoạt động theo nguyên tắc giống như máy nghiền búa (H.2). Trong bài báo này, đĩa được chế tạo gồm 20 búa nhỏ làm bằng thép tôi cứng được sắp xen kẽ nhau trên một đĩa quay và được dẫn động bằng một động cơ riêng. Khi quay với tốc độ cao, các búa này tích trữ động năng và có tác dụng bẻ gãy xỉ hàn khi va đập với bề mặt xỉ.



H.2 Welding Slag Removing Disk

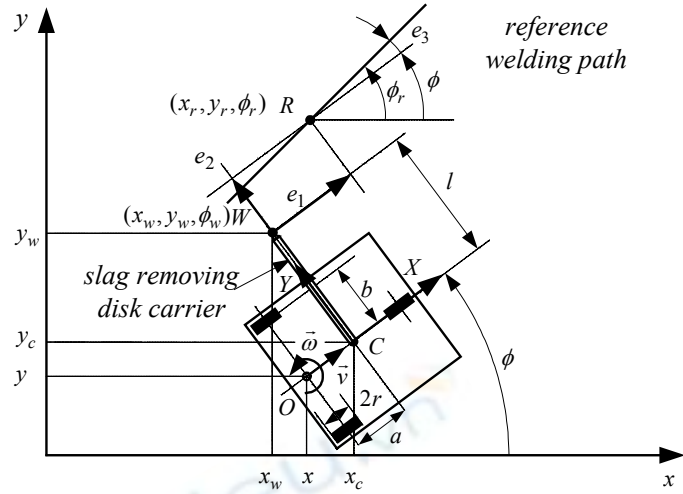
Hình H.3 biểu diễn hệ tọa độ Cartesian của WSRMR và đường hàn tham chiếu mà robot phải theo sau. Giả thiết các bánh xe chỉ quay, không trượt. Phương trình chuyển động của robot được biết đến như sau

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

ở đây,  $O(x, y)$  là tọa độ của điểm giữa của hai bánh xe chủ động,  $\phi$  là góc xoay của đầu robot,  $v$  và  $\omega$  là vận tốc dài và vận tốc góc của robot tại  $(x, y)$ .

Quan hệ giữa  $v$ ,  $\omega$  và vận tốc góc của hai bánh chủ động được tính theo công thức sau

$$\begin{bmatrix} \omega_{rw} \\ \omega_{lw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r & b/r \\ 1/r & -b/r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2)$$



H.3 Hệ tọa độ Cartesian của WSRMR

ở đây,  $\omega_{rw}, \omega_{lw}$  là vận tốc góc của bánh xe phải và bánh xe trái,  $b$  là bán khoảng cách hai tâm xe,  $r$  là đường kính bánh xe. Tọa độ điểm tiếp xúc giữa đĩa gỡ xỉ hàn và đường hàn,  $W(x_w, y_w)$ , và góc xoay của robot,  $\phi_w$ , có thể được suy ra từ công thức sau

$$\begin{cases} x_w = x_c - l \sin \phi \\ y_w = y_c + l \cos \phi \\ \phi_w = \phi \end{cases} \quad (3)$$

Quan hệ hình học giữa  $O$  và  $C$

$$\begin{cases} x_c = x + a \cos \phi \\ y_c = y + a \sin \phi \end{cases} \quad (4)$$

với  $a = OC$ . Do đó ta có

$$\begin{cases} \dot{x}_w = v \cos \phi - a\omega \sin \phi - l\dot{\omega} \cos \phi - \dot{l} \sin \phi \\ \dot{y}_w = v \sin \phi + a\omega \cos \phi - l\dot{\omega} \sin \phi + \dot{l} \cos \phi \\ \dot{\phi}_w = \omega \end{cases} \quad (5)$$

Điểm  $R(x_r, y_r)$  di chuyển với vận tốc hằng số,  $v_r$ , trên đường hàn tham chiếu thỏa mãn phương trình sau

$$\begin{cases} \dot{x}_r = v_r \cos \phi_r \\ \dot{y}_r = v_r \sin \phi_r \\ \dot{\phi}_r = \omega_r \end{cases} \quad (6)$$

với  $\phi_r$  được định nghĩa là góc giữa  $\vec{v}_r$  và trục  $x$ ;  $\omega_r$  là đạo hàm của  $\phi_r$  theo thời gian.

### 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

Mục tiêu đặt ra là thiết kế bộ điều khiển để điểm  $W$  chuyển động theo đường hàn nhằm thực hiện nhiệm vụ gỡ xỉ hàn. Từ hình H.3, ta có thể định nghĩa các sai số như sau

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x_w \\ y_r - y_w \\ \phi_r - \phi_w \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bộ điều khiển có nhiệm vụ điều khiển các sai số  $e_i \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ . Phương trình (6) được viết lại như sau

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos e_3 \\ v_r \sin e_3 - \dot{l} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & e_2 + l \\ 0 & -e_1 - a \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (7)$$

Chọn hàm Lyapunov sau

$$V_1 = \frac{1}{2}e_1^2 + \frac{1}{2}e_2^2 + \frac{1}{2}e_3^2 \geq 0 \quad (8)$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2 + e_3 \dot{e}_3 \\ &= e_1(-v + l\omega + v_r \cos e_3) + e_2(v_r \sin e_3 - \dot{l} - a\omega) + e_3(-\omega + \omega_r) \end{aligned} \quad (9)$$

Để  $\dot{V}_1$  xác định âm, ta chọn  $(v, \omega)$  như sau

$$\begin{cases} v = l(\omega_r + k_3 e_3) + v_r \cos e_3 + k_1 e_1 \\ \omega = \omega_r + k_3 e_3 \end{cases} \quad (10)$$

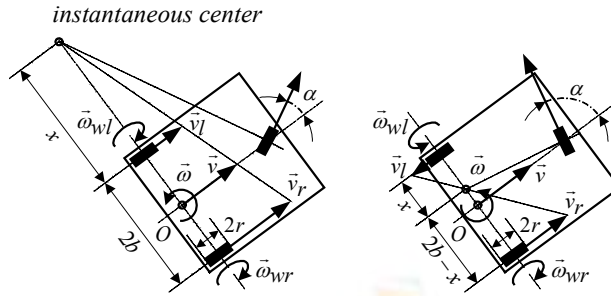
Giá đỡ mang đĩa gỡ xỉ hàn chuyển động ra vào theo qui luật

$$\dot{l} = v_r \sin e_3 + a\omega + k_2 e_2 \quad (11)$$

Sử dụng các phương trình (2), (10) và (11), ta có thể tính vận tốc cần thiết của hai bánh xe  $\omega_{rw}$  và  $\omega_{hw}$ .

Tùy thuộc vào tâm vận tốc tức thời của robot (H.4), bánh xe bị động phải được lái theo một góc  $\alpha$  như sau

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{b\omega\sqrt{3}}{v} & v_{wl}v_{wr} \geq 0 \\ \tan \alpha = \frac{v\sqrt{3}}{b\omega} & v_{wl}v_{wr} < 0 \end{cases} \quad (12)$$



H.4 Mô hình tính góc lái cho bánh bị động

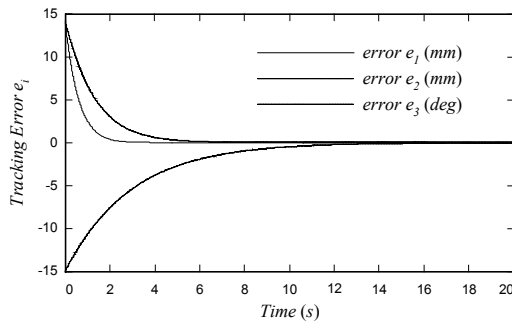
#### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

Mô phỏng và thí nghiệm được thực hiện với các số liệu cho ở bảng B.1.

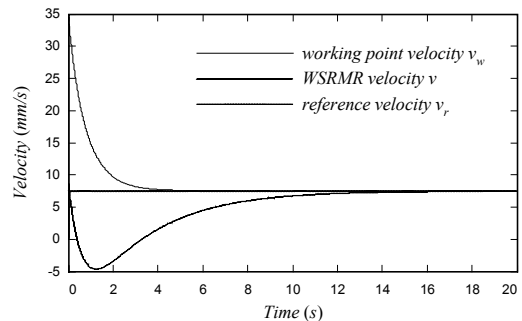
B.1 Thông số dùng trong mô phỏng và thực nghiệm

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
$a$	0.089	$m$	$\phi_r(0)$	30	$độ$
$b$	0.105	$m$	$x_w(0)$	0.110	$m$
$r$	0.025	$m$	$y_w(0)$	0.390	$m$
$l(0)$	0.240	$m$	$\phi_w(0)$	45	$độ$
$v_r(0)$	0	$mm/s$	$k_1$	1.60	
$x_r(0)$	0.110	$m$	$k_2$	0.80	
$y_r(0)$	0.410	$m$	$k_3$	0.34	

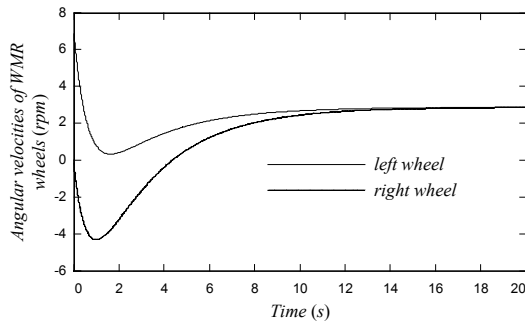
Vận tốc gỡ xỉ ở đây lấy bằng vận tốc hàn, 7.5 mm/s. Bộ vi xử lý 80C196KC được dùng trong mô hình thực nghiệm (H.9). Kết quả mô phỏng cho ở hình H.5-8 và kết quả gỡ xỉ hàn cho ở hình H.10.



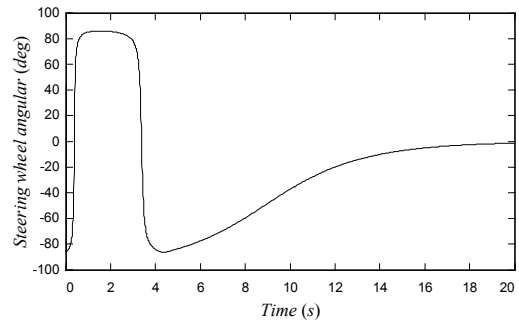
H.5 Sai số (tracking errors)



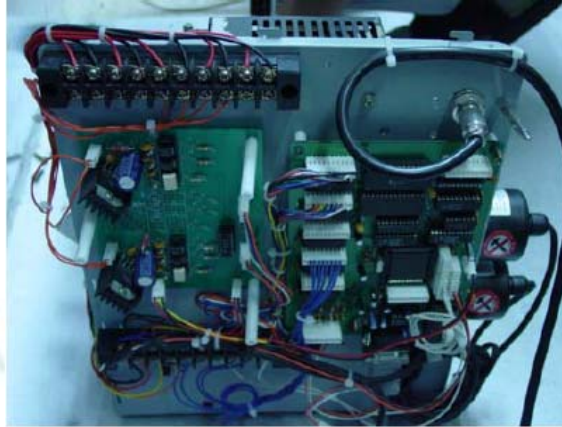
H.6 Vận tốc điểm làm việc W



H.7 Vận tốc góc hai bánh xe chủ động



H.8 Góc lái của bánh bị động  $\alpha$



H.9. Bộ điều khiển cho robot dùng vi xử lý 80C196KC



H.10 Một đoạn hàn sau khi gỡ xỉ bằng phương pháp đề nghị

Từ kết quả trên đây có thể kết luận như sau:

- Sai số (tracking errors) hội tụ về zero trong khoảng thời gian khá ngắn như thể hiện trên hình H.5. Ta có thể hiệu chỉnh các thông số  $k_i$  của bộ điều khiển để đạt hiệu quả của hệ thống như mong muốn. Trong áp dụng thực tế, sai số  $e_1$  rất quan trọng nên  $k_i$  phải chọn sao cho  $e_1$  hội tụ về zero nhanh nhất có thể, còn các sai số còn lại có thể dao động trong khoảng cho phép.
- Vận tốc góc của hai bánh xe (as control inputs to the system) thay đổi trong phạm vi nhỏ (H.7).
- Góc lái của bánh bị động thay đổi trong phạm vi chấp nhận được (H.8).
- Kết quả áp dụng trong thí nghiệm (H.10) cho thấy phương pháp đề nghị có thể dùng để gỡ xỉ hàn. Tuy nhiên đĩa gỡ xỉ hàn nên phối hợp với bàn cước sắt và một vòi hút chân không để làm sạch mối hàn.

Từ nhận xét trên, tác giả tin tưởng rằng phương pháp gỡ xỉ hàn dùng robot di động như đề nghị trong bài báo này có thể áp dụng được trong thực tế.

## 6. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, mô hình robot di động ba bánh xe được sử dụng với mục đích khắc phục nhược điểm của robot di động hai bánh xe. Mô hình động học của robot di động ba bánh được xây dựng và thích hợp trong trường hợp này vì vận tốc gỡ xỉ hàn không lớn. Để thiết kế bộ điều khiển cho robot, cấu hình sai số được đề nghị. Bộ điều khiển được thiết kế dựa trên cơ sở tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm được dùng để chứng minh tính khả thi của phương pháp đề nghị.

## 7. Hướng nghiên cứu

- Hoàn thiện mô hình trên
- Phát triển bộ điều khiển để có thể gỡ xỉ hàn cho biên dạng cong bất kỳ.

## 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 Tư 2002.
- [2] Nguyễn Tấn Tiến và đồng sự, "Control of Two-Wheeled Welding Mobile Robot: Part II – Dynamic Model Approach", *Hội nghị Khoa học và Kỹ thuật lần thứ 8*, Đại học Bách khoa Tp. HCM, Việt nam, pp. 15-22, tháng Tư 2002.
- [3] T.T. Nguyen, 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] T.L. Chung, T.T. Nguyen, J.H. Suh and S.B. Kim, "Control of Two-Wheeled Mobile Robot Tracking Complicated Curvature Wall", *Proc. of the 2002 Spring Conf. of the Korean Society for Power System Engineering*, Cheju Island, Korea, pp. 196-202, May 10-11, 2002.
- [5] Y.B. Jeon, S.S. Park and S.B. Kim, "Modeling and Motion Control of Mobile Robot for Lattice Type of Welding Line", *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 1, pp. 83-93, 2002.
- [6] B.O. Kam, Y.B. Jeon and S.B. Kim, "Motion Control of Two-Wheeled Welding Mobile Robot with Seam Tracking Sensor", *Proc. of the 6<sup>th</sup> IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, Korea, Vol. 2, pp. 851-856, June 12-16, 2001.
- [7] Y.B. Jeon, B.O. Kam, S.S. Park and S.B. Kim, "Seam Tracking and Welding Speed Control of Mobile Robot for Lattice Type of Welding", *Proc. of the 6<sup>th</sup> IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, Korea, Vol. 2, pp. 857-862, June 12-16, 2001.
- [8] P. Gonzalez De Santos, M.A. Armada and M.A. Jimenez, "Ship Building with ROWER", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 35-43, Dec. 2000.
- [9] N. Sarkar, X. Yun and V. Kumar, "Control of Mechanical Systems With Rolling Constrains: Application to Dynamic Control of Mobile Robots", *The Int. Journal of Robotics Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 55-69, Feb. 1994.