

**NGHIÊN CỨU VÀ KIỂM CHỨNG  
THUẬT TOÁN BẮM TƯỜNG CHO ROBOT TỰ HÀNH  
RESEARCH AND EXPERIMENT  
WALL-FLOWING ALGORITHM FOR MOBILE ROBOT**

Phan Văn Hoàn  
Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh

**TÓM TẮT**

Bài báo đề nghị một phương pháp đơn giản dùng trong điều khiển Robot di động bám tường. Hệ thống bao gồm một robot di động ba bánh xe được điều khiển bằng bộ điều khiển phi tuyến đơn giản dựa trên tiêu chuẩn 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 controlling wall-flowing mobile Robot. The system includes a three wheeled-mobile robot platform controlled by a simple robust nonlinear controller based on Lyapunov stability for tracking trajectory and velocity. The effectiveness of the proposed controller is shown through simulation and experimental results.

**Từ Khóa:** Robot di động, Lyapunov.

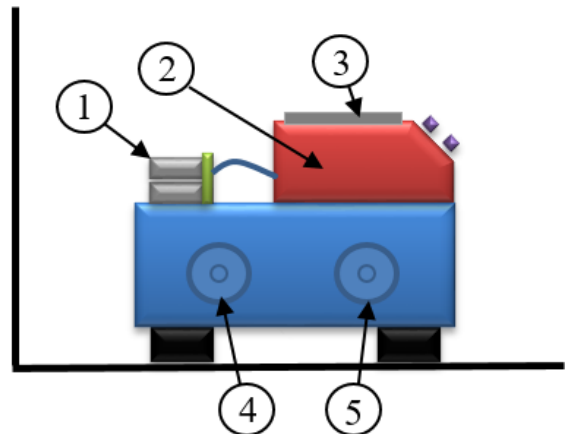
**1. Giới thiệu**

Ngày nay, Robot tự hành được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp cũng như trong đời sống. Vấn đề của Robot tự hành là làm thế nào để Robot có thể hoạt động, nhận biết môi trường và thực thi các nhiệm vụ đề ra.

Điều hướng là vấn đề cơ bản trong nghiên cứu và chế tạo Robot tự hành. Robot tự hành nên di chuyển như thế nào? và cơ cấu di chuyển nào là sự lựa chọn tốt nhất? Bài báo này đề nghị một phương pháp điều hướng Robot tự hành bằng bộ điều khiển phi tuyến được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn ổn định của Lyapunov.

**2. Mô hình hệ thống.**

Robot di động bám tường (hình 1) gồm: 1 robot di động ba bánh (hai bánh truyền động độc lập và một bánh đa hướng giữ thăng bằng), 1 màn hình TFT để hiển thị và điều khiển, 2 cảm biến siêu âm để đo lường khoảng cách và góc và mạch điều khiển trung tâm.



- ① Cảm biến siêu âm;
- ② Hộp điều khiển;
- ③ Màn hình hiển thị;
- ④, ⑤ Mô tơ điều khiển bánh trái, phải.

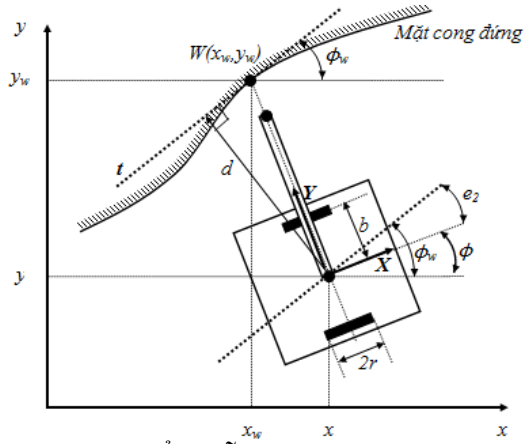
**Hình 1** Mô hình Robot bám tường

Robot chỉ được thiết kế để đi theo những quỹ đạo thỏa mãn yêu cầu sau:

- Đối tượng theo phương đứng và đối tượng theo phương ngang 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 di động bám tường 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 di động bám tường 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 khảo sát [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 khảo sát  $W(x_w, y_w)$  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:

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

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):

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \frac{1}{k_2} \sin e_2 \left[ -v e_1 + (e_1 + d_r)\omega_w \frac{1}{\cos e_2} e_1 k_2 \right. \\ & \left. + (\omega - \omega_w) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

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

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

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  $e = [e_1, e_2]^T$  theo công thức (15).

$$\begin{cases} e_1 = dr - \frac{(d_1 + d_2)}{2} \\ e_2 = \arctan \frac{(d_1 - d_2)}{ds} \end{cases} \quad (15)$$

Với:

$d_1$  và  $d_2$ : là khoảng cách đo được từ 2 cảm biến siêu âm.

$ds$ : khoảng cách giữa 2 cảm biến siêu âm

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

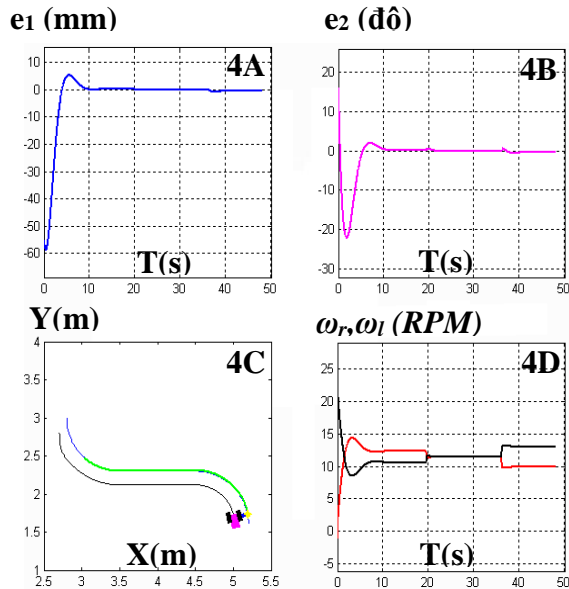
Chương trình mô phỏng được viết bằng phần mềm Matlab phiên bản R2010b. Mô phỏng được thực hiện dựa trên *bảng số liệu 1*.

**Bảng 1 Số liệu mô phỏng**

Ký hiệu	Giải thích	Giá trị	Đơn vị
$vr$	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

#### 5.1 Kết quả mô phỏng.

Kết quả mô phỏng bộ điều khiển robot di động bám tường được thiết kế ở mục 3 theo *bảng số liệu 1* được thể hiện trong hình 4:



- **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).

### 5.2 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.



**Hình 5** Kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm cho thấy Robot có khả năng bám theo quỹ đạo cong như mục tiêu đã đề ra.

## 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.

## 7. 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 Jimernez, “*Ship Building with Power*”, IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 35-43, Dec.2000.