

ĐIỀU KHIỂN THÍCH ỨNG HỆ THỐNG XÁC ĐỊNH MỘT PHẦN

ADAPTIVE CONTROL OF PARTIALLY KNOWN SYSTEM

*Nguyễn Tấn Tiến**, *Hoàng Đức Liên*** và *Kim Sang Bong****

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

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

***Khoa Cơ Điện, Đại học Nông nghiệp I Hà nội*

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

Tóm tắt: Bài báo đề nghị một phương pháp thiết kế bộ điều khiển thích ứng cho hệ thống xác định một phần. Hệ thống bao gồm hai phần: một phần xác định (biết tất cả các thông số) và một phần chứa các thông số chưa biết của hệ thống. Bộ điều khiển được thiết kế theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov. Kết quả lý thuyết được áp dụng vào việc điều khiển robot hàn di động hai bánh xe. Mô phỏng được thực hiện để kiểm chứng độ ổn định của bộ điều khiển đề nghị.

Abstract: This paper proposes an adaptive control method of partially known system and shows its application result to control of a two-wheeled welding mobile robot. The controlled system is designed using Lyapunov stability. The effectiveness of the proposed controller is shown through simulation results.

Keyword: partially known system, Welding Mobile Robot(WMR), tracking, welding path reference

1. GIỚI THIỆU

Robot di động là một trong những hệ phi holonom (non-holonomic) và đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về nó được thực hiện như trích dẫn ở phần tài liệu tham khảo^[1-18]. Hầu hết các công trình nghiên cứu này tập trung vào mô hình động học của robot và chỉ một vài công trình giải quyết đến mô hình động lực học. Sakar^[17] đề nghị dùng hồi tiếp phi tuyến (nonlinear feedback) để đảm bảo độ ổn định ngõ vào-ngõ ra và độ ổn định Lagrange cho toàn hệ thống. Fierro^[16] phát triển một luật điều khiển bao gồm cả động học và động lực học (combined kinetic/torque control law) dùng phương pháp bước lùi (backstepping method). Cả hai bài báo này chưa giải quyết vấn đề có sự biến động thông số hệ thống (system parameter uncertainties) mà vấn đề này rất thường gặp trong bài toán điều khiển robot di động. Fukao^[10] đề nghị một giải pháp điều khiển thích ứng để điều khiển robot di động có tính đến các thông số động học chưa biết của hệ thống. Các thông số này được xác định dùng luật cập nhật (update law).

Bài báo này đề nghị bộ điều khiển thích ứng dùng điều khiển hệ thống xác định một phần (partly known system). Hệ thống ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov. Bộ điều khiển đề nghị được ứng dụng vào việc điều khiển robot di động hàn hai bánh xe. Moment quán tính của hệ thống được xem như là các thông số chưa biết và được ước định (estimate) thông qua luật cập nhật. Mô phỏng được thực hiện cho robot hàn theo đường hàn biên dạng cong.

2. ĐIỀU KHIỂN THÍCH ỨNG HỆ THỐNG XÁC ĐỊNH MỘT PHẦN

Bài báo này khảo sát hệ thống phi tuyến gồm hai hệ thống phụ có dạng như sau

$$\dot{\xi} = f(\xi) + g(\xi)\eta \quad (1)$$

$$\Delta_1 \dot{\eta} = \Delta_2 h(\eta)\eta + k(\eta)u \quad (2)$$

với $\xi \in R^n$, $\eta, u \in R^m$, $f \in R^n$, $g \in R^{n \times m}$, Δ_1, Δ_2 là các ma trận chéo chứa các thông số chưa biết tương ứng θ_{1i} , θ_{2i} ; $\Delta_1, \Delta_2, h, k \in R^{m \times m}$. Ngoài ra, $k(\eta)$ khả nghịch (invertible) và $\theta_{1i} > 0$.

Định lý 2.1 Bộ điều khiển sau ổn định hóa hệ thống (1)-(2) và thỏa điều kiện $\xi \rightarrow 0$

$$u = k^{-1}(\eta) \left[-K_2(\eta - \alpha) - g^T(\xi)\xi + \hat{\Delta}_1 \dot{\alpha} - \hat{\Delta}_2 h(\eta)\eta \right] \quad (3)$$

với luật cập nhật

$$\dot{\hat{\theta}}_{1i} = \gamma_{1i}(\eta_i - \alpha_i)\dot{\alpha}_i \quad (4)$$

$$\dot{\hat{\theta}}_{2i} = -\gamma_{2i}(\eta_i - \alpha_i) \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta)\eta_j \quad (5)$$

với $K_1 \in R^{n \times n}$, $K_2 \in R^{m \times m}$ là các ma trận xác định dương; $\gamma_{1i}, \gamma_{2i} > 0, i=1 \sim m$ là độ lợi thích ứng (adaptive gains); $\hat{\Delta}_1, \hat{\Delta}_2$ là giá trị ước lượng của các thông số chưa biết Δ_1, Δ_2 . Ngoài ra hàm ổn định hóa (stabilizing function) α thỏa mãn điều kiện sau

$$g(\xi)\alpha = -K_1\xi - f(\xi) \quad (6)$$

Chứng minh: Gọi g^+ là ma trận nghịch đảo ảo (pseudo inverse) của ma trận g . Chọn hàm ổn định hóa như sau

$$\alpha = g^+(\xi) [-K_1\xi - f(\xi)] \quad (7)$$

Nếu luật điều khiển ảo (virtual control) η đạt giá trị $\eta = \alpha$, hệ thống phụ (1) sẽ ổn định với $\dot{\xi} = -K_1\xi$. Đặt z là sai số giữa luật điều khiển ảo và hàm ổn định hóa, $z = \eta - \alpha$. Ta có

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= f(\xi) + g(\xi)(z + \alpha) \\ \Delta_1 \dot{z} &= \Delta_2 h(\eta)(z + \alpha) - \Delta_1 \dot{\alpha} + k(\eta)u \end{aligned}$$

Ta có thể chọn hàm Luapunov theo

$$V_0 = \frac{1}{2}\xi^2 + \frac{1}{2}\Delta_1 z^2 \geq 0 \quad (8)$$

Suy ra

$$\begin{aligned} \dot{V}_0 &= \xi^T \dot{\xi} + z^T \Delta_1 \dot{z} \\ &= -K_1 \xi^2 + z^T [g^T(\xi)\xi + \Delta_2 h(\eta)(z + \alpha) - \Delta_1 \dot{\alpha} + k(\eta)u] \end{aligned} \quad (9)$$

Nếu luật điều khiển được chọn như sau

$$u = k^{-1}(\eta) \left[-K_2 z - g^T(\xi)\xi + \Delta_1 \dot{\alpha} - \Delta_2 h(\eta)(z + \alpha) \right] \quad (10)$$

$\Rightarrow \dot{V}_0 = -K_1 \xi^2 - K_2 z^2 \leq 0$. Theo bổ đề Barbalat^[19], ta có thể thấy rằng $z \rightarrow 0$, do đó $\eta \rightarrow \alpha$ và $\xi \rightarrow 0$. Bởi vì Δ_1, Δ_2 chưa biết, nên được thay thế bằng các giá trị ước định của chúng $\hat{\Delta}_1, \hat{\Delta}_2$ và luật điều khiển trên trở thành

$$u = k^{-1}(\eta) \left[-K_2 z - g^T(\xi) \xi + \hat{\Delta}_1 \dot{\alpha} - \hat{\Delta}_2 h(\eta)(z + \alpha) \right] \quad (11)$$

Bây giờ chúng ta chọn hàm Lyapunov như sau

$$V_1 = \frac{1}{2} \xi^2 + \frac{1}{2} \Delta_1 z^2 + \frac{1}{2} (\tilde{\Delta}_1 \Gamma_1)^2 + \frac{1}{2} (\tilde{\Delta}_2 \Gamma_2)^2 \geq 0 \quad (12)$$

với
$$\tilde{\Delta}_i = \Delta_i - \hat{\Delta}_i$$

$$\Gamma_i = [\gamma_{i1}^{-1/2}, \gamma_{i2}^{-1/2}, \dots, \gamma_{im}^{-1/2}]^T, \quad i = 1, 2$$

Đạo hàm phương trình (12) ta có

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= \xi^T \dot{\xi} + z^T \Delta_1 \dot{z} - \Gamma_1^T \tilde{\Delta}_1 \dot{\Delta}_1 \Gamma_1 - \Gamma_2^T \tilde{\Delta}_2 \dot{\Delta}_2 \Gamma_2 \\ &= \dot{V}_0 + z^T [\tilde{\Delta}_1 \dot{\alpha} - \tilde{\Delta}_2 h(\eta)(z + \alpha)] - \Gamma_1^T \tilde{\Delta}_1 \dot{\Delta}_1 \Gamma_1 - \Gamma_2^T \tilde{\Delta}_2 \dot{\Delta}_2 \Gamma_2 \\ &= \dot{V}_0 + \sum_{i=1}^m \tilde{\theta}_{1i} z_i \dot{\alpha}_i - \sum_{i=1}^m \tilde{\theta}_{2i} z_i \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta)(z_j + \alpha_j) - \sum_{i=1}^m \gamma_{1i}^{-1} \tilde{\theta}_{1i} \dot{\theta}_{1i} - \sum_{i=1}^m \gamma_{2i}^{-1} \tilde{\theta}_{2i} \dot{\theta}_{2i} \\ &= \dot{V}_0 - \sum_{i=1}^m \gamma_{1i}^{-1} \tilde{\theta}_{1i} \left(\dot{\theta}_{1i} - \gamma_{1i} z_i \dot{\alpha}_i \right) - \sum_{i=1}^m \gamma_{2i}^{-1} \tilde{\theta}_{2i} \left(\dot{\theta}_{2i} + \gamma_{2i} z_i \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta)(z_j + \alpha_j) \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Để loại trừ ảnh hưởng của các thông số chưa biết $\tilde{\theta}_{ij} = \theta_{ij} - \hat{\theta}_{ij}$, luật cập nhật được chọn như sau

$$\begin{cases} \dot{\hat{\theta}}_{1i} = \gamma_{1i} z_i \dot{\alpha}_i \\ \dot{\hat{\theta}}_{2i} = -\gamma_{2i} z_i \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta)(z_j + \alpha_j) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{\hat{\theta}}_{1i} = \gamma_{1i} (\eta_i - \alpha_i) \dot{\alpha}_i \\ \dot{\hat{\theta}}_{2i} = -\gamma_{2i} (\eta_i - \alpha_i) \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta) \eta_j \end{cases} \quad (14-15)$$

và $\dot{V}_1 \rightarrow \dot{V}_0 \leq 0$. ■

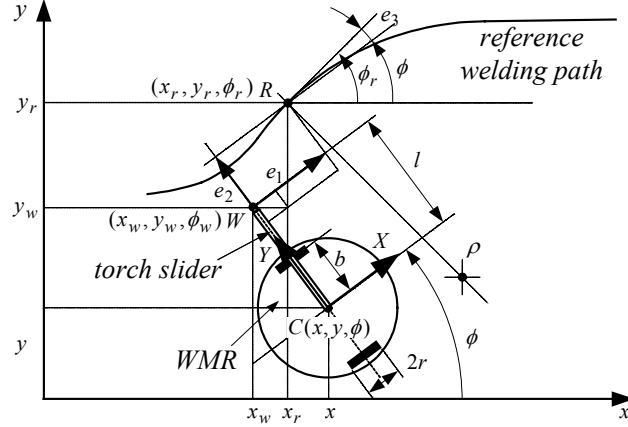
Chú ý: Khi $\Delta_i (i=1,2)$ là đại lượng vô hướng, tức là $\Delta_i \rightarrow \theta_i$, luật cập nhật trên đây có thể viết ở dạng sau

$$\dot{\hat{\theta}}_1 = \gamma_1 \sum_{i=1}^m (\eta_i - \alpha_i) \dot{\alpha}_i \quad (16)$$

$$\dot{\hat{\theta}}_2 = -\gamma_2 \sum_{i=1}^m (\eta_i - \alpha_i) \sum_{j=1}^m h_{ij}(\eta) \eta_j \quad (17)$$

3. MÔ HÌNH ROBOT DI ĐỘNG HÀN HAI BÁNH XE

Mô hình hóa hệ thống robot hàn đ động hai bánh xe đã được đề cập đến trong các nghiên cứu trước đây của chúng tôi^[1-3]. Ở đây chỉ nêu kết quả tóm tắt. Hệ tọa độ robot hàn di động hai bánh xe được trình bày trong sơ đồ hình H.1.



H.1 Hệ tọa độ robot hàn di động hai bánh xe

Phương trình động học và động lực học cho bởi^[2]

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos e_3 \\ v_r \sin e_3 - \dot{l} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & e_2 + l \\ 0 & -e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{r}{2}m + \frac{1}{r}I_w & \frac{r}{2b}I + \frac{b}{r}I_w \\ \frac{r}{2}m + \frac{1}{r}I_w & -\frac{r}{2b}I - \frac{b}{r}I_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \frac{r}{2b}m_c d \omega \begin{bmatrix} 1 & -b \\ -1 & -b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_{rw} \\ \tau_{lw} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Với $e_i, i=1,2,3$ là các sai số được định nghĩa như trên hình H.1; v_r là vận tốc hàn tham chiếu; l là chiều dài đầu hàn tính đến tâm robot; nếu ϕ_r được định nghĩa là góc giữa \vec{v}_r và trục $x \Rightarrow \omega_r$ là đạo hàm của theo thời gian (xin tham khảo [2]); v, ω lần lượt là vận tốc dài và vận tốc góc của robot; r là bán kính bánh xe; m là khối lượng được tính theo công thức $m \equiv m_c + 2m_w$, trong đó m_c, m_w là khối lượng của thân và bánh xe robot bao gồm cả khối lượng trục động cơ; I_w là moment quán tính của bánh xe và rotor động cơ tính trên trục quay của bánh xe; b là bán khoảng cách giữa hai tâm bánh xe; I là moment quán tính được tính theo công thức $I \equiv m_c d^2 + 2m_w b^2 + I_c + 2I_m$, trong đó d là khoảng cách giữa tâm hình học và tâm khối lượng của robot, I_c là moment quán tính của robot tính theo trục thẳng đứng qua tâm hình học của robot và I_m là moment quán tính của bánh xe và rotor động cơ tính trên đường kính bánh xe. τ_{rw} và τ_{lw} là torque của động cơ đặt trên các bánh xe trái và phải.

Phương trình (18) tương ứng với hệ phụ đã biết còn phương trình (19) tương ứng với hệ phụ chứa các thông số động học chưa biết. Cả hai phương trình trên được dùng để thiết kế bộ điều khiển cho robot hàn và được trình bày trong phần kế tiếp.

4. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỀ NGHỊ ĐỂ ĐIỀU KHIỂN ROBOT HÀN DI ĐỘNG

Mô hình động học sử dụng các vận tốc làm các luật điều khiển (control input) của hệ thống. Với

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}, \xi = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}, \eta = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} v_r \cos e_3 \\ v_r \sin e_3 - \dot{l} \\ \omega_r \end{bmatrix}, g = \begin{bmatrix} -1 & e_2 + l \\ 0 & -e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

phương trình (6) trở thành

$$\begin{bmatrix} -1 & e_2 + l \\ 0 & -e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & 0 \\ 0 & k_{12} & 0 \\ 0 & 0 & k_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v_r \cos e_3 \\ v_r \sin e_3 - \dot{l} \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (20)$$

và ta có

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l(\omega_r + k_{13}e_3) + v_r \cos e_3 + k_{11}e_1 \\ \omega_r + k_{13}e_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

cùng với qui luật chuyển động cho đầu hàn như sau

$$\dot{l} = v_r \sin e_3 + k_{12}e_2 \quad (22)$$

với $k_{ij} > 0$ được chọn tùy yêu cầu của hệ thống được điều khiển (controlled system).

Mô hình động lực học sử dụng torque τ_{rw}, τ_{hw} làm các luật điều khiển của hệ thống. Nhân hai vế của (19) cho ma trận $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$, và đặt θ_{ij} như sau

$$\theta_{11} = rm + \frac{2}{r}I_w, \theta_{12} = \frac{r}{b}I + \frac{2b}{r}I_w, \theta_2 = \frac{r}{b}m_c d \quad (23)$$

Phương trình (19) trở thành

$$\begin{bmatrix} \theta_{11} & 0 \\ 0 & \theta_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \theta_2 \begin{bmatrix} 0 & b\omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_{rw} \\ \tau_{hw} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Trong robot hàn di động, các bánh xe được dẫn động thông qua các bộ hộp số và khoảng cách từ đầu hàn đến tâm robot thay đổi trong quá trình làm việc. Do đó khó có thể đo hay ước lượng chính xác các giá trị moment quán tính và khoảng cách giữa hai tâm động học và động lực học của robot, d . Vì lý do đó, trong bài báo này, giá trị θ_{ij} được xem như là các thông số chưa biết. áp dụng định lý 2.1 ở trên với

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} \theta_{11} & 0 \\ 0 & \theta_{12} \end{bmatrix}, \Delta_2 = \theta_2, u = \begin{bmatrix} \tau_{rw} \\ \tau_{hw} \end{bmatrix}, h = \begin{bmatrix} 0 & b\omega \\ -\omega & 0 \end{bmatrix}, k = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

để thiết kế luật điều khiển cho robot, ta được kết quả sau

$$\begin{cases} \tau_{rw} = \frac{1}{2}[-k_{21}(v-\alpha_1) - k_{22}(\omega-\alpha_2) - (1+l)e_1 + e_3 + \hat{\theta}_{11}\dot{\alpha}_1 + \hat{\theta}_{12}\dot{\alpha}_2 - \hat{\theta}_2\omega(b\omega-v)] \\ \tau_{lw} = \frac{1}{2}[-k_{21}(v-\alpha_1) + k_{22}(\omega-\alpha_2) - (1-l)e_1 - e_3 + \hat{\theta}_{11}\dot{\alpha}_1 - \hat{\theta}_{12}\dot{\alpha}_2 - \hat{\theta}_2\omega(b\omega+v)] \end{cases} \quad (25)$$

với giá trị của α được tính như theo phương trình (21) và đạo hàm của chúng theo thời gian như sau

$$\begin{cases} \dot{\alpha}_1 = -k_{11}v + [k_{11}(e_2 + l) + k_{13}l + v_r \sin e_3]\omega + l\dot{\omega}_r + k_{12}\omega_r e_2 + k_{11}v_r \cos e_3 + v_r k_{13}e_3 \sin e_3 \\ \dot{\alpha}_2 = \dot{\omega}_r + k_{13}(\omega_r - \omega) \end{cases} \quad (26)$$

Luật cập nhật hóa cho các thông số không biết được tính toán từ các phương trình (14) và (17)

$$\begin{cases} \dot{\hat{\theta}}_{11} = \gamma_{11}(v - \alpha_1)\dot{\alpha}_1 \\ \dot{\hat{\theta}}_{12} = \gamma_{12}(\omega - \alpha_2)\dot{\alpha}_2 \\ \dot{\hat{\theta}}_2 = -\gamma_2\omega[(v - \alpha_1)b\omega - (\omega - \alpha_2)v] \end{cases} \quad (27)$$

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô phỏng và thí nghiệm được thực hiện với các số liệu cho ở bảng B.1. và B.2.

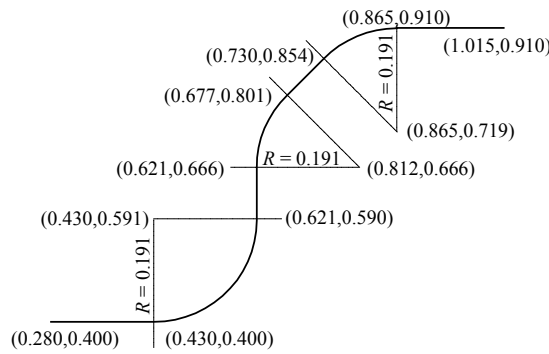
B.1 Thông số dùng trong mô phỏng

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
a	0.105	m	d	0.01	m
r	0.025	m	m_c	16.9	kg
m_w	0.3	kg	I_c	0.208	kgm^2
I_w	3.75×10^{-4}	kgm^2	I_m	4.96×10^{-4}	kgm^2

B.2 Giá trị ban đầu dùng trong mô phỏng

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
x_r	0.28	m	y_r	0.40	m
x_w	0.27	m	y_w	0.39	kg
v	0	mm/s	ω	0	rad/s
ϕ_r	0	$độ$	ϕ	15	$độ$

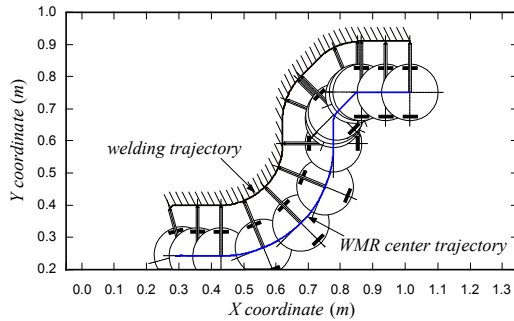
Đường hàn tham chiếu dùng trong mô phỏng cho ở hình H.2. Vận tốc hàn ở đây là $7.5mm/s$. Các giá trị k_{ij} và $k_{11} = 4.2, k_{12} = 8, k_{13} = 3.4, k_{21} = k_{22} = 10$ được chọn bằng và $\gamma_{11} = \gamma_{12} = \gamma_2 = 1$.



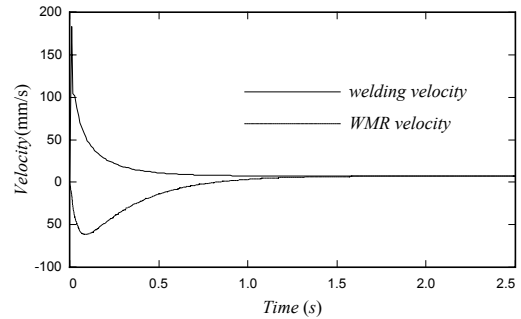
H.2 Đường hàn tham chiếu

Kết quả mô phỏng cho ở hình H3-12. Chuyển động của robot khi nó track theo đường hàn tham chiếu cho ở H.3. Thoạt đầu, robot hiệu chỉnh nhanh chóng vị trí tương đối của nó với đường hàn tham chiếu nhằm làm giảm thiểu các sai số ban đầu. Các sai số (tracking errors) được thể hiện ở hình H.4. Với các giá trị ban đầu cho ở bảng B.2, sau khoảng 1.5 giây robot có thể theo đúng đường hàn tham chiếu của nó như thể hiện trên hình H.5. Khi đi từ đường thẳng sang đường cong, vì sự thay đổi của đường hàn tham chiếu ω_r , nên tại các điểm chuyển tiếp xảy ra sai số. Tuy nhiên các sai số này nhanh chóng giảm về zero như thể hiện ở hình H.6 và H.7. Các sai số ước định được cho ở hình H.8-10. Đầu hàn (torch slider) phải chuyển động theo qui luật (22) để đạt được yêu cầu của bộ điều khiển. Hình H.11 biểu diễn vận tốc của đầu hàn theo phương vuông góc với đường hàn tham chiếu và khoảng cách từ đầu hàn đến tâm robot cho trên hình H.12.

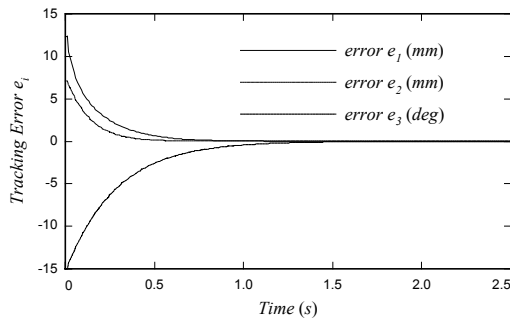
Như thể hiện trên mô phỏng, bộ điều khiển dùng phương pháp đề nghị trong bài báo này cho kết quả tốt.



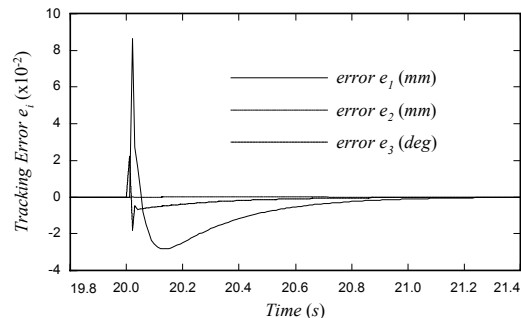
H.3 Quỹ đạo của robot khi track đường hàn tham chiếu



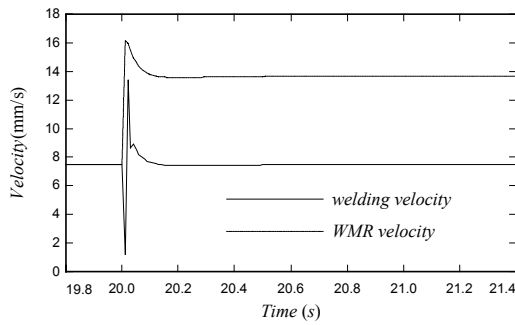
H.5 Vận tốc của điểm hàn và vận tốc robot



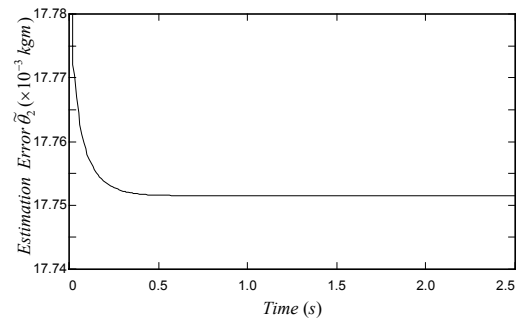
H.4 Sai số (tracking errors) lúc robot bắt đầu chuyển động



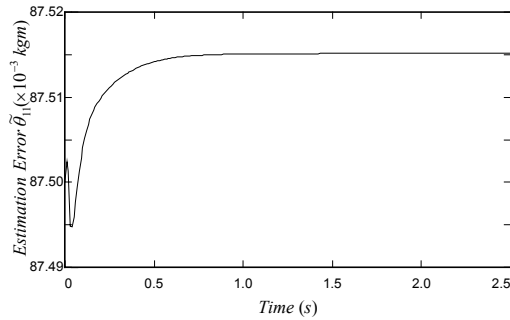
H.6 Sai số tại điểm chuyển tiếp



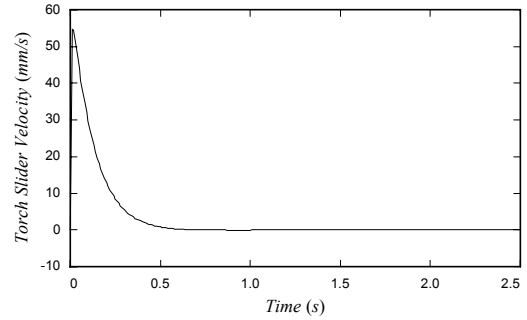
H.7 Vận tốc của điểm hàn và vận tốc robot tại điểm chuyển tiếp



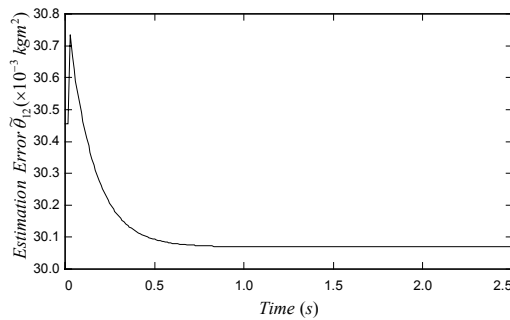
H.10 Sai số ước định (Estimation error) $\tilde{\theta}_2$



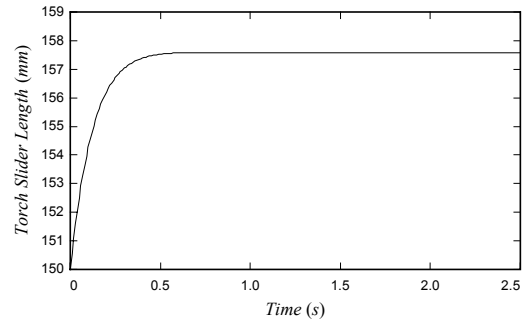
H.8 Sai số ước định (estimation error) $\tilde{\theta}_1$



H.11 Vận tốc của đầu hàn theo phương vuông góc với đường hàn tham chiếu



H.9 Sai số ước định (Estimation error) $\tilde{\theta}_2$



H.12 Khoảng cách từ đầu hàn đến tâm robot

6. KẾT LUẬN

Bài báo này đề nghị một bộ điều khiển thích ứng dùng để điều khiển hệ thống xác định một phần và ứng dụng vào việc điều khiển robot di động hàn hai bánh xe. Hệ thống ổn định theo tiêu chuẩn Luapunov. Moment quán tính của hệ thống được xem như là các thông số chưa biết và được ước định thông qua luật cập nhật. Mô phỏng được thực hiện cho robot hàn track theo đường hàn tham chiếu có biên dạng cong bất kỳ. Với kết quả mô phỏng, tác giả hy vọng phương pháp đề nghị trong bài báo này có thể sử dụng được để điều khiển robot hàn di động hai bánh xe.

7. HƯỚNG NGHIÊN CỨU

- Thực hiện thí nghiệm để kiểm chứng tính khả thi của phương pháp trên đề nghị.

- Nghiên cứu cách ước định (estimante) thông số của đường hàn tham chiếu. Hướng suy nghĩ có thể là thiết kế một bộ quan sát phi tuyến (nonlinear observer) hay một luật cập nhật (update law) cho thông số này.
- Tổng quát hoá lý thuyết trên cho hệ cơ khí phi holonom xác định một phần.
- Xét bài toán bao gồm cả các thông số động học và động lực học chưa biết.

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] 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.
- [5] 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 6th IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, Korea, Vol. 2, pp. 851-856, June 12-16, 2001.
- [6] 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 6th IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, Korea, Vol. 2, pp. 857-862, June 12-16, 2001.
- [7] E. Lefeber, J. Jakubiak, K. Tchou and H. Nijmeijer, "Observer Based Kinematic Tracking Controller for a Unicycle-type Mobile Robot", *Proc. of the 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation*, Korea, pp. 2084-2089, 2001.
- [8] T.C. Lee, K.T. Song, C.H. Lee and C.C. Teng, "Tracking Control of Unicycle-Modeled Mobile Robots Using a Saturation Feedback Controller", *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 305-318, March 2001.
- [10] T. Fukao, H. Nakagawa and N. Adachi, "Adaptive Tracking Control of a Nonholonomic Mobile Robot", *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 5, pp. 609-615, October 2000.
- [11] K. Tsuchia, T. Urakubo and K. Tsujita, "A Motion Control of a Two-Wheeled Mobile Robot", *Proc. of the 1999 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. V, pp. 690-696, 1999.
- [12] A. Tayebi and A. Rachid, "Backstepping-based Discontinuous Adaptive Control Design for the Stabilization of Nonholonomic Mobile Robots with Matched Uncertainties", *Proc. of the 36th Conf. on Decision & Control*, California USA, pp. 1298-1301, Dec. 1997.
- [13] R. Mukherjee, D. Chen and G. Song, "Asymptotic Feed-back Stabilization of a Nonholonomic Mobile Robot using a Nonlinear Oscillator", *Proc. of the 35th Conf. on Decision and Control*, Kobe, Japan, pp. 1422-1427, Dec. 1996.
- [14] X. Yun and N. Sarkar, "Dynamics Feedback Control of Vehicles with Two Steerable Wheels", *Proc. of the 1996 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3105-3110, April 1996.
- [15] Y. Zheng and P. Moore, "The Design of Time-Optimal Control for Two-Wheeled Driven Carts Tracking A Moving Target", *Proc. of the 34th Conf. on Decision & Control*, pp. 3831-3836, 1995.

- [16] R. Fierro and F.L. Lewis, "Control of a Non-holonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics into Dynamics", *Proc. of the 34th Conf. on Decision & Control*, pp. 3805-3810, USA, Dec. 1995.
- [17] 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.
- [18] X. Yun and Y. Yamamoto, "Internal dynamics of a Wheeled Mobile Robot", *Proc. of the 1993 IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems*, Japan, pp. 1288-1294, July 1993.
- [19] Jean-Jacques E. Slotine and Weiping Li, *Applied Nonlinear Control*, Prentice-Hall International, Inc., pp. 122-125.