

MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC VÀ ĐỘNG LỰC HỌC CỦA TAY MÁY DI ĐỘNG 5 BẬC TỰ DO

KINEMATIC AND DYNAMIC MODELS OF THE 5 DOF MOBILE MANIPULATORS

Phan Tấn Tùng

Khoa Cơ Khí, Đại Học Bách Khoa, Tp Hồ Chí Minh, Việt Nam.
Email phtantung@yahoo.com Tel: 84-08-8637897

BẢN TÓM TẮT

Tay máy di động năm bậc tự do gồm có một tay máy phẳng ba bậc tự do (có ba khâu và ba khớp bản lề) gắn trên một xe robot di động hai bậc tự do (có hai bánh xe quay độc lập với nhau) là đối tượng nghiên cứu của bài báo này. Mô hình động học và động lực học của tay máy di động được xây dựng theo hướng phân chia thành hai hệ con – một hệ con là tay máy và một hệ con là xe robot. Việc xây dựng mô hình động học và động lực học trong đó bao gồm nhiều hệ con sẽ giúp cho các hệ phương trình mô tả cơ hệ đơn giản hơn. Các mô hình động học và động lực học này là cơ sở để thực hiện việc điều khiển tay máy di động. Các kết quả mô phỏng trên máy tính chứng minh tính đúng đắn của các mô hình động học và động lực học được đề nghị.

ABSTRACT

The five DOF mobile manipulator that includes a three DOF manipulator and a two wheeled mobile platform is the study subject of this paper. The kinematic and dynamic models of the mobile manipulator are divided into two subsystems – one for the mobile platform and another for the manipulator. In fact, the equations of the subsystems are more simple than for the whole. The kinematic and dynamic models are based for control the mobile manipulator. The simulation results on the computer show the effectiveness of the proposed models.

1. TỔNG QUAN

Ngày nay, các robot hàn đã được ứng dụng khá phổ biến trong các thao tác hàn trong môi trường nguy hiểm và độc hại cho sức khỏe của công nhân. Mô hình tay máy hàn di động gồm có một xe robot di động có lắp một tay máy là đối tượng nghiên cứu chính của bài báo này.

Trong các công trình đã được công bố trên thế giới có liên quan đến tay máy di động, chúng ta có thể kể đến các bài báo của Seraji^[3] phát triển một mô hình động học cho tay máy di động theo hướng xem toàn bộ xe và tay máy

là một hệ thống duy nhất. Yoo và các cộng sự^[7] đã phát triển xây dựng mô hình động học của tay máy di động dựa trên cơ sở hàm Lagrange. Yamamoto^[3] cũng đề nghị một mô hình động học cho tay máy di động dựa trên các hàm động lượng. Có thể tóm tắt các vấn đề liên quan đến mô hình động học và động lực học của tay máy di động được các nhà nghiên cứu khảo sát theo các xu hướng sau:

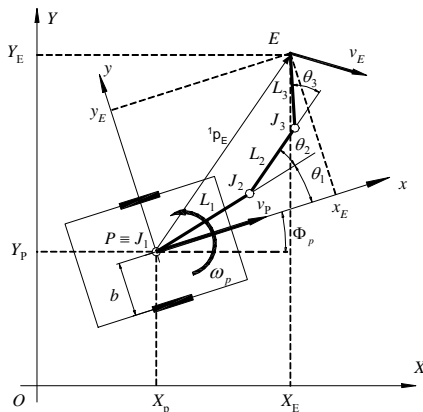
- Xem toàn bộ cơ hệ (bao gồm xe robot di động và tay máy) như một thể thống nhất. Sử dụng các phương trình năng lượng Lagrange để xây dựng mô hình động học.

- Xem cơ hệ như là sự tập hợp của các hệ con. Sử dụng các phương trình năng lượng Lagrange để xây dựng mô hình hình động học cho từng hệ con. Theo cách này thì phải tìm mối liên hệ giữa các hệ con với nhau.

Việc xây dựng mô hình động học và động lực học cho tay máy di động năm bậc tự do là rất cần thiết cho việc điều khiển chuyển động của tay máy di động. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một mô hình động học và động lực học của tay máy di động theo hướng một hệ thống bao gồm nhiều hệ con phục vụ cho quá trình điều khiển không tập trung (decentralized control).

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC

Chúng ta xem xét một tay máy di động như sơ đồ trên hình 1.



Hình 1 Sơ đồ của tay máy di động

Một hệ tọa độ vuông góc được gắn cố định vào xe robot (hệ xoy) được ký hiệu là hệ 1. Cả cơ hệ xe và tay máy chuyển động trong hệ cố định (hệ XOY) được ký hiệu là hệ 0. Mục tiêu của phần này là tìm ra mối liên hệ giữa vận tốc của đầu tự do của khâu 3 và vận tốc của các khâu dẫn (tức là hai bánh xe và ba khớp bản lề). Vận tốc của điểm $E[x_E \ y_E \ \phi_E]$ trong hệ 1 được xác định bởi phương trình (1)

$${}^1V_E = J\dot{\theta} \quad (1)$$

Trong đó ${}^1V_E = [\dot{x}_E \ \dot{y}_E \ \dot{\phi}_E]^T$ là vận tốc của điểm E trong hệ 1, $\dot{\theta} = [\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dot{\theta}_3]^T$ là vận tốc góc của các khớp J_1, J_2 và J_3 , và J là

ma trận Jacobian của cơ cấu tay máy ba khâu được xác định như sau

$$J = \begin{bmatrix} -L_3S_{123} - L_2S_{12} - L_1S_1 & -L_3S_{123} - L_2S_{12} & -L_3S_{123} \\ L_3C_{123} + L_2C_{12} + L_1C_1 & L_3C_{123} + L_2C_{12} & L_3C_{123} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

với

$$\begin{aligned} S_1 &= \sin(\theta_1); & S_{12} &= \sin(\theta_1 + \theta_2); \\ S_{123} &= \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3); & C_1 &= \cos(\theta_1); \\ C_{12} &= \cos(\theta_1 + \theta_2); & C_{123} &= \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3); \end{aligned}$$

L_1, L_2 và L_3 là chiều dài của ba khâu của tay máy.

Vận tốc của điểm $E[x_E \ y_E \ \phi_E]$ là $V_E[\dot{x}_E \ \dot{y}_E \ \dot{\phi}_E]^T$ trong hệ 0 được xác định bởi phương trình (2)

$$V_E = V_P + W_P \times {}^0Rot_1 {}^1p_E + {}^0Rot_1 V_E \quad (2)$$

với $V_P = [\dot{x}_P \ \dot{y}_P \ 0]^T$ là vectơ vận tốc dài của điểm P (cũng là vị trí của khớp J_1) trong hệ 0, $W_P = [0 \ 0 \ \dot{\phi}_P]^T$ là vectơ vận tốc góc của điểm P trong hệ 0, 0Rot_1 là ma trận quay chuyển đổi từ hệ 1 về hệ 0, 1p_E là vectơ vị trí của điểm E trong hệ 1.

$${}^0Rot_1 = \begin{bmatrix} \cos \Phi_P & -\sin \Phi_P & 0 \\ \sin \Phi_P & \cos \Phi_P & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1p_E = \begin{bmatrix} L_1C_1 + L_2C_{12} + L_3C_{123} \\ L_1S_1 + L_2S_{12} + L_3S_{123} \\ \phi_E \end{bmatrix}$$

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa vận tốc dài v_P và vận tốc góc ω_P của thân xe với vận tốc góc của bánh xe trái ω_L , bánh xe phải ω_R là:

$$\begin{bmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/r & b/r \\ 1/r & -b/r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_P \\ \omega_P \end{bmatrix} \quad (3)$$

với r là bán kính bánh xe và b là một nửa khoảng cách giữa hai bánh xe.

Cuối cùng, vận tốc dài và vận tốc góc của điểm E trong hệ 0 được xác định bởi hệ phương trình (4) như sau

$$\begin{aligned} v_E &= \dot{X}_E \cos\Phi_E + \dot{Y}_E \sin\Phi_E \\ \omega_E &= \dot{\Phi}_E \end{aligned} \quad (4)$$

3. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC

Mục này chỉ trình bày mô hình động lực học của xe robot. Do đặc điểm của tay máy hàn là hình dáng tay máy được bảo toàn khi hoạt động nên chúng ta xem đó chỉ như là một phần khối lượng của xe robot. Phương trình động lượng của xe robot tương ứng với khối tâm của xe là:

$$K = \frac{1}{2} m v_P^2 + \frac{1}{2} I \omega_P^2 + \frac{1}{2} I_w \omega_R^2 + \frac{1}{2} I_w \omega_L^2 \quad (5)$$

với m là tổng khối lượng của xe robot, I là tổng mô-men quán tính của xe robot đối với trục thẳng đứng đi qua khối tâm của xe, I_w là mô-men quán tính của bánh xe robot đối với trục thẳng đứng đi qua khối tâm của xe.

Tổng khối lượng của xe robot bao gồm khối lượng của thân xe m_c cộng với khối lượng hai bánh xe m_w và được biểu thị bởi phương trình sau:

$$m = m_c + 2m_w \quad (6)$$

Tổng mô-men quán tính của xe robot đối với trục thẳng đứng đi qua khối tâm của xe bao gồm mô-men quán tính của thân xe robot đối với trục thẳng đứng đi qua khối tâm của xe I_c cộng với mô-men quán tính của hai bánh xe và hai roto của động cơ DC đối với trục thẳng đứng đi qua khối tâm của chúng là I_m và được biểu thị bởi phương trình sau:

$$I = I_c + 2m_w b^2 + 2I_m \quad (7)$$

với $m_w b^2$ là đại lượng quy đổi mô-men quán tính I_m về trục thẳng đứng đi qua khối tâm của xe. Với chú ý rằng $v_P^2 = \dot{X}_P^2 + \dot{Y}_P^2$, $\omega_P^2 = \dot{\Phi}_P^2$, $\omega_R^2 = \dot{\theta}_R^2$ và $\omega_L^2 = \dot{\theta}_L^2$ thì phương trình (5) có thể viết lại như sau:

$$K = \frac{1}{2} m (\dot{X}_P^2 + \dot{Y}_P^2) + \frac{1}{2} I \dot{\Phi}_P^2 + \frac{1}{2} I_w (\dot{\theta}_R^2 + \dot{\theta}_L^2) \quad (8)$$

Kết hợp với điều kiện non-holonomic của xe robot hai bánh ta có phương trình sau:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} m (\dot{X}_P^2 + \dot{Y}_P^2) + \frac{1}{2} I \dot{\Phi}_P^2 + \frac{1}{2} I_w (\dot{\theta}_R^2 + \dot{\theta}_L^2) \\ &\quad + m_c d \dot{\Phi}_P (\dot{Y}_P \cos\phi_P - \dot{X}_P \sin\phi_P) \end{aligned} \quad (9)$$

Từ phương trình (3) vận tốc góc của bánh xe bên trái và bánh xe bên phải có thể biểu diễn bằng các phương trình sau:

$$\dot{\theta}_R = \frac{1}{r} (v_P + b\omega_P) \quad (10)$$

$$\dot{\theta}_L = \frac{1}{r} (v_P - b\omega_P) \quad (11)$$

Thay các phương trình (10) và (11) vào phương trình (9) và sắp xếp lại ta có phương trình động lượng của xe robot như sau:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} \left(m + \frac{2I_w}{r^2} \right) (\dot{X}_P^2 + \dot{Y}_P^2) + m_c d \dot{\Phi}_P (\dot{Y}_P \cos\Phi_P \\ &\quad - \dot{X}_P \sin\Phi_P) + \frac{1}{2} \left(I + \frac{I_w}{2c^2} \right) \dot{\Phi}_P^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Phương trình Lagrange đối với hệ non-holonomic cho bởi phương trình sau

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_i} = F_i - a_{i1} \lambda \quad (13)$$

với q_i là tọa độ Lagrange, F_i là lực Lagrange, λ là nhân tử Lagrange, a_{i1} là các thừa số.

Thay phương trình (12) vào phương trình (13) ta được các phương trình sau

$$\begin{aligned} \left(m + \frac{2I_w}{r^2} \right) \ddot{X}_P - m_c d (\ddot{\Phi}_P \sin\Phi_P + \dot{\Phi}_P^2 \cos\Phi_P) \\ = \frac{(\tau_R + \tau_L) \cos\Phi_P}{r} - \lambda \sin\Phi_P \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \left(m + \frac{2I_w}{r^2} \right) \ddot{Y}_P + m_c d (\ddot{\Phi}_P \cos\Phi_P - \dot{\Phi}_P^2 \sin\Phi_P) \\ = \frac{(\tau_R + \tau_L) \sin\Phi_P}{r} + \lambda \cos\Phi_P \end{aligned} \quad (15)$$

$$m_c d (\ddot{Y}_P \cos \Phi_P - \ddot{X}_P \sin \Phi_P) + \left(I + \frac{I_w}{2c^2} \right) \ddot{\Phi}_P = \frac{b}{r} (\tau_R - \tau_L) \quad (16)$$

Với τ_L và τ_R là mô-men xoắn của bánh trái và phải, d là khoảng cách từ điểm P đến khối tâm của xe robot, $c = \frac{r}{2b}$. Viết lại các phương trình (14,15, 16) ta có

$$M_v(q_v) \ddot{q}_v + C_v(q_v, \dot{q}_v) \dot{q}_v = E(q_v) \tau_v - A^T(q_v) \lambda \quad (17)$$

với

$$q_v = [X_P \quad Y_P \quad \Phi_P]^T$$

$$M_v(q_v) = \begin{bmatrix} m + \frac{2I_w}{r^2} & 0 & -m_c d \sin \Phi_P \\ 0 & m + \frac{2I_w}{r^2} & m_c d \cos \Phi_P \\ -m_c d \sin \Phi_P & m_c d \cos \Phi_P & I + \frac{I_w}{2c^2} \end{bmatrix}$$

$$C_v(q_v, \dot{q}_v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m_c d \dot{\Phi}_P \cos \Phi_P \\ 0 & 0 & -m_c d \dot{\Phi}_P \sin \Phi_P \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$E(q_v) = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos \Phi_P & \cos \Phi_P \\ \sin \Phi_P & \sin \Phi_P \\ b & -b \end{bmatrix} \quad \tau_v = \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \left(m + \frac{2I_w}{r^2} \right) (\dot{X}_P \cos \Phi_P + \dot{Y}_P \sin \Phi_P) \dot{\Phi}_P + m_c d \ddot{\Phi}_P$$

Phương trình (17) là mô hình động lực học của xe robot diễn tả mối liên hệ giữa mô-men xoắn tác động lên hai bánh xe với gia tốc và vận tốc của xe robot.

4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN

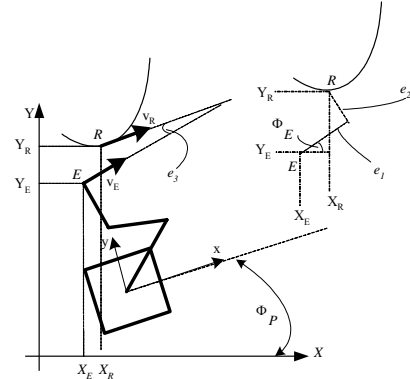
Để kiểm chứng các mô hình động học và động lực học đã đề nghị như trên, chúng ta áp dụng các mô hình này để điều khiển một tay máy di động dùng trong lĩnh vực hàn, trong đó điểm hàn (súng hàn) xem như đặt tại đầu tự do của khâu 3. Nhiệm vụ của tay máy hàn là phải di chuyển theo quỹ đạo của đường hàn sao cho đảm bảo vận tốc hàn (chọn bằng 7,5 mm/s) và khâu 3 phải luôn luôn vuông góc với đường

hàn. Mục 4 trình bày cách thiết kế bộ điều khiển sao cho tay máy hàn di động thực hiện được yêu cầu trên.

4.1 Định nghĩa sai số

Giả sử có một điểm hàn tham chiếu di chuyển trên quỹ đạo hàn với vận tốc bằng vận tốc hàn. Nếu điểm hàn trên tay máy hàn di động không trùng với điểm hàn tham chiếu thì tồn tại các sai số vị trí giữa chúng. Mục tiêu của bộ điều khiển là làm cho điểm hàn trên tay máy hàn chuyển động theo điểm hàn tham chiếu và sai số vị trí sẽ dần về giá trị 0. Dựa trên sơ đồ ở hình 2, chúng ta định nghĩa các sai số vị trí như sau

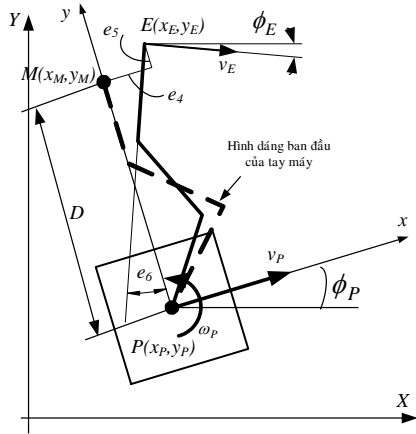
$$E_E = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi_E & \sin \Phi_E & 0 \\ -\sin \Phi_E & \cos \Phi_E & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_R - X_E \\ Y_R - Y_E \\ \Phi_R - \Phi_E \end{bmatrix} \quad (18)$$



Hình 2 Sơ đồ dùng để xác định sai số e_1, e_2, e_3

Tay máy hàn di động là một cơ cấu có năm bậc tự do, trong khi ràng buộc của điểm hàn chỉ có ba. Do đó chúng ta tạo thêm hai ràng buộc phụ bằng cách buộc tay máy hàn không thay đổi hình dáng khi hoạt động. Điều này tương ứng với việc điểm E phải luôn luôn trùng với một điểm M cố định trên xe robot. Nếu tay máy thay đổi hình dáng thì sẽ tồn tại sai số giữa hai điểm này. Dựa trên sơ đồ ở hình 3, chúng ta định nghĩa các sai số vị trí như sau

$$E_M = \begin{bmatrix} e_4 \\ e_5 \\ e_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Phi_M & \sin \Phi_M & 0 \\ -\sin \Phi_M & \cos \Phi_M & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_E - X_M \\ Y_E - Y_M \\ \Phi_E - \Phi_M \end{bmatrix} \quad (19)$$



Hình 3 Sơ đồ dùng để xác định sai số e_4, e_5, e_6

4.2 Thiết kế luật điều khiển bằng mô hình động học cho tay máy

Hàm Lyapunov chọn như sau

$$V_0 = \frac{1}{2} E_E^T E_E \quad (20)$$

Đạo hàm của hàm Lyapunov là

$$\dot{V}_0 = \dot{E}_E^T E_E \quad (21)$$

Để $\dot{V}_0 \leq 0$ thì phương trình sau đây phải thỏa

$$\dot{E}_E = -K E_E \quad (22)$$

Với $K = \text{diag}(k_1 \quad k_2 \quad k_3)$ và k_1, k_2, k_3 là các hằng số dương. Kết hợp các phương trình (2), (18) và (22) ta có vectơ vận tốc của ba khớp bản lề của tay máy là :

$$\dot{\theta} = J^{-1} \text{Rot}_1^{-1} (A^{-1} (\dot{A} A^{-1} + K) E_E + V_R - V_P - W_P \times^0 \text{Rot}_1^1 P_E) \quad (23)$$

4.2 Thiết kế luật điều khiển bằng mô hình động học cho xe robot

Hàm Lyapunov chọn như sau

$$V_1 = \frac{1}{2} E_M^T E_M \quad (24)$$

Đạo hàm của hàm Lyapunov là

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_M^T E_M \quad (25)$$

Để $\dot{V}_1 \leq 0$ thì vận tốc của xe robot phải thỏa phương trình sau:

$$\begin{aligned} v_P &= v_E \cos e_6 + D \omega_P + k_4 e_4 \\ \omega_P &= \omega_E + v_E \sin e_6 + k_5 e_5 + k_6 e_6 \end{aligned} \quad (26)$$

với k_4, k_5, k_6 là các hằng số dương.

4.4 Thiết kế luật điều khiển bằng mô hình động lực học cho xe robot

Ta chọn phương pháp điều khiển thích nghi để điều khiển xe robot với các đại lượng phải ước lượng là khối lượng xe robot. Ta có:

$$\dot{q}_v = \begin{bmatrix} \cos \Phi_P & 0 \\ \sin \Phi_P & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_P \\ \omega_P \end{bmatrix} = S(q_v) v(t) \quad (27)$$

Thay phương trình (27) vào phương trình (17) và ký hiệu lại ta có:

$$\bar{M}_v \dot{v} + \bar{C}_v v = \bar{E} \tau_v \quad (28)$$

với

$$\begin{aligned} \bar{M}_v &= S^T M_{vf} S \quad \text{và} \quad \hat{\bar{M}}_v \text{ là đại lượng ước lượng} \\ \bar{C}_v &= S^T (M_{vf} \dot{S} + C_{vf} S) \quad \text{và} \quad \hat{\bar{C}}_v \text{ là đại lượng ước lượng} \\ \bar{E} &= S^T E \end{aligned}$$

Phương trình (28) với các đại lượng được ước lượng được viết lại như sau:

$$\hat{\bar{M}}_v \dot{v}^* + \hat{\bar{C}}_v v = \bar{E}(q_v) \hat{\tau}_v \quad (29)$$

với

$$\dot{v}^* = \dot{v}_d + K_v \tilde{v} \quad (30)$$

$$\tilde{v} = v_d - v \quad (31)$$

và K_v là ma trận chéo 2×2 bao gồm các hằng số. Thay các phương trình (30) và (31) vào

phương trình (29) ta có:

$$\dot{\tilde{v}} + K_v \tilde{v} = \hat{M}_v^{-1} (\hat{M}_v \dot{v} + \hat{C}_v v) \quad (32)$$

Với $\hat{M}_v = \bar{M}_v - \hat{M}_v$ và $\hat{C}_v = \bar{C}_v - \hat{C}_v$

Đặt

$$\varphi_v = \left[m_c \quad m_w \quad I_c \quad I_w \quad I_m \quad \sum_{i=1}^K m_i \quad \sum_{i=1}^K m_i l_i^2 \right]^T$$

thì phương trình (28) được viết lại như sau

$$\bar{M}_v \dot{v} + \bar{C}_v v = W \varphi_v \quad (33)$$

với

$$W = \begin{bmatrix} \dot{v}_p - \dot{\Phi}_p^2 d & 2\dot{v}_p & 0 & \frac{2\dot{v}_p}{r^2} & 0 & \dot{v}_p - h(\dot{\Phi}_p \sin \beta + \dot{\Phi}_p^2 \cos \beta) & 0 \\ d\dot{\Phi}_p v_p & 2b^2 \dot{\Phi}_p & \dot{\Phi}_p & \frac{2\dot{\Phi}_p}{r^2} & 2\dot{\Phi}_p & 0 & \dot{\Phi}_p \end{bmatrix}$$

Với chú ý là $\tau_v = \hat{\tau}_v$ thì phương trình (32) được viết lại là

$$\dot{\tilde{v}} + K_v \tilde{v} = \hat{M}_v^{-1} W \tilde{\varphi}_v \quad (34)$$

với

$$\tilde{\varphi}_v = \varphi_v - \hat{\varphi}_v \quad (35)$$

Hàm Lyapunov chọn như sau

$$V_v = \tilde{v}^T U \tilde{v} + \tilde{\varphi}_v^T \Gamma^{-1} \tilde{\varphi}_v \quad (36)$$

Với U là ma trận chéo 2×2 xác định dương, Γ là ma trận chéo 7×7 xác định dương. Đạo hàm của hàm Lyapunov là

$$\dot{V}_v = -2\tilde{v}^T U K_v \tilde{v} + 2 \left(\tilde{v}^T U \hat{M}_v^{-1} W + \tilde{\varphi}_v^T \Gamma^{-1} \right) \tilde{\varphi}_v \quad (37)$$

Luật điều khiển thích nghi cho xe robot là

$$\tau_v = \bar{E}^{-1} \left(\hat{M}_v \dot{v}^* + \hat{C}_v v \right) \quad (38)$$

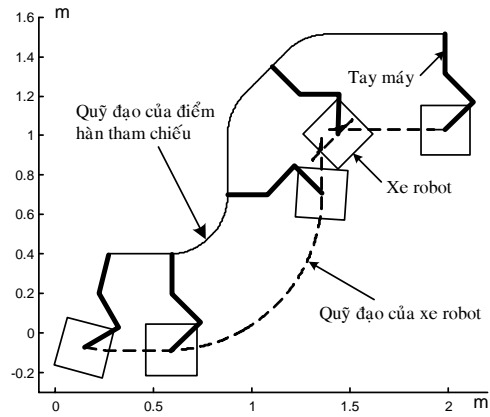
Luật cập nhật là

$$\hat{\phi}_v^T = \tilde{v}^T U \hat{M}_v^{-1} W \Gamma \quad (39)$$

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

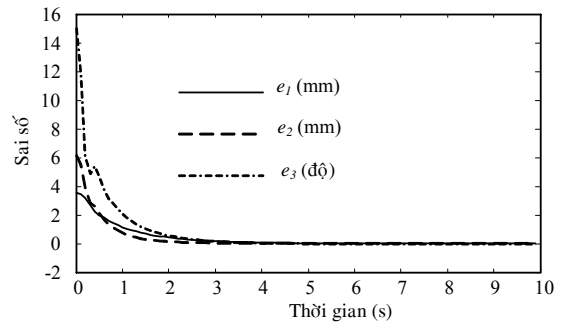
5.1 Kết quả mô phỏng với mô hình động học

Với các bộ điều khiển của xe robot và tay máy biểu thị bởi phương trình (23) và (26), chúng ta có kết quả mô phỏng trên máy tính như hình 4. Kết quả mô phỏng cho thấy tay máy chuyển động theo đúng quỹ đạo hàn và xe robot chuyển động để giữ cho hình dáng tay máy không thay đổi.

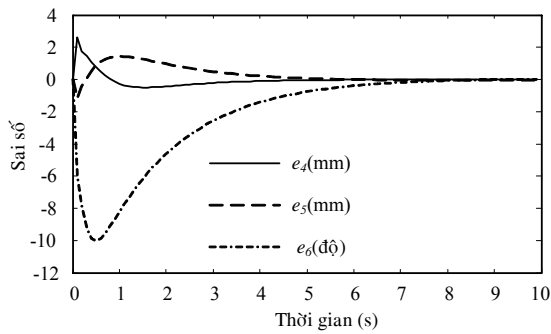


Hình 4 Kết quả mô phỏng biểu diễn quá trình tay máy di động hàn làm việc.

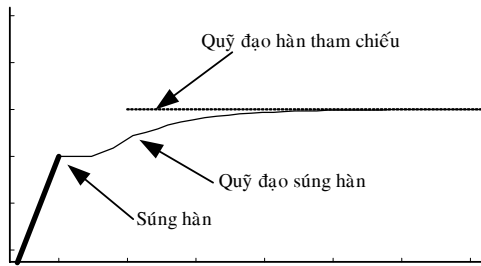
Các đồ thị từ hình 5 đến hình 9 biểu thị các thông số của tay máy hàn di động khi thực hiện chuyển động theo quỹ đạo hàn. Khi bắt đầu hoạt động, vị trí của điểm hàn trên tay máy không trùng với điểm hàn tham chiếu, do đó tồn tại các sai số e_1, e_2, e_3 . Tuy nhiên sau khoảng 2,5s thì hai điểm này đã trùng nhau.



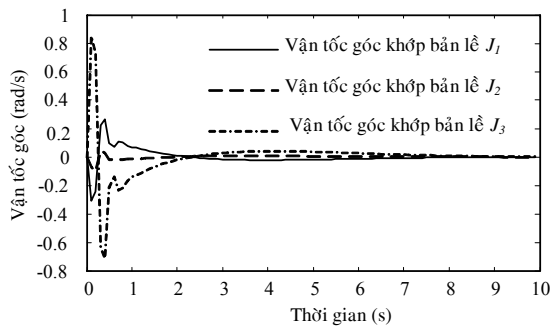
Hình 5 Đồ thị biểu diễn sai số e_1, e_2 và e_3 trong 10 giây đầu tiên.



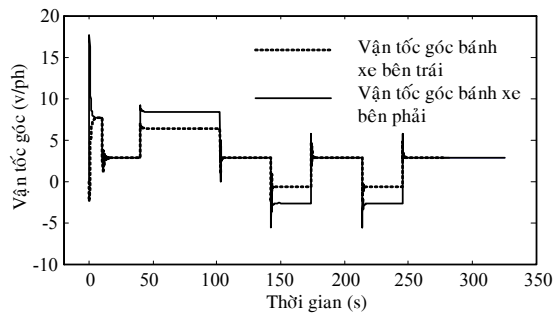
Hình 6 Đồ thị biểu diễn sai số e_4 , e_5 và e_6 trong 10 giây đầu tiên.



Hình 7 Quỹ đạo điểm hàn ở giai đoạn đầu



Hình 8 Đồ thị biểu diễn vận tốc góc của các khớp J_1 , J_2 và J_3 trong 10 giây đầu tiên.

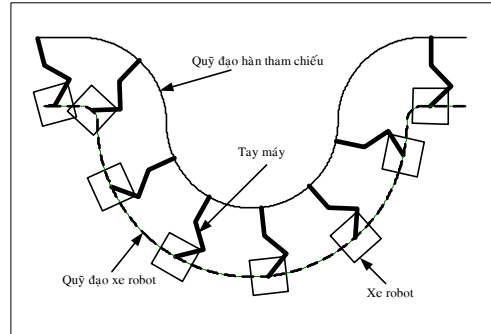


Hình 9 Đồ thị biểu diễn vận tốc góc của bánh xe bên trái và bên phải

5.2 Kết quả mô phỏng với mô hình động lực học

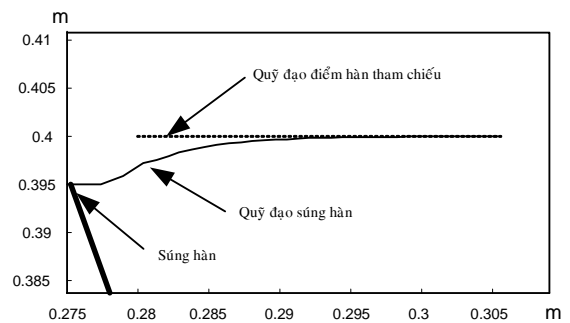
Với các bộ điều khiển của xe robot và tay

máy biểu thị bởi phương trình (23), (38) và (39), chúng ta có kết quả mô phỏng trên máy tính như hình 10. Kết quả mô phỏng cho thấy tay máy chuyển động theo đúng quỹ đạo hàn và xe robot chuyển động để giữ cho hình dáng tay máy không thay đổi.

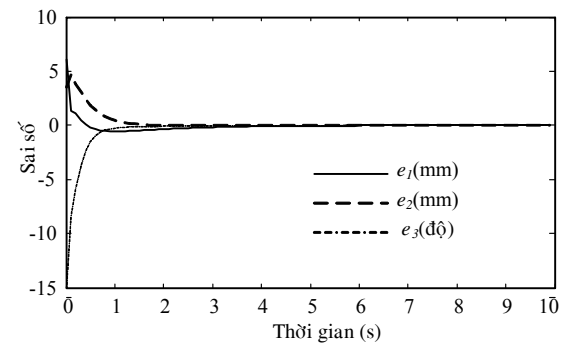


Hình 10 Kết quả mô phỏng biểu diễn quá trình tay máy di động hàn làm việc.

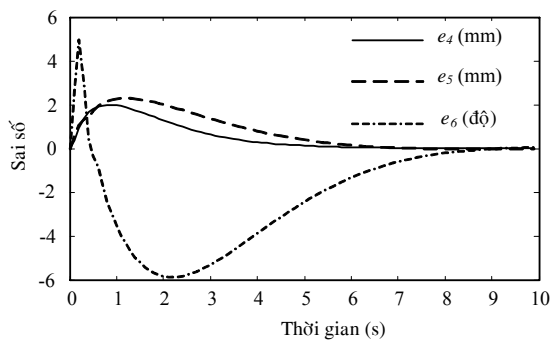
Các đồ thị từ hình 11 đến hình 15 biểu thị các thông số của tay máy hàn di động khi thực hiện chuyển động theo quỹ đạo hàn. Khi bắt đầu hoạt động, vị trí của điểm hàn trên tay máy không trùng với điểm hàn tham chiếu, do đó tồn tại các sai số e_1 , e_2 , e_3 . Tuy nhiên sau khoảng 2,5s thì hai điểm này đã trùng nhau.



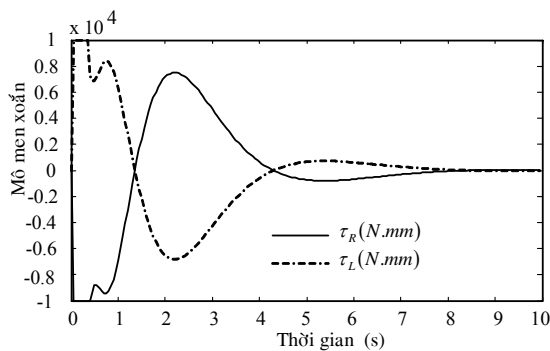
Hình 11 Quỹ đạo điểm hàn ở giai đoạn đầu



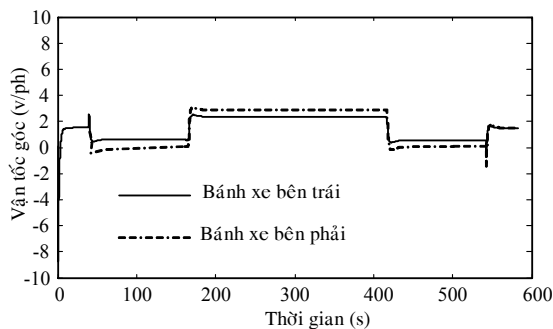
Hình 12 Đồ thị biểu diễn sai số e_1 , e_2 và e_3 trong 10 giây đầu tiên



Hình 13 Đồ thị biểu diễn sai số e_4 , e_5 và e_6 trong 10 giây đầu tiên



Hình 14 Đồ thị biểu diễn mô-men xoắn của bánh xe trái và phải trong 10 giây đầu tiên



Hình 15 Đồ thị biểu diễn vận tốc góc của bánh xe bên trái và bên phải

6. KẾT LUẬN

Bài báo này giới thiệu mô hình động học và động lực học của tay máy di động theo hướng chia thành nhiều hệ con phục vụ cho việc điều khiển không tập trung. Đồng thời, bài báo cũng giới thiệu luật điều khiển sử dụng các mô hình đã thiết lập để điều khiển tay máy di động với ứng dụng là robot hàn. Các kết quả mô phỏng đã chứng tỏ tính đúng đắn của các mô hình đã đề nghị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tan Tung Phan, Tan Lam Chung, Manh Dung Ngo, Hak Kyeong Kim, and Sang Bong Kim, "Decentralized Control Method for a Welding Mobile Manipulator", *KSME International Journal*, accepted (Dec. 2004).
2. Y. Yamamoto, *Control and Coordination of Locomotion and Manipulation of a Wheeled Mobile Manipulator*, Ph. D. Thesis, Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania, USA, 1994.
3. H. Seraji, "Configuration Control of Rover Mounted Manipulators", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 2261-2266, 1995.
4. H. Wang, T. Fukao, and N. Adachi, "An Adaptive Tracking Control Approach for Nonholonomic Mobile Robot", *Proceedings of the IFAC World Congress*, pp. 609-615, 1999.
5. Y. Kanayama, "Two Dimensional Wheeled Vehicle Kinematic", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 4, pp. 3079-3084, 1994.
6. R. Fierro, and F. L. Lewis, "Control of a Nonholonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics into Dynamics", *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 4, pp. 3805-3810, 1995.
7. W. S. Yoo, J. D. Kim, and S. J. Na, "A Study on a Mobile Platform Manipulator Welding System for Horizontal Fillet Joints", *Transactions on Mechatronics*, Vol. 11, pp. 853-868, 2001.