

Phân tích động học và mô phỏng cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do có cấu hình linh hoạt ứng dụng trong lắp ghép cơ khí

Vũ Minh Hùng, Phạm Hồng Quang, Trịnh Quang Trung, Võ Quốc Thắng

Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU),
Email liên lạc: hungvm@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này trình bày các phân tích động học thuận, động học ngược và mô phỏng trên phần mềm Matlab cho một cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do. Cơ cấu này gồm có 6 khớp quay (theo thứ tự là các khớp 1, 2, 4, 6, 7 và 8) và 2 khớp chuyển động tịnh tiến (khớp 3 và 5). Do các khớp quay 2, 4 bị phụ thuộc cơ khí với nhau làm cho hệ chỉ có 7 bậc tự do và giúp cho khớp 5 luôn song song với mặt đất. Hai khớp tịnh tiến còn giúp cho cơ cấu tay máy có thể thu nhỏ hoặc phóng to cấu hình để tạo ra một không gian làm việc linh hoạt. Động học thuận của tay máy được phân tích dựa vào lý thuyết Denavit-Hartenberg, trong khi đó động học ngược được tính toán dựa trên một hàm tối ưu để tối thiểu hóa chuyển động của khớp 2 và hai khớp tịnh tiến. Phương pháp số Newton Raghson được ứng dụng để giải bài toán tối ưu này. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab đối với một quỹ đạo của tay máy trong hệ tọa độ Đề các tương ứng với các góc quay và độ dịch chuyển của các khớp trong hệ tọa độ suy rộng. Đây là một cơ cấu mới với rất nhiều tiềm năng ứng dụng, đặc biệt trong lắp ghép cơ khí giữa hai vật thể bằng phương pháp nhiệt.

Từ khóa: rôbot 7 bậc tự do, tay máy 7 bậc tự do, động học ngược, động học robot chuỗi, phương pháp số, inverse kinematics, 7-dof robot

1. Đặt vấn đề

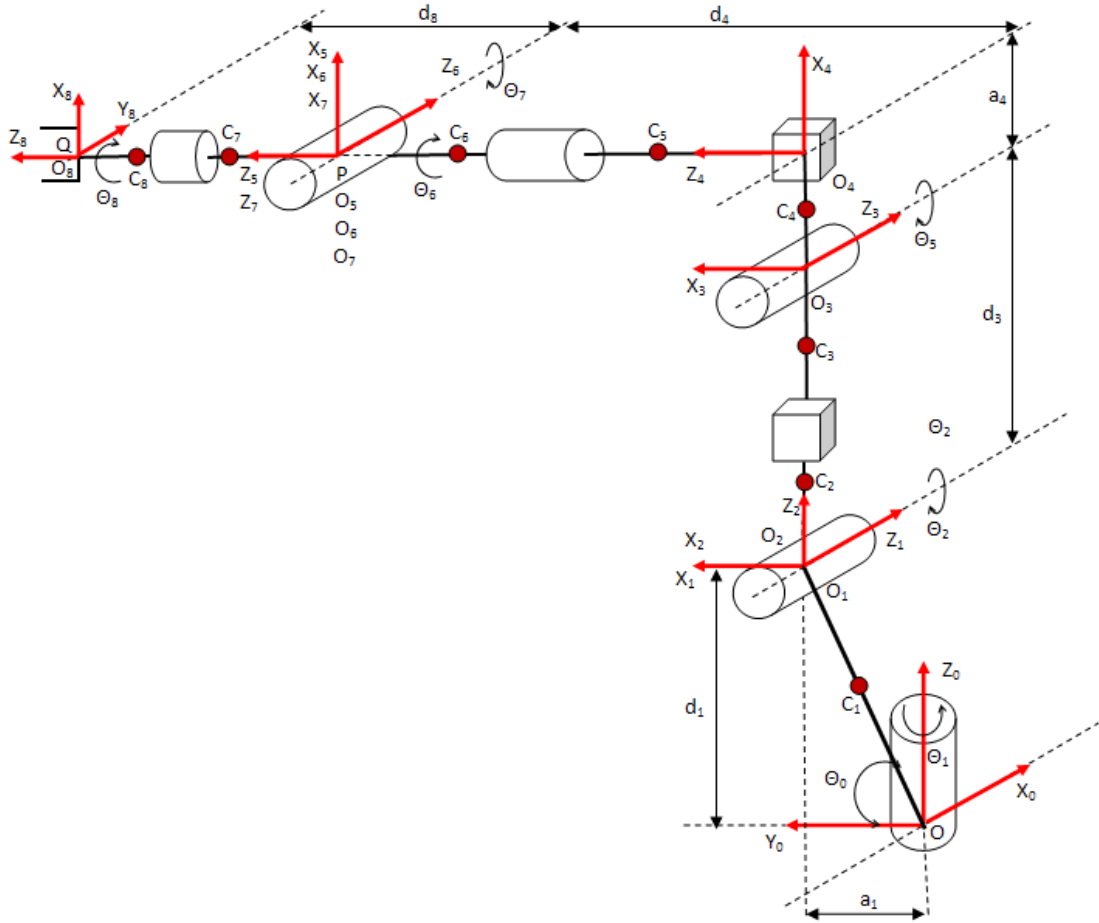
Hiện nay trong thực tiễn sản xuất có rất nhiều đơn vị thực hiện việc gia công, chế tạo và lắp ghép cơ khí. Trong đó, việc hàn ghép các chi tiết kim loại bằng phương pháp nhiệt đang được sử dụng hiệu quả. Phương pháp này được thực hiện bằng cách nung nóng các chi tiết kim loại rồi ép chúng vào nhau bằng một lực ép mạnh (thủy lực). Tuy nhiên, việc di chuyển chi tiết từ vị trí nung đến vị trí ghép thường tốn thời gian với nhiều công đoạn tháo lắp phức tạp dẫn đến làm giảm nhiệt độ của chi tiết và năng suất. Hơn nữa việc gá lắp các chi tiết thiếu chính xác có thể dẫn đến lệch tâm và phá hỏng sản phẩm. Để giải quyết vấn đề này, một số tay máy công nghiệp đã được ứng dụng và mang lại hiệu quả cao.

Tuy nhiên các tay máy hiện nay thường chỉ có 4, 5 hoặc 6 bậc tự do dẫn đến cấu hình kém linh hoạt và không gian làm việc bị hạn chế. Vì thế tác giả đề xuất một cấu trúc cơ khí 7 bậc tự do có thể thay đổi cấu hình một cách linh hoạt hơn, do đó không gian làm việc được mở rộng hơn. Cơ cấu này có thể làm việc như một tay máy công nghiệp để gắp chi tiết được nung nóng và gắp vào một chi tiết khác với độ chính xác cao và thời gian gá lắp nhanh. Ngoài ra cơ cấu này cũng có thể được ứng dụng trong các lĩnh vực công nghiệp khác như đóng tàu, gia công cơ khí, lắp ráp máy móc và vận chuyển sản phẩm.

Đối với các cơ cấu dư bậc tự do thì động học ngược khó có thể tính được bằng các phương pháp thông thường vì số phương trình độc lập ít hơn số ẩn hoặc các phương trình lượng giác quá phức tạp. Vì thế phương pháp số thường được dùng để tìm nghiệm cho bài toán dạng này (theo [1-9]). Trong đó, lựa chọn hàm tối ưu là một vấn đề quan trọng liên quan đến quỹ đạo chuyển động của cơ cấu và tính tối ưu trong việc sử dụng năng lượng. Bài toán động học ngược là một mấu chốt quan trọng để có thể mô phỏng chuyển động vị trí của cơ cấu. Do vậy các tác giả đặt trọng tâm vào việc giải bài toán động học ngược và mô phỏng chuyển động của cơ cấu trên phần mềm Matlab.

2. Cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do

Hình 1 miêu tả một cơ cấu tay máy dạng chuỗi với 6 khớp quay (theo thứ tự là các khớp 1, 2, 4, 6, 7 và 8) và 2 khớp chuyển động tịnh tiến (khớp 3 và 5). Do các khớp quay 2, 4 bị phụ thuộc cơ khí với nhau làm cho hệ chỉ có 7 bậc tự do và giúp cho khớp 5 luôn song song với mặt đất. Hai khớp tịnh tiến còn giúp cho cơ cấu có thể thu nhỏ hoặc phóng to cấu hình để tạo ra một không gian làm việc linh hoạt. Hệ tọa độ của cơ cấu tay máy và các khớp cũng được thể hiện trên Hình 1. Khớp 1 chuyển động quanh một trục thẳng đứng Z_0 với góc quay θ_1 , trong khi đó khâu 1 (OO_1) nghiêng một góc θ_0 so với hình chiếu của nó xuống mặt phẳng đất. Khớp 2 quay quanh trục Z_1 với góc quay θ_2 và khớp 3 dịch chuyển lên xuống dọc theo trục Z_2 với độ dịch chuyển d_3 .



Hình 1. Hệ tọa độ của cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do

Riêng khớp 4 mặc dù vẫn quay quanh trục Z_3 với góc quay θ_3 nhưng bị ràng buộc với khớp 2 sao cho $\theta_3 + \theta_2 = \pi/2$ và khớp 5 dịch chuyển ngang theo trục Z_4 với độ dịch chuyển d_4 . Các khớp 6, 7, 8 lần lượt quay quanh các trục tương ứng với góc quay là $\theta_6, \theta_7, \theta_8$. Tên các góc quay được định nghĩa sao cho phù hợp với bảng tham số động học DH (Denavit Hartenberg) nên thứ tự có khác nhau.

3. Phân tích động học thuận

Tham số động học DH của cơ cấu tay máy 7 bậc tự do được miêu tả cụ thể ở Bảng 1.

Bảng 1. Tham số DH của cơ cấu tay máy 7 bậc tự do

Khâu	a_i	α_i	d_i	θ_i	Giá trị đầu
1	a_1 (0.22m)	90°	d_1 (0.420m)	θ_1	90°
2	0	-90°	0	θ_2	0
3	0	90°	d_3 (thay đổi được)	0	1.025m
4	0	0	d_4 (thay đổi được)	0	0.5645m
5	a_4 (0.207m)	90°	0	$\theta_5 = 90^\circ - \theta_2$	90°
6	0	-90°	0	θ_6	0
7	0	90°	0	θ_7	0
8	0	0	d_8 (0.018m)	θ_8	0

Phân tích động học cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do có cấu hình linh hoạt ứng dụng trong lắp ráp cơ khí

trong đó, a_i là khoảng cách giữa hai trục Z (trục khớp); d_i là khoảng cách giữa hai trục khâu (trục X); α_i là góc giữa các trục khớp đo từ trục khâu thứ Z_{i-1} tới Z_i theo hướng dương là trục X_i ; θ_i là góc giữa hai trục khâu từ X_{i-1} tới X_i theo hướng dương là trục Z_{i-1} .

Từ đó có thể tìm được ma trận chuyển vị từ trục tọa độ thứ i đến trục tọa độ thứ $i-1$ là:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dựa theo cách chuyển này thì vị trí và hướng của khâu thao tác có thể được xác định từ các thành phần của ma trận sau;

$$T = {}^0A_8 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 {}^6A_7 {}^7A_8 = [u \ v \ w \ q; 0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (2)$$

Trong đó $u^T = [u_x \ u_y \ u_z]$, $v^T = [v_x \ v_y \ v_z]$, $w^T = [w_x \ w_y \ w_z]$ là các véc tơ xác định hướng và $q^T = [q_x \ q_y \ q_z]$ là véc tơ xác định vị trí của khâu thao tác;

$$u_x = -\cos\theta_1 \sin\theta_7 \cos\theta_8 + \sin\theta_1 (\sin\theta_6 \cos\theta_7 \cos\theta_8 + \cos\theta_6 \sin\theta_8) \quad (3)$$

$$u_y = -\sin\theta_1 \sin\theta_7 \cos\theta_8 - \cos\theta_1 (\sin\theta_6 \cos\theta_7 \cos\theta_8 + \cos\theta_6 \sin\theta_8) \quad (4)$$

$$u_z = \cos\theta_6 \cos\theta_7 \cos\theta_8 - \sin\theta_6 \sin\theta_8 \quad (5)$$

$$v_x = \cos\theta_1 \sin\theta_7 \sin\theta_8 + \sin\theta_1 (-\sin\theta_6 \cos\theta_7 \sin\theta_8 + \cos\theta_6 \cos\theta_8) \quad (6)$$

$$v_y = \sin\theta_1 \sin\theta_7 \sin\theta_8 - \cos\theta_1 (-\sin\theta_6 \cos\theta_7 \sin\theta_8 + \cos\theta_6 \cos\theta_8) \quad (7)$$

$$v_z = -\cos\theta_6 \cos\theta_7 \sin\theta_8 - \sin\theta_6 \cos\theta_8 \quad (8)$$

$$w_x = \cos\theta_1 \cos\theta_7 + \sin\theta_1 \sin\theta_6 \sin\theta_7 \quad (9)$$

$$w_y = \sin\theta_1 \cos\theta_7 - \cos\theta_1 \sin\theta_6 \sin\theta_7 \quad (10)$$

$$w_z = \cos\theta_6 \sin\theta_7 \quad (11)$$

$$q_x = \cos\theta_1 (a_1 - d_3 \sin\theta_2 + d_4 + d_8 \cos\theta_7) + d_8 \sin\theta_1 \sin\theta_6 \sin\theta_7 \quad (12)$$

$$q_y = \sin\theta_1 (a_1 - d_3 \sin\theta_2 + d_4 + d_8 \cos\theta_7) - d_8 \cos\theta_1 \sin\theta_6 \sin\theta_7 \quad (13)$$

$$q_z = d_1 + d_3 \cos\theta_2 + a_4 + d_8 \cos\theta_6 \sin\theta_7 \quad (14)$$

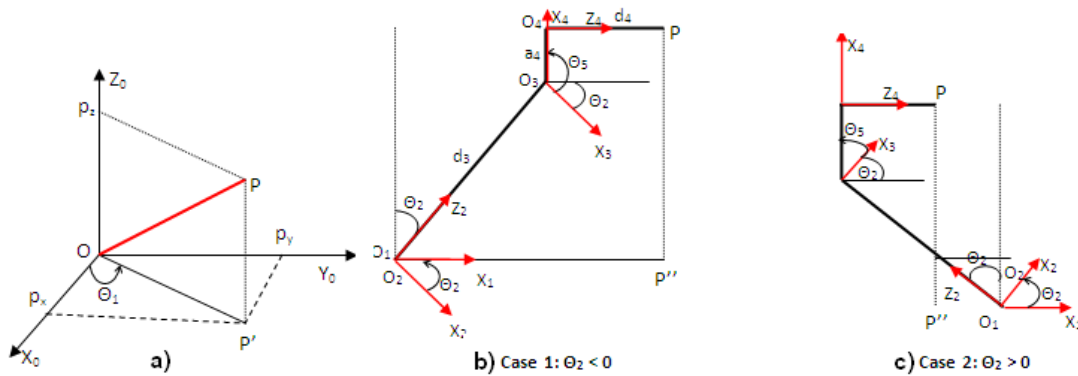
4. Phân tích động học ngược

Trong vấn đề động học ngược thì vị trí và hướng của khâu thao tác sẽ được cho trước để tính toán vị trí của các khớp (góc quay đối với khớp quay và độ dịch chuyển đối với khớp tịnh tiến). Đối với cơ cấu 7 bậc tự do này thì các véc tơ chỉ hướng u, v, w và véc tơ vị trí q của khâu thao tác được cho để tìm năm góc quay $\theta_1, \theta_2, \theta_6, \theta_7, \theta_8$ (do ràng buộc cơ khí nên $\theta_5 = \pi/2 - \theta_2$) và hai khớp tịnh tiến d_3, d_4 .

Đây là một cơ cấu dư dẫn động 7 bậc tự do nên việc tìm vị trí các khớp bằng phương pháp thông thường là rất khó khăn. Giải pháp được đề xuất ở đây là tìm vị trí của một số khớp dựa vào biên đổi phương trình động học nếu có thể, sau đó sử dụng phương pháp số với các hàm ràng buộc phù hợp để tìm vị trí các khớp còn lại.

Đầu tiên vị trí của điểm P (được gọi là điểm tâm cổ tay) có thể được tính như sau,

$$P^T = [p_x \ p_y \ p_z] = [q_x - d_8 w_x \ q_y - d_8 w_y \ q_z - d_8 w_z] \quad (15)$$



Hình 2. Vị trí điểm P trong mặt phẳng đứng

Từ Hình 2 ở trên thì góc quay của khớp 1 có thể dễ dàng tìm được như sau:

$$\theta_1 = \tan^{-1}(p_y / p_x) \quad (16)$$

Cũng từ Hình 2 dẫn đến quan hệ $p_z = d_1 + d_3 \cos \theta_2 + a_4$ và $\sqrt{p_x^2 + p_y^2} = a_1 - d_3 \sin \theta_2 + d_4$. Từ đó có thể tìm được $\cos \theta_2 = (p_z - d_1 - a_4) / d_3$ và $\sin \theta_2 = (a_1 + d_4 - \sqrt{p_x^2 + p_y^2}) / d_3$. Như vậy góc quay của khớp 2 có thể tính được như sau:

$$\theta_2 = a \tan 2(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \quad (17)$$

Do ràng buộc cơ khí để khớp tịnh tiến d_4 luôn chuyển động theo phương ngang song song với mặt đất nên góc quay của khớp 5,

$$\theta_5 = \pi / 2 - \theta_2, \quad \pi = 3.14 \quad (18)$$

Tiếp theo nhân hai vế của phương trình (7) với $\cos \theta_1$ và phương trình (8) $\sin \theta_1$ rồi cộng lại để được quan hệ sau: $w_x \cos \theta_1 + w_y \sin \theta_1 = \cos \theta_7$.

Từ đó tìm được góc quay của khớp 7,

$$\theta_7 = \pm a \cos(w_x \cos \theta_1 + w_y \sin \theta_1) \quad (19)$$

Do có hai nghiệm bằng nhau về độ lớn nhưng khác dấu nên việc lựa chọn giá trị nào phụ thuộc vào điều kiện đầu và giá trị góc quay trước đó.

Tương tự cũng từ phương trình (9) và (10) dẫn đến quan hệ sau, $\sin \theta_6 = (w_x \sin \theta_1 - w_y \cos \theta_1) / \sin \theta_7$.

Mặt khác từ phương trình (11) tìm được, $\cos \theta_6 = w_x / \sin \theta_7$. Do vậy góc quay của khớp 6 là,

$$\theta_6 = a \tan 2(\sin \theta_6, \cos \theta_6) \quad (20)$$

Góc quay khớp 8 gắn với khâu thao thác cũng có thể được tính thông qua các phương trình động học ở trên. Từ phương trình (3) và (4) dẫn đến $\cos \theta_8 = -(u_x \cos \theta_1 + u_y \sin \theta_1) / \sin \theta_7$ và từ (6) and (7) dẫn đến $\sin \theta_8 = (v_x \cos \theta_1 + v_y \sin \theta_1) / \sin \theta_7$. Cuối cùng góc quay của khớp 8 được tính bằng một công thức lượng giác đơn giản như sau,

$$\theta_8 = a \tan 2(\sin \theta_8, \cos \theta_8) \quad (21)$$

Như vậy là thông qua biến đổi toán học các phương trình động học, các góc quay $\theta_1, \theta_6, \theta_7, \theta_8$ có thể được xác định. Vị trí của các khớp còn lại, θ_2, d_3, d_4 có thể tìm được bằng phương pháp số. Trong rất nhiều phương pháp thì phương pháp số Newton Raghson đã được sử dụng phổ biến để tìm nghiệm các phương trình phi tuyến.

Phân tích động học cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do có cấu hình linh hoạt ứng dụng trong lắp ráp cơ khí

Vị trí các khớp cần tối ưu, θ_2, d_3, d_4 được xem xét trong một miền xác định phụ thuộc vào không gian làm việc thực tế của cơ cấu tay máy. Ở đây có thể giả sử $\theta_2 \in [\theta_{2\min}, \theta_{2\max}]$, $d_3 \in [d_{3\min}, d_{3\max}]$, $d_4 \in [d_{4\min}, d_{4\max}]$, trong đó chỉ số *min* và *max* thể hiện giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của miền xác định đó.

Giả sử vị trí ban đầu của các khớp được cho như sau, $\theta_2 = \theta_{20}, d_3 = d_{30}, d_4 = d_{40}$. Đây là vị trí mà cơ cấu tay máy dịch chuyển các bước đầu tiên và hàm tối ưu được định nghĩa sao cho sự dịch chuyển của các khớp chính θ_2, d_3, d_4 là ít nhất. Việc này cũng dẫn đến tiêu hao năng lượng của cơ cấu được tối thiểu hóa. Như vậy hàm tối ưu được định nghĩa là,

$$f = (\theta_2 - \theta_{20})^2 + (d_3 - d_{30})^2 + (d_4 - d_{40})^2 \quad (22)$$

Hàm ràng buộc được lựa chọn sao cho có sự xuất hiện của đầy đủ 3 biến θ_2, d_3, d_4 và thể hiện được quan hệ chính giữa các khớp. Như vậy hàm ràng buộc được lựa chọn như sau,

$$\begin{aligned} g_1 &= d_1 + d_3 \cos \theta_2 + a_4 - p_z \\ g_2 &= a_1 - d_3 \sin \theta_2 + d_4 - \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \end{aligned} \quad (23)$$

Phương trình Lagrange được định nghĩa dựa trên hàm tối ưu và hàm ràng buộc như sau,

$$\begin{aligned} L &= f + \lambda_1 g_1 + \lambda_2 g_2 \\ &= (\theta_2 - \theta_{20})^2 + (d_3 - d_{30})^2 + (d_4 - d_{40})^2 + \lambda_1 (d_1 + d_3 \cos \theta_2 + a_4 - p_z) + \lambda_2 (a_1 - d_3 \sin \theta_2 + d_4 - \sqrt{p_x^2 + p_y^2}) \end{aligned} \quad (24)$$

trong đó, λ_1, λ_2 là các nhân tử Lagrange và cũng đóng vai trò là các biến được xem xét. Lấy đạo hàm phương trình Lagrange theo năm biến $\theta_2, d_3, d_4, \lambda_1, \lambda_2$ thu được năm hàm phi tuyến sau,

$$f_1 = \frac{\partial L}{\partial \theta_2} = 2\theta_2 - \lambda_1 d_3 \sin \theta_2 - \lambda_2 d_3 \cos \theta_2 \quad (25)$$

$$f_2 = \frac{\partial L}{\partial d_3} = 2d_3 - 2.108 + \lambda_1 \cos \theta_2 - \lambda_2 \sin \theta_2 \quad (26)$$

$$f_3 = \frac{\partial L}{\partial d_4} = 2d_4 - 2d_{40} + \lambda_2 \quad (27)$$

$$f_4 = \frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = d_1 + d_3 \cos \theta_2 + a_4 - p_z \quad (28)$$

$$f_5 = \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = a_1 - d_3 \sin \theta_2 + d_4 - \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (29)$$

Lấy đạo của năm hàm phi tuyến $f_i, i = 1, \dots, 5$ theo năm biến $\theta_2, d_3, d_4, \lambda_1, \lambda_2$ để thu được ma trận đạo hàm riêng như sau:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_1}{\partial d_3} & \frac{\partial f_1}{\partial d_4} & \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_2}{\partial d_3} & \frac{\partial f_2}{\partial d_4} & \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_2} \\ \frac{\partial f_3}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_3}{\partial d_3} & \frac{\partial f_3}{\partial d_4} & \frac{\partial f_3}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \lambda_2} \\ \frac{\partial f_4}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_4}{\partial d_3} & \frac{\partial f_4}{\partial d_4} & \frac{\partial f_4}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_4}{\partial \lambda_2} \\ \frac{\partial f_5}{\partial \theta_2} & \frac{\partial f_5}{\partial d_3} & \frac{\partial f_5}{\partial d_4} & \frac{\partial f_5}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_5}{\partial \lambda_2} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Như vậy nghiệm tối ưu được tìm như sau;

$$X^{i+1} = X^i - J^{-1}F^i, \quad i=0, \dots, n \quad (31)$$

trong đó, $i=0$ tương ứng với giá trị ban đầu của các biến, $i=n$ tương ứng với giá trị nghiệm tối ưu, $X^{i+1} = [\theta_2^{i+1} \quad d_3^{i+1} \quad d_4^{i+1} \quad \lambda_1^{i+1} \quad \lambda_2^{i+1}]^T$, $X^i = [\theta_2^i \quad d_3^i \quad d_4^i \quad \lambda_1^i \quad \lambda_2^i]^T$ và $F^i = [f_1^i \quad f_2^i \quad f_3^i \quad f_4^i \quad f_5^i]^T$. Giá trị n được xác định khi nào nghiệm hội tụ, có nghĩa là sai lệch giữa nghiệm hiện tại và trước đó nhỏ tới mức có thể chấp nhận được, cụ thể như sau,

$$\varepsilon[k] = (X^{i+1}[k] - X^i[k]) / X^{i+1}[k] \quad (32)$$

trong đó, $k=1, 2, \dots, 5$ là chỉ số đại diện cho các biến $\theta_2, d_3, d_4, \lambda_1, \lambda_2$ và $\varepsilon[k]$ là một giá trị được tính để so sánh với một giá trị ε_0 đặt trước. Nghiệm sẽ được xác định khi $|\varepsilon| < \varepsilon_0$.

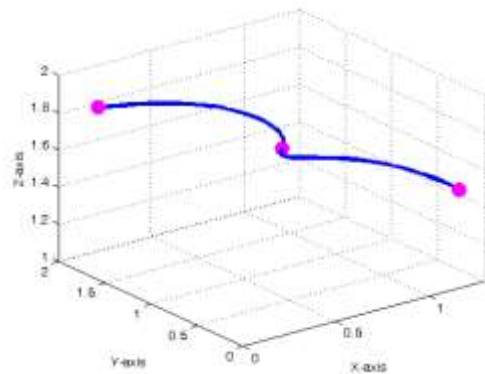
Các giá trị ban đầu $X^0 = [\theta_2^0 \quad d_3^0 \quad d_4^0 \quad \lambda_1^0 \quad \lambda_2^0]^T$ thường được chọn sao cho vị trí các khớp θ_2, d_3, d_4 trùng với cấu hình mặc định của cơ cấu tay máy.

5. Kết quả mô phỏng

Để kiểm chứng các kết quả phân tích động học ngược ở trên, trước tiên tác giả tạo ra một quỹ đạo trong hệ tọa độ không gian Đề các với ba thành phần vị trí và ba góc quay σ le. Sau đó sử dụng kết quả phân tích động học ngược để tìm tám vị trí của các khớp trong hệ tọa độ suy rộng (hệ tọa độ khớp). Quỹ đạo của cơ cấu tay máy trong hệ tọa độ Đề các được hiểu là quỹ đạo của điểm làm việc trên khâu thao tác (*end effector*) hay còn được gọi là tâm kẹp.

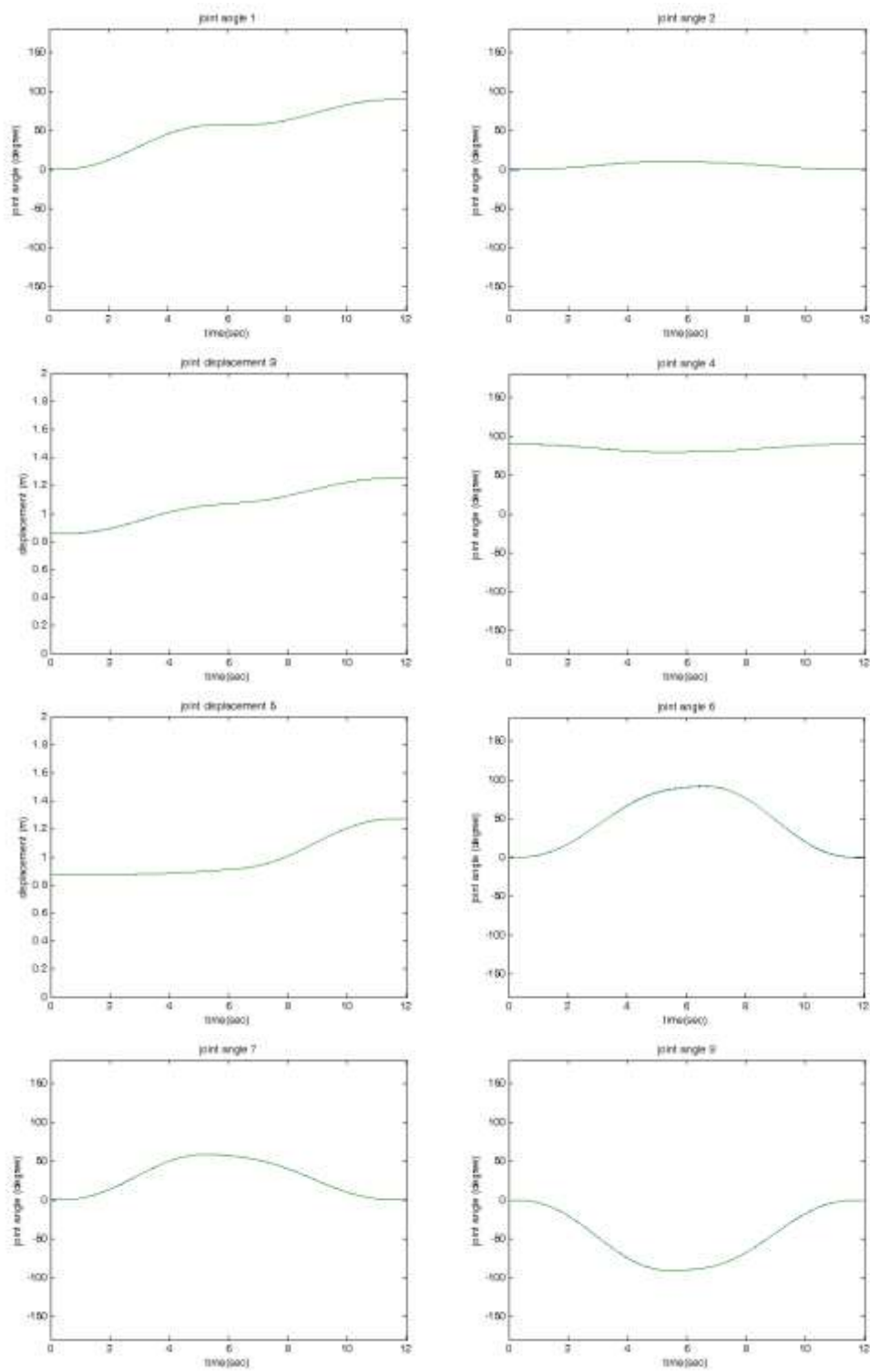
Hình 4 minh họa quỹ đạo chuyển động của tâm kẹp khi đi qua ba vị trí đặc biệt (điểm đầu, điểm cuối và điểm giữa được minh họa bằng các hình tròn nhỏ màu hồng). Đây là các vị trí mà tác giả mong muốn tâm kẹp trên khâu thao tác đi qua. Các điểm khác nằm trên quỹ đạo này được tính bằng phương pháp nội suy hàm bậc 5. Tác giả chọn hàm nội suy bậc 5 để đảm bảo cho chuyển động của cơ cấu tay máy được êm, không bị giật khi chuyển hướng vì gia tốc chuyển động của các khớp là hàm bậc 3. Vị trí đầu là cấu hình mặc định của cơ cấu tay máy khi không hoạt động, trong khi đó vị trí cuối là lúc vừa hoàn thành xong công đoạn lắp ghép sản phẩm. Do đó tọa độ và hướng của khâu thao tác ở hai vị trí này sẽ được xác định, còn điểm ở giữa thường được chọn như điểm trung bình.

Như vậy tại mỗi vị trí trên quy đạo chuyển động của tâm kẹp sẽ xác định được một ma trận T ở phương trình (2) với các thành phần chỉ hướng là $u^T = [u_x \quad u_y \quad u_z]$, $v^T = [v_x \quad v_y \quad v_z]$, $w^T = [w_x \quad w_y \quad w_z]$ và vị trí là $q^T = [q_x \quad q_y \quad q_z]$. Từ đó có thể tìm góc của các khớp quay ($\theta_1, \theta_2, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_5 = \pi/2 - \theta_2$) và độ dịch chuyển của các khớp tịnh tiến (d_3, d_4) bằng các phương trình động học ngược đã trình bày ở trên. Kết quả mô phỏng được thể hiện ở trên hình 5 với các ghi chú: *joint angle 1, joint angle 2, joint displacement 3, joint angle 4, joint displacement 5, joint angle 6, joint angle 7* và *joint angle 8* tương ứng với $\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_5, d_4, \theta_6, \theta_7, \theta_8$. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng khớp 2 (θ_2) có góc quay nhỏ. Xét về mặt động lực học thì đây là khớp chịu tác dụng của trọng lực lớn nhất nên động cơ điện gắn vào điều khiển khớp này sẽ cần một giá trị mô men lớn nhất. Vì thế việc tối thiểu hóa chuyển động của khớp 2 sẽ không những tiết kiệm năng lượng mà còn đảm bảo độ an toàn cho cơ cấu tay máy.



Hình 4. Quỹ đạo chuyển động của tâm kẹp trên khâu thao tác trong hệ tọa độ Đề các

Phân tích động học cơ cấu tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do có cấu hình linh hoạt ứng dụng trong lắp ráp cơ khí



Hình 5. Vị trí của các khớp quay và khớp tịnh tiến

6. Kết luận

Bài báo này đã trình bày một nghiên cứu về cấu trúc tay máy dạng chuỗi 7 bậc tự do có cấu hình linh hoạt. Đây là một cơ cấu cơ khí mới với hai khớp chuyển động tịnh tiến và sáu khớp quay nhưng do có ràng buộc cơ khí để một phần của tay máy hoạt động song song với mặt đất nên tay máy chỉ có 7 bậc tự do. Với hai khớp chuyển động tịnh tiến giúp cho tay máy không những nâng chiều cao dễ dàng mà có thể kéo dài để mở rộng cũng như thu hẹp không gian làm việc. Vì thế đây là một cấu hình rất linh hoạt có thể được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực công nghiệp, đặc biệt là lắp ghép cơ khí bằng phương pháp nhiệt.

Hơn nữa bài báo đã đưa ra một hàm tối ưu dựa trên việc tối thiểu hóa chuyển động của một khớp quay chính (khớp 2) và hai khớp tịnh tiến để giải bài toán động học ngược. Phương pháp số Newton Raphson được sử dụng để giải bài toán tối ưu này. Kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab đã chỉ ra rằng tất cả các nghiệm (vị trí khớp quay và tịnh tiến) đều không bị gián đoạn, không có bước nhảy và phù hợp với quỹ đạo chuyển động của khâu thao tác. Việc tối thiểu hóa chuyển động của khớp 2 và các khớp tịnh tiến giúp cho tay máy tiết kiệm năng lượng trong hoạt động và đảm bảo độ an toàn, cứng chắc của cơ cấu.

Tuy nhiên bài báo này mới chỉ giải quyết được các vấn đề động học thuận và ngược. Một vấn đề quan trọng khác là phân tích động lực học để tìm mô men và lực của các khớp, từ đó có căn cứ để lựa chọn động cơ điện cho phù hợp và mô phỏng hệ điều khiển.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Dầu khí Việt Nam (PVU) trong khuôn khổ đề tài mã số GV1512.

Tài liệu tham khảo

- [1] Sichen Yuan, Haiqing Zhang, Nei Wang and Nan luan, "Motion study of a redundant 7-DOF operation robot", *International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE)*, pp.3056 – 3060, 6-18 Sept. 2011.
- [2] Jayoung Kim, Minyoung Sin and Jihong Lee, "Kinematics analysis and motion planning for a 7-DOF redundant industrial robot manipulator", *11th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 522 – 527, 26-29 Oct. 2011.
- [3] Klanke, Lebedev, Haschke, Steil, Ritter, "Dynamic Path Planning for a 7-DOF Robot Arm", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3879 – 3884, 9-15 Oct. 2006.
- [4] Kircanski, M.V.; Petrovic, T.M., "Inverse kinematic solution for a 7 DOF robot with minimal computational complexity and singularity avoidance", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2664 - 2669 vol.3, 9-11 Apr 1991.
- [5] Tie-jun Zhao; Jing Yuan; Ming-yang Zhao; Da-long Tan, "Research on the Kinematics and Dynamics of a 7-DOF Arm of Humanoid Robot", *ROBIO '06. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1553 – 1558, 17-20 Dec. 2006.
- [6] An, H.H.; Clement, W.I.; Reed, B., "Analytical inverse kinematic solution with self-motion constraint for the 7-DOF restore robot arm", *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, pp. 1325 – 1330, 8-11 July 2014.
- [7] Sariyildiz, E.; Ucak, K.; Oke, G.; Temeltas, Hakan; Ohnishi, K., "Support Vector Regression based inverse kinematic modeling for a 7-DOF redundant robot arm", *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, pp. 1 – 5, 2-4 July 2012.
- [8] Tarokh, M.; Mikyung Kim, "Inverse Kinematics of 7-DOF Robots and Limbs by Decomposition and Approximation", *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 595 – 600, Vol. 23 , No. 3, 2007.
- [9] Trần Hoàng Nam, "Giải bài toán ngược động học, động lực học và điều khiển trượt rôbốt dư dẫn động dựa trên thuật toán hiệu chỉnh gia lượng véc tơ tọa độ suy rộng", *Luận án tiến sĩ*, Viện Cơ học, 2010.