

TỐI ƯU HÓA THIẾT KẾ TAY MÁY SONG SONG DÙNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

NGUYỄN MINH THẠNH¹, NGUYỄN NGỌC LÂM², LÊ HOÀI QUỐC³,
NGUYỄN XUÂN VINH⁴

¹*Đại học Giao thông Vận tải Thành Phố Hồ Chí Minh*

²*Viện Nghiên cứu Điện tử - Tin học Tự động hóa Hà Nội*

³*Sở Khoa học Công nghệ Thành Phố Hồ Chí Minh*

⁴*Đại học Kỹ thuật Công nghệ Thành Phố Hồ Chí Minh*

Abstract. This paper addresses the modeling of working space of the parallel manipulators. Influences of parameters on working space are considered. To achieve an increase in functionalities of parallel manipulators, a method of optimization the maximum of working volume by proposed Genetic Algorithms (GA) is given.

Tóm tắt. Bài báo trình bày phương pháp mô hình hóa không gian làm việc của tay máy song song. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến vùng làm việc trong quá trình mô hình hóa đã được xem xét. Với mục đích nhằm làm tăng chức năng của tay máy song song với tiêu chí tối ưu hóa thể tích vùng làm việc là lớn nhất bằng việc đề xuất thuật toán di truyền.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tay máy song song được phát triển mạnh nhờ có những ưu điểm vượt trội như độ cứng vững cao, khả năng chịu tải trọng lớn, khả năng thay đổi vị trí và định hướng linh hoạt, độ chính xác và ổn định cao, tốc độ tác động nhanh, lực quán tính nhỏ. Vì gia tốc và tốc độ làm việc lớn, tiện lợi trong quá trình di chuyển, lắp đặt tay máy song song ngày càng được quan tâm và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: lắp ráp trong sản xuất, y học, thiên văn học, trắc địa, các máy công cụ, cơ khí chính xác, Mặc dù đã có nhiều công trình công bố [1 – 5] của các nhà khoa học trên thế giới, nhưng tiềm năng của lĩnh vực này rất lớn, hướng nghiên cứu là hướng mở cho lĩnh vực tay máy song song. Tuy nhiên, tay máy song song cũng tồn tại những nhược điểm nhất định như không gian làm việc bị giới hạn, thiết kế chế tạo phức tạp, bài toán động học thuận phức tạp và đặc biệt tồn tại các điểm kỳ dị (singularities), được nghiên cứu bởi [9-12]. Việc xem xét vị trí đặc biệt là rất quan trọng nhằm xem chúng ảnh hưởng như thế nào đến đặc trưng của vùng làm việc. Ngoài ra, tối ưu hóa tay máy song song cũng được các tác giả quan tâm [6 – 8, 13 – 15].

Một số vấn đề liên quan đến bài toán động học ngược, động học thuận, mô hình hóa và

tối ưu hóa thiết kế của một loại tay máy song song sẽ được đề cập đến ở phần sau.

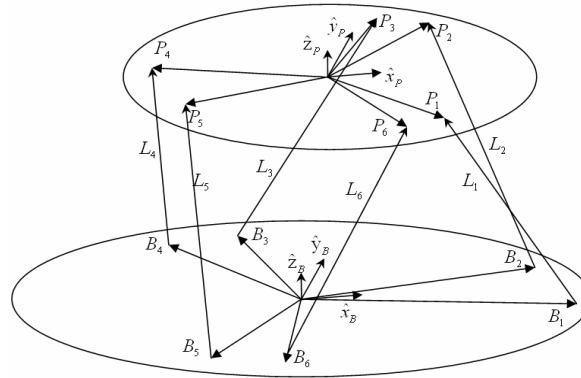
2. ĐỘNG HỌC TAY MÁY SONG SONG

Ta tiến hành nghiên cứu tay máy song song kiểu 6-SPS (Hình 1), chúng được cấu tạo bởi một mặt phẳng nền (base platform) và tấm chuyển động phẳng (payload platform). Hai mặt phẳng này được nối với nhau bởi 6 chân liên kết (prismatic joints). Các chân liên kết này có khả năng thay đổi chiều dài và kết nối với hai mặt phẳng thông qua các khớp nối (spherical joints) tại các đầu cuối của chúng. Để mô hình hóa không gian làm việc của tay máy chúng ta cần phân tích bài toán động học thuận và động học ngược.

2.1. Động học ngược tay máy song song

Hệ tọa độ chân liên kết của tay máy song song là tập hợp các biến về chiều dài của các chân liên kết (hình 1). Viết dưới dạng véc tơ, ta có

$$L = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5 \ l_6]^T. \quad (1)$$



Hình 1. Cấu trúc véc tơ tay máy song song

Hệ tọa độ đầu cuối, thông thường là hệ tọa độ Cartesian của tay máy, sẽ bao gồm tọa độ trong không gian và các góc Euler (Roll-Pitch-Yaw)

$$X = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T. \quad (2)$$

Để thể hiện bài toán động học ngược, một ánh xạ G được biểu diễn $G : X \Rightarrow L$. Bài toán là đi tìm véc tơ chiều dài L_i từ tọa độ đầu cuối X cho trước.

Đối với tay máy song song, hệ tọa độ của mặt phẳng nền $\{B\}$ và hệ tọa độ của tấm chuyển động $\{P\}$ sẽ được đặt tại tâm của mặt phẳng nền và tấm chuyển động. Vị trí của các khớp nối trên mặt nền và tấm chuyển động sẽ lần lượt được biểu diễn thông qua ma trận $\{B\}$ và $\{P\}$.

Véc tơ tọa độ của các khớp trên mặt phẳng nền $\{B\}$ được biểu diễn

$$B_i = \begin{bmatrix} r_b \cos(\phi_i) \\ r_b \cos(\phi_i) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{ix} \\ B_{iy} \\ B_{iz} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

với $\phi_i = \frac{i\pi}{3} - \frac{\alpha_b}{2}$, ($i = 1, 3, 5$) và $\phi_i = \alpha_{i-1} + \alpha_b$, $i = (2, 4, 6)$.

Tương tự, ta có véc tơ tọa độ của các khớp nối trên tấm chuyển động $\{P\}$ được xác định:

$$P_i = \begin{bmatrix} r_p \cos(\phi_i) \\ r_p \cos(\phi_i) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{ix} \\ P_{iy} \\ P_{iz} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

với $\varphi_i = \frac{i\pi}{3} - \frac{\alpha_p}{2}$, ($i = 1, 3, 5$) và $\varphi_i = \alpha_{i-1} + \alpha_p$, $i = (2, 4, 6)$.

Nếu vị trí mong muốn của tấm chuyển động so với tọa độ gốc được xác định bằng véc tơ ${}^B P = [x_d \ y_d \ z_d]^T$ thì ta sẽ có véc tơ biểu diễn chiều dài của các chân liên kết như sau

$$L_i = P_i + {}^B P - B_i. \quad (5)$$

Khai triển (5) theo $\{B\}$ ta sẽ có lời giải mong muốn của bài toán động ngược

$${}^B L_i = {}^B_P R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i, \quad (6)$$

trong đó ${}^B_P R$ là ma trận chuyển đổi Euler 3-2-1 (Yaw-Pitch-Roll)

$$\begin{aligned} {}^B_P R &= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \\ \sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (7)$$

Chiều dài của các chân liên kết sẽ được xác định từ (6)

$$l_i = |L_i| = \sqrt{L_{ix}^2 + L_{iy}^2 + L_{iz}^2}. \quad (8)$$

2.2. Động học thuận tay máy song song

Ở bài toán động học thuận, ánh xạ F biểu diễn việc xác định véc tơ vị trí theo tọa độ Cartesian với chiều dài xác định của các chân cho trước $F: L \Rightarrow X$.

Ánh xạ F có tính chất không xác định và sẽ có nhiều lời giải cho ma trận X tương ứng với một giá trị cụ thể của L . Nếu ánh xạ của bài toán động học thuận chỉ là việc nghịch đảo ánh xạ G (ở bài toán động học ngược), thì việc xác định ánh xạ F chỉ cần xác định ngược lại quy trình (6) hoặc (8) một cách tuần tự đối với tất cả 6 chân liên kết. Do chỉ có l_i được xác định, trong khi đó L_i chưa rõ nên chỉ có (8) sẽ được áp dụng. Tuy nhiên, việc xác định ngược (8) khá phức tạp, bài toán này cần giải quyết đồng thời các phương trình phi tuyến với các biến chưa rõ trong ma trận X . Theo phương pháp Newton-Raphson, để giải quyết

bài toán động học ngược, cần phải định nghĩa một véc tơ biểu diễn sai lệch giữa chiều dài tính toán và thực tế (đo được) của các chân liên kết

$$f_i(X) = L_i^T L_i - |L_i|_a^2, \quad (9)$$

trong đó $|L_i|_a^2$ là chiều dài thực tế đo được của các chân liên kết. Thay vào (6) chúng ta có

$$f_i(X) = ({}^B_P R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i)^T ({}^B_P R^P P_i + {}^B P - {}^B B_i) - |L_i|_a^2. \quad (10)$$

Khai triển đạo hàm theo các thành phần trong $X = (x, y, z, \phi, \theta, \psi)$ ta sẽ có

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_i(X)}{\partial x} &= 2(x + {}^P P_{i_x} R_{11} + {}^P P_{i_y} R_{12} + {}^P P_{i_z} R_{13} - {}^B B_{i_x}), \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial y} &= 2(y + {}^P P_{i_x} R_{21} + {}^P P_{i_y} R_{22} + {}^P P_{i_z} R_{23} - {}^B B_{i_y}), \\ \frac{\partial f_i(X)}{\partial z} &= 2(z + {}^P P_{i_x} R_{31} + {}^P P_{i_y} R_{32} + {}^P P_{i_z} R_{33} - {}^B B_{i_z}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_i(X)}{\partial \phi} &= 2(x - {}^B B_{i_x})({}^P P_{i_y} R_{13} + {}^P P_{i_z} R_{12}) + 2(y - {}^B B_{i_y})({}^P P_{i_y} R_{23} + {}^P P_{i_z} R_{22}) \\ &\quad + 2(y - {}^B B_{i_z})({}^P P_{i_y} R_{33} + {}^P P_{i_z} R_{32}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_i(X)}{\partial \theta} &= 2(x - {}^B B_{i_x}) \left(\begin{array}{c} -{}^P P_{i_x} \sin \theta \cos \psi + {}^P P_{i_y} \sin \phi \cos \theta \cos \psi \\ + {}^P P_{i_z} \cos \phi \cos \theta \cos \psi \end{array} \right) \\ &\quad + 2(y - {}^B B_{i_y}) \left(\begin{array}{c} -{}^P P_{i_x} \sin \theta \sin \psi + {}^P P_{i_y} \sin \phi \cos \theta \sin \psi \\ + {}^P P_{i_z} \cos \phi \cos \theta \sin \psi \end{array} \right) \\ &\quad - 2(z - {}^B B_{i_z})({}^P P_{i_x} \cos \theta + {}^P P_{i_y} \sin \phi \cos \theta + {}^P P_{i_z} \cos \phi \sin \theta), \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f_i(X)}{\partial \psi} = -2(x - {}^B B_{i_x})({}^P P_{i_x} R_{21} + {}^P P_{i_z} R_{22} + {}^P P_{i_z} R_{23}) + 2(y - {}^B B_{i_y})({}^P P_{i_x} R_{11} + {}^P P_{i_z} R_{12} + {}^P P_{i_z} R_{13}), \quad (11)$$

trong đó R_{ij} là các thành phần của (7). Ma trận X sẽ được viết lại dưới dạng

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}_{n+1} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}_n - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} & \frac{\partial f_1}{\partial \phi} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta} & \frac{\partial f_1}{\partial \psi} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_6}{\partial x} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}_n^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix}_n \quad (12)$$

Các bước tiến hành giải bài toán động học thuận:

Bước 1: Đo chiều dài thực tế các chân liên kết.

Bước 2: Ước lượng vị trí và góc hướng của tấm chuyển động.

Bước 3: Tính (7), (10) và (11) cho mỗi chân liên kết.

Bước 4: Thực hiện (12) cho đến khi $X_{n+1} - X_n$ đạt hội tụ mong muốn với sai số cho phép.

Cần phải xác định rõ là bài toán động học thuận không thể được thực hiện theo thời gian thực (real-time). Vì phương pháp Newton-Raphson là một kỹ thuật lặp, nên sự hội tụ của (12) sẽ cần rất nhiều bước lặp. Do đó nên chọn sai số vừa phải, đồng thời cần giới hạn số bước lặp để chúng ta có thể đạt được X với độ chính xác tương đối có thể chấp nhận được.

2.3. Các giới hạn về động học

Các giới hạn về động học được đặc biệt quan tâm đối với tay máy song song do kết cấu đặc thù của các chân liên kết cũng như những ràng buộc về các chuyển động cơ khí. Tay máy song song kiểu 6-SPS có 3 giới hạn động học chính ảnh hưởng đến tầm hoạt động của tay máy:

- + Giới hạn chiều dài chân liên kết: $0 \leq (l_{\max} - l_{\min}) \leq l_{\max}$.
- + Giới hạn góc chuyển động các khớp nối.
- + Giới hạn không gian các chân liên kết.

Các giới hạn nêu trên sẽ ảnh hưởng rất nhiều đến khả năng hoạt động của tay máy song song. Khi tiến hành mô hình hóa và tối ưu thiết kế cần phải xem xét đến các ảnh hưởng này.

3. MÔ HÌNH HÓA KHÔNG GIAN LÀM VIỆC TAY MÁY SONG SONG

Mô hình hóa không gian làm việc của tay máy song song là quá trình tìm kiếm không gian hoạt động của tâm khâu ra (vị trí tâm mặt phẳng chuyển động). Quá trình này cần xem xét đến các giới hạn về động học tay máy song song. Các giới hạn về động học và các thông số của tay máy như: giới hạn chiều dài chân liên kết, giới hạn về góc khớp, bán kính đường tròn tạo bởi các khớp liên kết, góc hướng thay đổi, không gian khảo sát,... sẽ lần lượt được khảo sát và đánh giá ảnh hưởng của chúng đến vùng làm việc của tay máy song song. Các khớp nối của tay máy song song được bố trí nằm trên mặt phẳng nền hoặc tấm chuyển động được sắp xếp từng cặp đối xứng nhau và cùng nằm trên một vòng tròn. Tham số thiết kế của tay máy song song có thể biểu diễn theo 4 biến:

r_b : bán kính mặt phẳng nền.

r_p : bán kính tấm chuyển động.

α_b : góc tạo bởi cặp khớp đối xứng trên mặt phẳng nền.

α_p : góc tạo bởi cặp khớp đối xứng trên tấm chuyển động.

3.1. Xác định vùng làm việc của tay máy song song

Vùng làm việc của tay máy song song được xác định bằng tập hợp các điểm làm việc mà

tâm khâu ra có thể vươn tới được khi tay máy dịch chuyển trong không gian. Ở đây chúng ta tiến hành xét đến góc hướng của tâm khâu là hằng số $\phi, \theta, \psi = const$ khi vị trí tâm khâu (x_d, y_d, z_d) thay đổi trong giới hạn sau

$$x_{\min} \leq x_d \leq x_{\max}, y_{\min} \leq y_d \leq y_{\max}, z_{\min} \leq z_d \leq z_{\max}.$$

Vùng làm việc với tập thông số đầu vào cho trước như sau.

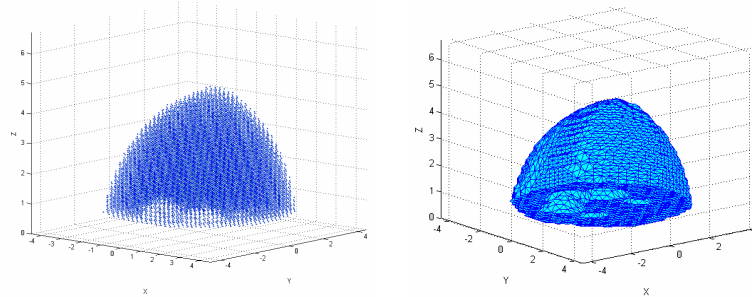
Bảng 1. Thông số đầu vào

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
α_b	$\pi/3$	(rad)	$x_{d \min}$	-3.5	(m)
α_p	$\pi/3$	(rad)	$x_{d \max}$	3.5	(m)
r_b	2.5	(m)	$y_{d \min}$	-3.5	(m)
r_p	1	(m)	$y_{d \max}$	3.5	(m)
$l_{i \min}$	1	(m)	$z_{d \min}$	0.7	(m)
$l_{i \max}$	5.2	(m)	$z_{d \max}$	4.7	(m)

Bảng 2. Kết quả khảo sát

Số tâm khâu khảo sát	29,791
Số tâm khâu đạt được	12,984
Tỷ lệ đạt được (%)	43.583
Thời gian khảo sát (giây)	62.492

(Thời gian khảo sát thực hiện trên máy tính cấu hình: Intel Core 2 Duo E7200, 2.53 GHz, 2GB of Ram).



Hình 2. Vùng làm việc của tay máy song song

3.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến vùng làm việc

a) Giới hạn về góc chuyển động của các khớp

Bảng 3. Kết quả khảo sát

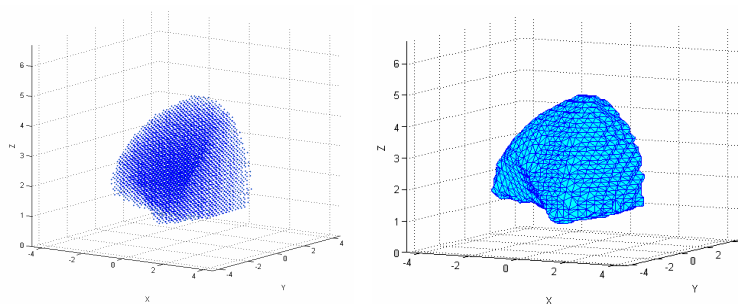
Số tâm khâu khảo sát	29,791
Số tâm khâu đạt được	7,516
Tỷ lệ đạt được (%)	25.229
Thời gian khảo sát (giây)	77.822

Ngoài giới hạn về chiều dài của các chân liên kết, giới hạn góc chuyển động của các khớp

nối là một yếu tố ảnh hưởng đến khả năng làm việc của tay máy song song. Giới hạn này hình thành từ cấu tạo cơ khí của các khớp cầu và góc tạo bởi các khớp cầu và hai mặt phẳng.

Tiến hành khảo sát vùng làm việc của tay máy song song theo tập thông số đầu vào như ở trường hợp đầu tiên. Thêm vào đó là các giới hạn về góc khớp trên mặt phẳng nền và tám chuyển động:

$$0,2618 \leq \text{angle_top}, \text{angle_base}_i \leq 2,8798 \text{ (rad)}.$$



Hình 3. Vùng làm việc của tay máy khi xét giới hạn góc khớp

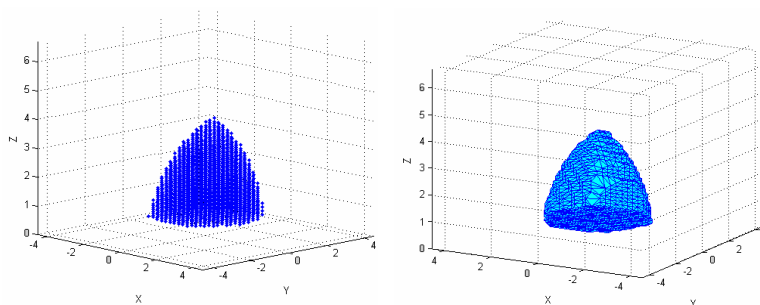
So sánh kết quả ở Bảng 2 và Bảng 3, số tâm khâu đạt được từ 12,984 đã giảm xuống còn 7,516 (giảm 42.11%). Như vậy, vùng làm việc của tay máy song song đã giảm đi nhiều khi xem xét đến ràng buộc về giới hạn góc khớp.

b) Giới hạn về vị trí của các khớp

Một trong những thông số ảnh hưởng đến vùng làm việc của tay máy song song là bán kính đường tròn tạo bởi vị trí của các khớp nối trên hai mặt phẳng. Để đánh giá ảnh hưởng, chúng ta tiến hành khảo sát vùng làm việc của tay máy một lần nữa với tập thông số đã cho với bán kính đường tròn trên mặt phẳng nền được thay đổi $r_b = 4m$.

Bảng 4. Kết quả khảo sát

Số tâm khâu khảo sát	29,791
Số tâm khâu đạt được	3,494
Tỷ lệ đạt được (%)	11.7284
Thời gian khảo sát (giây)	38.8314



Hình 4. Vùng làm việc của tay máy khi thay đổi vị trí các khớp

So sánh Bảng 1 và Bảng 4, số điểm đạt được giảm từ 12,984 xuống còn 3,494 (giảm 73,09%). Vùng làm việc bị thu nhỏ và kéo thấp xuống do các khớp cầu tại mặt phẳng nền được dịch ra xa (bán kính r_b tăng từ 2m lên 4m) trong khi giới hạn về chiều dài các chân liên kết không thay đổi.

c) *Giới hạn về góc hướng thay đổi*

Ảnh hưởng của việc góc hướng thay đổi được đặt ra khi chúng ta xem xét tại mỗi một vị trí tâm khâu ra, các góc hướng ϕ, θ, ψ lần lượt thay đổi theo tọa độ Euler tạo thành các cấu hình khác nhau. Ứng với mỗi cấu hình khác nhau này, chúng ta sẽ phải tính đến các ràng buộc về chiều dài các chân liên kết.

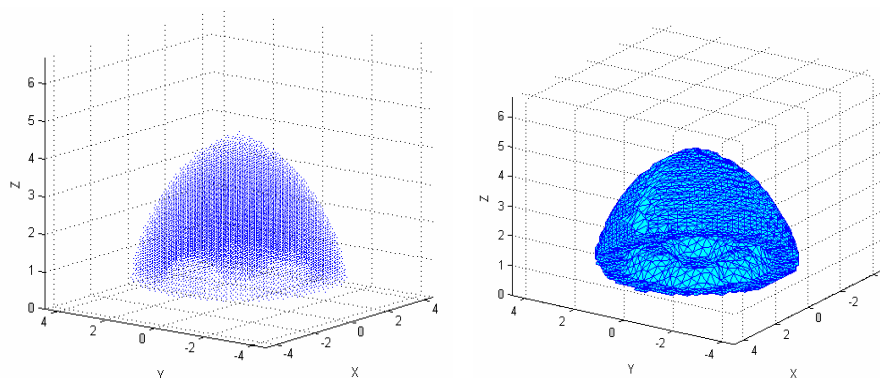
Tiến hành khảo sát khi góc hướng thay đổi, tại mỗi một vị trí tâm khâu khảo sát, các góc hướng sẽ thay đổi theo

$$\phi_{\min} \leq \phi_d \leq \phi_{\max}, \theta_{\min} \leq \theta_d \leq \theta_{\max}, \psi_{\min} \leq \psi_d \leq \psi_{\max}$$

với $\phi_{\min}, \theta_{\min}, \psi_{\min} = -0,2618$, $\phi_{\max}, \theta_{\max}, \psi_{\max} = 0,2618$ (rad), $x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep} = 30$, $\phi_{dstep}, \theta_{dstep}, \psi_{dstep} = 5$.

Bảng 5. Kết quả khảo sát

Số tâm khâu khảo sát	29,791
Số tâm khâu đạt được	10,450
Tỷ lệ đạt được (%)	35.077
Số cấu hình khảo sát trong không gian	6,434,856
Số cấu hình đạt được	2,996,056
Tỷ lệ đạt được (%)	46.559
Thời gian khảo sát (giây)	5,028.983



Hình 5. Vùng làm việc của tay máy với góc hướng thay đổi

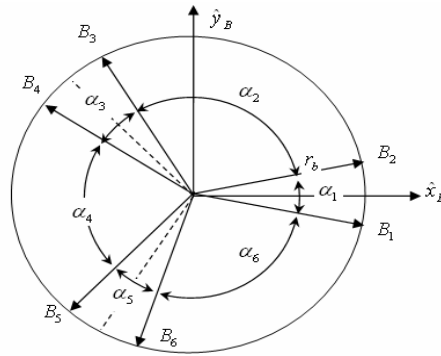
Một điểm khảo sát của tâm khâu được xem là đạt được khi thỏa mãn các ràng buộc cho tất cả các cấu hình khảo sát tại điểm đó. Khi tiến hành khảo sát góc hướng thay đổi, cần lưu ý rằng, ngoài kết quả về số tâm khâu đạt được trong không gian chúng ta cần phải xem

xét đến số cấu hình đạt được của tay máy song song cho dù tại vị trí tâm khâu được khảo sát không thỏa mãn hết tất cả các cấu hình.

Các kết quả trong các trường hợp trên cho thấy rằng, trên thực tế, kết cấu thiết kế sẽ đóng vai trò quyết định vùng làm việc trong không gian của tay máy song song. Nếu giới hạn về chiều dài các chân liên kết hoặc giới hạn về các góc khớp càng chặt chẽ thì vùng làm việc của tay máy song song càng bị giảm xuống. Ngoài ra các yếu tố khác như bán kính mặt nền và việc khảo sát góc hướng thay đổi cũng ảnh hưởng đáng kể đến vùng làm việc của tay máy song song.

4. TỐI ƯU HÓA TAY MÁY SONG SONG DÙNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

Để tối ưu hóa thiết kế của tay máy song song, chúng ta có thể tối ưu theo nhiều tiêu chí khác nhau (số tâm khâu, số cấu hình, thể tích vùng làm việc, độ cứng vững của tay máy,...). Trong phần này, tay máy song song sẽ được thiết kế tối ưu theo một tiêu chí (số tâm khâu lớn nhất).



Hình 6. Vị trí khớp nối trên mặt phẳng nền

Phương án tối ưu hóa thiết kế của tay máy song song được dựa trên sự thay đổi vị trí của các góc khớp liên kết các chân trên mặt phẳng nền. Thứ tự và các vị trí của các khớp nối cùng nằm trên đường tròn như Hình 6. Việc tối ưu hóa thiết kế là tìm kiếm vị trí các điểm B_i sao cho số điểm đạt được tâm khâu ra là lớn nhất có thể.

A. Bài toán 1: Tối ưu không xét đến giới hạn góc khớp

Ở đây chúng ta ứng dụng thuật toán di truyền để giải quyết bài toán tối ưu. Thuật toán di truyền có nhiệm vụ tìm kiếm các góc $\alpha_i > 0$ sao cho tay máy đạt được số điểm làm việc nhiều nhất trong vùng không gian khảo sát. Ở bài toán này, các giới hạn về góc khớp không được xem xét. Kết quả khảo sát sẽ được ghi nhận, kiểm tra và so sánh với cấu hình ban đầu.

Bảng 6. Thông số đầu vào

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Thông số	Giá trị	Đơn vị
α_b	$\pi/3$	(rad)	$x_{d\min}$	-1,5	(m)
α_p	$\pi/3$	(rad)	$x_{d\max}$	-0,5	(m)
r_b	2	(m)	$y_{d\min}$	1	(m)
r_p	1	(m)	$y_{d\max}$	1,5	(m)
$l_{i\min}$	1	(m)	$z_{d\min}$	1	(m)
$l_{i\max}$	3	(m)	$z_{d\max}$	3	(m)

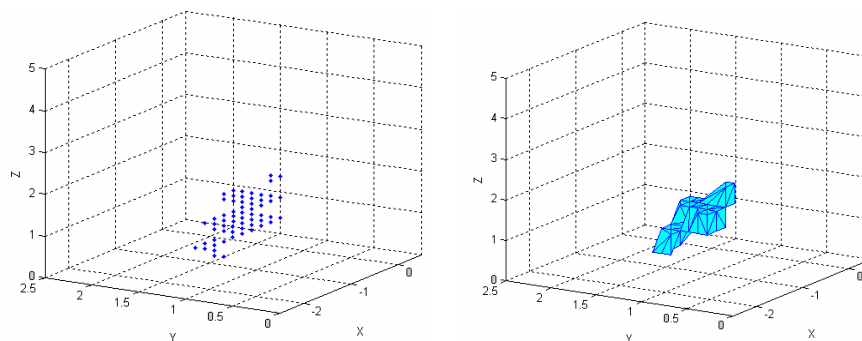
Để có thể so sánh các kết quả, các bài toán tối ưu sẽ được khảo sát theo một tập thông số đầu vào như nhau. Ở từng bài toán cụ thể, các thông số và giới hạn liên quan sẽ được đưa thêm vào quá trình khảo sát.

Bảng 7. Các tham số của thuật toán di truyền

Số cá thể trong quần thể	10	Xác suất đột biến	0,05
Số nhiễm sắc thể trong cá thể	6	Xác suất lai ghép	0,8
Số gen trong nhiễm sắc thể	5	Số thế hệ tối đa	5,000

Số bước khảo sát: $x_{dstep}, y_{dstep}, z_{dstep} = 5$.

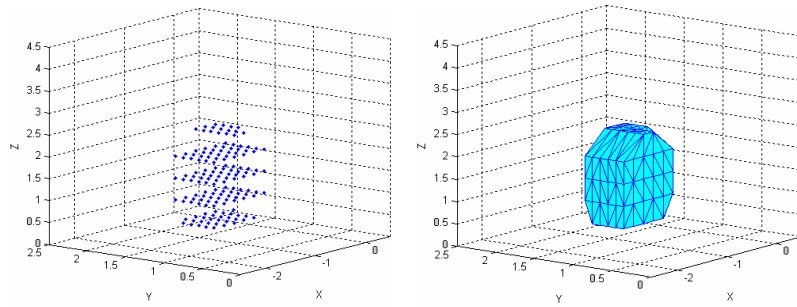
Góc hướng của tâm khâu: $\phi, \theta, \psi = 0$.



Hình 7. Vùng làm việc của tay máy trước khi tối ưu

Bảng 8. Kết quả sau khi tối ưu hóa

Thông số	Ban đầu	Thế hệ đầu	Thế hệ cuối
Số tâm khâu khảo sát	216	216	216
Số tâm khâu đạt được	60	73	160
Tỷ lệ đạt được (%)	27,78	33,80	74,07
Tỷ lệ tối ưu đạt được (%)		121,667	266,667
Số thế hệ khảo sát			1,135
Thời gian khảo sát (giây)			795,35

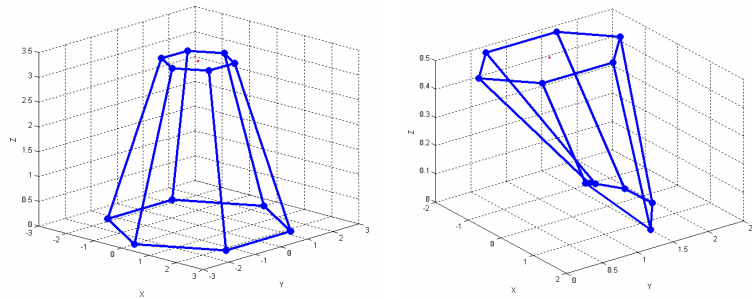


Hình 8. Vùng làm việc của tay máy sau khi tối ưu

Dựa vào bảng kết quả sau khi tối ưu, chúng ta có thể nhận thấy rằng, số tâm khâu đạt được tăng từ 60 lên 73 vị trí chỉ sau một thế hệ của thuật toán di truyền (tăng 121,667%). Tại thế hệ cuối, chúng ta có số điểm làm việc đạt được sau khi tối ưu là 160 điểm (tăng lên 266,667% so với cấu hình ban đầu).

Bảng 9. Vị trí khớp nối sau khi tối ưu

Vị trí khớp i	1	2	3	4	5	6
α_i (độ)	48.71	30.737	23.369	15.1895	2.7745	1.779
B_{i_x} (m)	-1.0763	1.3197	0.3663	-0.4436	-0.9391	-1.0235
B_{i_y} (m)	1.6857	1.5028	1.9662	1.9502	1.7658	1.7183
B_{i_z} (m)	0	0	0	0	0	0



Hình 9. Cấu hình trước và sau khi tối ưu

B. Bài toán 2: Tối ưu xét đến giới hạn góc khớp

Bài toán này sẽ xem xét đến ảnh hưởng của giới hạn tại các góc khớp đối với không gian làm việc khi tiến hành việc tối ưu hóa. Như đã trình bày ở Mục 3, không gian làm việc của tay máy sẽ thay đổi khi xét đến các ảnh hưởng về giới hạn góc khớp, bán kính r_b , r_p , góc hướng thay đổi. Phần này chỉ xem xét đến ảnh hưởng của góc khớp khi tiến hành tối ưu mà không xem xét đến các ràng buộc còn lại.

Giới hạn góc chuyển động của các khớp

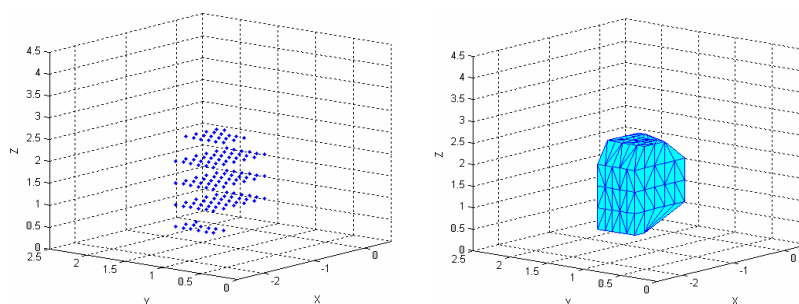
$$0,2618 \leq \text{angle_top}_i, \text{angle_base}_i \leq 2,8798 \text{ (rad)}$$

Thuật toán di truyền theo Bảng 6, Bảng 7, ta có Bảng 10 sau.

Bảng 10. Kết quả sau khi tối ưu

Thông số	Ban đầu	Thế hệ đầu	Thế hệ cuối
Số tâm khâu khảo sát	261	261	261
Số tâm khâu đạt được	51	61	141
Tỷ lệ đạt được (%)	19.540	23.372	54.023
Tỷ lệ tối ưu đạt được (%)		119.608	276.471
Số thế hệ khảo sát			586
Thời gian khảo sát (giây)			518

Khi xem xét đến giới hạn về góc khớp, số tâm khâu đạt được tăng từ 51 lên 61 vị trí chỉ sau một thế hệ của thuật toán di truyền (tăng 119,608%). Tại thế hệ cuối, chúng ta có số điểm làm việc đạt được sau khi tối ưu là 141 điểm (tăng 276,471%) so với cấu hình ban đầu.



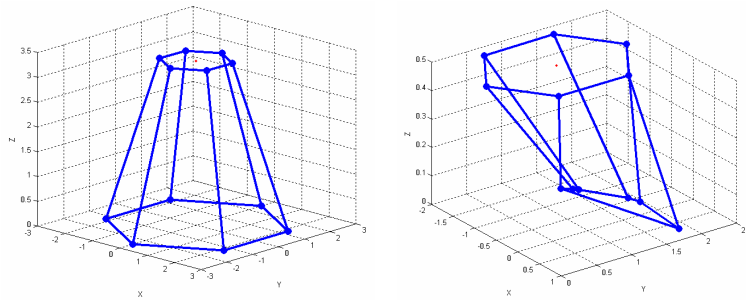
Hình 10. Vùng làm của tay máy sau khi tối ưu xét giới hạn góc khớp

So sánh giữa kết quả thể hiện ở Hình 7, Hình 8 và Hình 10 có thể kết luận rằng, vùng làm việc của tay máy song song đã được mở rộng hơn sau khi tiến hành tối ưu hóa. Ngoài ra, vùng làm việc sau khi tối ưu hóa của bài toán 2 nhỏ hơn vùng làm việc đạt được theo bài toán 1.

Bảng 11. Vị trí khớp nối sau khi tối ưu

Vị trí khớp i	1	2	3	4	5	6
α_i (độ)	69,94	30,61	5,84	20,31	2,24	4,38
B_{ix} (m)	-1,4075	0,6860	-0,3662	-0,5643	-1,1953	-1,3878
B_{iy} (m)	1,4209	1,8787	1,9662	1,9187	1,6036	1,4401
B_{iz} (m)	0	0	0	0	0	0

Cấu hình ban đầu của tay máy song song có số điểm làm việc ban đầu tương đối thấp. Khi áp dụng thuật toán di truyền, chỉ sau một thế hệ, số tâm khâu đạt được tăng lên (121,667% ở bài toán 1 và 119,608% ở bài toán 2). Khi kết thúc quá trình tìm kiếm, lời giải cuối cùng cho chúng ta một kết quả tốt hơn nhiều lần so với cấu hình ban đầu (266,667% ở bài toán 1 và 276,471% ở bài toán 2). Từ đó có thể kết luận rằng, thuật toán di truyền đã được áp



Hình 11. Cấu hình trước và sau khi tối ưu thiết kế

dụng thành công trong việc tối ưu hóa thiết kế tay máy song song.

5. KẾT LUẬN

Mô hình hóa không gian làm việc và các tham số ảnh hưởng đến vùng làm việc của tay máy song song đã được xem xét. Ngoài ra, bài toán tối ưu hóa thiết kế tay máy song song được thực hiện bởi thuật toán di truyền với tiêu chí tối ưu hóa là không gian làm việc. Việc lựa chọn thuật toán di truyền không hoàn toàn đảm bảo đạt được một kết quả tối ưu toàn cục, có thể do không quét hết toàn bộ không gian tham số lời giải của bài toán tối ưu, mà chủ yếu phụ thuộc vào tính đột biến của thuật toán. Nhưng qua kết quả đạt được ở trên, chúng ta thấy rằng thuật toán di truyền đã đưa ra lời giải “tốt” có thể là tối ưu hay xấp xỉ tối ưu. Đồng thời với việc đề xuất hướng tiếp cận này cũng có thể cải thiện thời gian tính của máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Stewart, A Platform with Six Degrees of Freedom, *Pr. Inst. Mech. Eng.* **180** (Pt.1, 15) (1965/1966) 371–386.
- [2] J.P. Merlet, *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publishers, 2006 (394p).
- [3] I. Bonev, Delta Parallel Robot - the Story of Success, <http://www.parallemic.org>.
- [4] D. C. H. Yang and T. W. Lee, Feasibility study of a platform type of robotic manipulators from a kinematic viewpoint, *Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design* **106** (2) (1984) 191–198.
- [5] C. I. Huang, C. F. Chang, M. Y. Yu, and L. C. Fu, Sliding-mode tracking control of the stewart platform, *Proceeding of the 5th Asian Control Conference*, Melbourne Australia, 2004 (561–568).
- [6] A. Omran, G. El-Bayiumi, M. Bayoumi, and A. Kassem, Genetic algorithm based optimal control for a 6-dof non redundant stewart manipulator, *International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering* **2** (2) (2008).

- [7] S.-D. Stan, V. Maties, R. Balan and C. Lapusan, Optimization of a hexapod micro parallel robot using genetic algorithms, *Innovations and Advanced Techniques in Systems, Computing Sciences and Software Engineering*, Springer-Verlag, 2008.
- [8] S.-D. Stan, M. Manic, R. Balan and V. Maties, Genetic algorithms for workspace optimization of planar medical parallel robot, *IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing, ICETIC 2009*, Virudhanagara, Tamil Nadu, India, 2009.
- [9] C. M. Gosselin and J. Angeles, Singularity Analysis of Closed Loop Kinematic Chains, *IEEE Trans. on Robotics and Automation* **6** (3) (1990) 281–290.
- [10] D. Zlatanov, R. G. Fenton and B. Benhabib, Identification and classification of the singular configurations of mechanisms, *Mechanism and Machine Theory* **33** (6) (1998) 743–760.
- [11] V. A. Glazunov, R. Gruntovich, A. Lastochkin, and Nguyen Minh Thanh, Representations of constraints imposed by kinematic chains of parallel mechanisms, *Proceedings of the 12th IFToMM World Congress in Mechanism and Machine Science*, France, June 17-21, 2007 (Vol. 1, pp. 380–385).
- [12] V. A. Glazunov and Nguyen Minh Thanh, Determination of parameters and the twists inside singularity of parallel manipulators with actuators situated on the base, ROMANSY 17, robot design, dynamics, and control, *Proceedings of the Seventeenth CISM-IFToMM Symposium*, Tokyo, Japan, 2008 (467–474).
- [13] Nguyen Minh Thanh, Victor Glazunov, Lu Nhat Vinh, and Nguyen Cong Mau, Parametrical optimization of parallel mechanisms while taking into account singularities, *International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, IEEE 2008*, Hanoi, Vietnam, 2008 (1872–1877).
- [14] Nguyen Minh Thanh, Le Hoai Quoc, and Victor Glazunov, Constraints analysis, determination twists inside singularity and parametrical optimization of the parallel mechanisms by means the theory of screws, *Proceedings of the (CEE 2009) 6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, IEEE 2009*, Toluca, Mexico, 2009 (89–95).
- [15] Nguyen Minh Thanh, Victor Glazunov, Tran Cong Tuan, and Nguyen Xuan Vinh, Multi-criteria optimization of the parallel mechanism with actuators located outside working space, *ICARCV 2010 Proceedings*, Singapore, 2010, *International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, IEEE 2010* (1772–1778).

Nhận bài ngày 25 - 10 - 2010