

THIẾT KẾ CÁC KÍCH THƯỚC CỦA RÔ-BỐT DELTA DỰA TRÊN KHÔNG GIAN LÀM VIỆC

Lê Thế Truyền, Nguyễn Minh Huy,

Nguyễn Tấn Ken*, Mai Văn Nam

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

*Email: kennt@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 04/4/2022; Ngày chấp nhận đăng: 08/6/2022

TÓM TẮT

Rô-bốt Delta là rô-bốt dạng song song có thể cung cấp chính xác vị trí của đầu làm việc cuối vì vậy nó được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng gấp-thả sản phẩm trong công nghiệp và đặc biệt nó được ứng dụng rộng rãi trong các dây chuyền đóng gói sản phẩm. Xác định một bộ tham số thiết kế tối ưu cho rô-bốt Delta để có được vùng không gian hoạt động phù hợp với không gian làm việc biết trước của dây chuyền đóng gói sản phẩm công nghiệp là nhiệm vụ thiết kế quan trọng trước khi sản xuất, chế tạo rô-bốt. Bài báo này mô tả phương pháp xác định các kích thước của rô-bốt Delta dựa trên không gian làm việc cho trước của rô-bốt. Giải thuật tính toán động học thuận và các ràng buộc giữa các kích thước cơ bản của các cánh tay rô-bốt được đề xuất. Thuật toán tối ưu nhằm giới hạn miền thông số các kích thước của các cánh tay của rô-bốt cũng được đề xuất trong bài báo.

Từ khóa: Động học rô-bốt, rô-bốt Delta, không gian làm việc rô-bốt, mô phỏng.

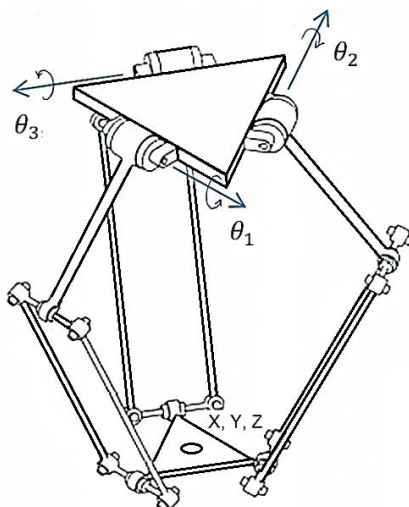
1. MỞ ĐẦU

Rô-bốt công nghiệp ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các nhà máy sản xuất và rô-bốt Delta là sự lựa chọn tốt vì nó cung cấp đủ sự linh hoạt và đạt độ tin cậy cao. Rô-bốt Delta là rô-bốt song song có 3 bậc tự do hoạt động dựa trên cơ chế hình bình hành. Nó cấu trúc nhỏ gọn, độ cứng cao và sai số tích lũy của các khớp nối rất thấp. Hơn nữa, rô-bốt Delta có chi phí rẻ so với khả năng làm việc với tốc độ khá cao nên nó rất phù hợp với hoạt động của các hệ thống đóng gói sản phẩm. Vì vậy, rô-bốt Delta là một trong những loại rô-bốt được sử dụng rộng rãi cho các lĩnh vực công nghiệp này. Sản phẩm công nghiệp phù hợp với hoạt động và tính năng của rô-bốt Delta rất đa dạng, từ các loại thực phẩm cần đóng gói khác nhau cho đến các chi tiết, phụ tùng thiết bị điện tử, cơ khí.

Rô-bốt Delta được cấu trúc bởi một bộ đỡ cố định liên kết với bộ làm việc di động nhờ các liên kết song song. Nhờ cấu trúc liên kết này nên bộ di động làm việc luôn song song với bộ cố định. Vùng không gian hoạt động của rô-bốt phụ thuộc nhiều vào thông số làm việc của rô-bốt. Vùng không gian làm việc rộng thì khả năng hoạt động của rô-bốt được nâng cao nhưng sẽ làm tăng kích thước của rô-bốt và tăng chi phí chế tạo. Vì vậy, việc xác định tối ưu các thông số của rô-bốt để đảm bảo vùng không gian hoạt động mong muốn là việc làm cần thiết. Việc mở rộng về không gian làm việc của rô-bốt đã được thực hiện trong các công bố gần đây [1, 2]. Trong các nghiên cứu này, các cánh tay của rô-bốt song song được thay thế bằng các sợi cáp mềm để mở rộng vùng không gian làm việc của bộ làm việc di động của rô-bốt, sự linh hoạt của không gian làm việc tùy thuộc vào chiều dài của các sợi dây cáp. Để đạt được vùng không gian làm việc mà không có điểm kỳ dị bằng cách xem xét ma trận Jacobian [1] và tối ưu hóa phân phối của không gian làm việc [2]. Vùng không gian làm việc của rô-bốt Delta tuyến

tính cũng đã được nghiên cứu trong các nghiên cứu [5-7]. Nguyễn Đình Dũng, đã sử dụng động lực học ngược để điều khiển vị trí của đầu làm việc cuối của rô-bốt Delta trong miền không gian hoạt động [8]. Tuy nhiên, việc thiết kế các cánh tay rô-bốt để thỏa mãn vùng không gian hoạt động cho trước cũng như các ràng buộc kích thước thiết kế chưa được các nghiên cứu trước đây đề cập. Bài báo này trình bày một nghiên cứu nhằm tối ưu các thông số của rô-bốt Delta dạng quay để có được vùng không gian làm việc như mong muốn nhờ việc xây dựng và phân tích động học của rô-bốt. Trong nghiên cứu này, các ràng buộc kích thước của các cánh tay rô-bốt được xác lập trong điều kiện đảm bảo vùng không gian làm việc cho trước của rô-bốt Delta.

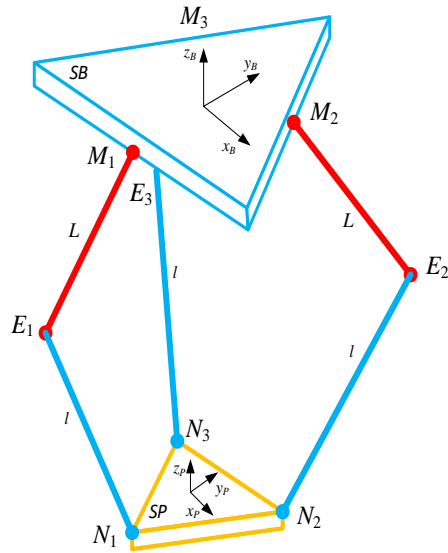
2. ĐỘNG LỰC HỌC THUẬN



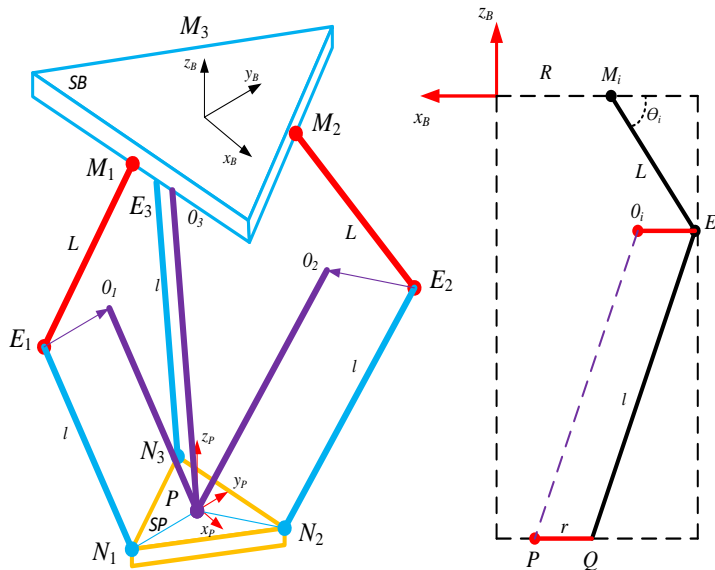
Hình 1. Sơ đồ rô-bốt Delta [3]

Các khớp quay được kích hoạt bởi các chuyển động quay được gắn cố định trên bộ cố định như trong Hình 1. Các thông số điều khiển đầu vào của rô-bốt là các góc quay θ_i , $i = 1; 2; 3$. Trong mô hình này thì θ_i được đo theo chiều quay phải, với giá trị bằng 0 khi thanh quay nằm trùng với mặt nằm ngang. Các cơ chế 4 khâu bản lề của ba liên kết bên dưới đảm bảo chỉ xảy ra chuyển động tịnh tiến của bộ làm việc di động và điều này đảm bảo rằng bộ làm việc luôn song song với bộ cố định. Rô-bốt Delta 3 bậc tự do có khả năng điều khiển tịnh tiến XYZ đối với bộ làm việc di động trong không gian làm việc của nó. Bản phác thảo cấu trúc của rô-bốt Delta song song được mô tả trong Hình 2. Trong đó, $M_1M_2M_3$ là bộ cố định, $N_1N_2N_3$ là bộ di động. Bộ truyền động cho để di động được xem như là cánh tay của rô-bốt mà trong đó các điểm M_i , $i = 1; 2; 3$, là các điểm bên hông, các điểm E_i , $i = 1; 2; 3$ là các điểm gối và các điểm N_i , $i = 1; 2; 3$ là các điểm gót.

Trong cấu trúc rô-bốt Delta thì các khớp tại M_i là các khớp quay, còn các khớp tại N_i và E_i là các khớp cầu, $i = 1; 2; 3$. Động học thuận của rô-bốt được mô tả như sau: cho trước giá trị các góc quay $\theta = [\theta_1 \theta_2 \theta_3]^T$ của các khớp quay, xác định tọa độ ${}^B_P = [x \ y \ z]^T$ của điểm đầu cuối (tâm P của bộ làm việc di động) trong hệ trục tọa độ. Sơ đồ động học thuận của rô-bốt Delta được trình bày như trong Hình 3, trong đó R là khoảng cách các khớp quay đến tâm của bộ cố định và r là khoảng cách của các điểm nối đến tâm của bộ làm việc di động.



Hình 2. Cấu trúc của rô-bốt Delta



Hình 3. Sơ đồ động học thuận rô-bốt Delta

Xét một nhóm các thanh nối trong mặt phẳng Oxz của rô-bốt Delta, tọa độ ba chiều của điểm cuối $E_i(x, y, z)$ của thanh nối của cánh tay đòn chủ động quay có thể có được trình bày bởi công thức sau [5]:

$$E_i = [R + L \cos \theta_i \quad 0 \quad L \sin \theta_i]^T \quad (1)$$

Nhờ các ràng buộc cơ khí mà bộ di động của rô-bốt Delta chỉ có chuyển động tịnh tuyến. Do đó, điểm P được xác định chính là giao điểm của 3 hình cầu có các tâm là O_1, O_2 và O_3 như được trình bày trong Hình 3 và có bán kính là l . Tọa độ của tâm các hình cầu trong mặt phẳng Oxz được xác định như sau:

$$O_i = [R - r + L \cos \theta_i \quad 0 \quad L \sin \theta_i]^T \quad (2)$$

Đối với hai nhóm thanh kết nối còn lại, phương pháp tương tự có thể được sử dụng để xác định tọa độ của 2 hình cầu còn lại, chỉ cần nhân với phép quay ma trận biến đổi R ở dạng:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \alpha - \sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Giả thiết các góc lắp đặt của ba nhánh hoạt động trên để cố định lần lượt là α_1, α_2 và α_3 . Đối với ba thanh kết nối, chúng có thể được viết dựa trên phương trình hình cầu như sau:

$$\begin{cases} (x - [(R - r) + L \cos \theta_1] \cos \alpha_1)^2 + (y - [(R - r) + L \cos \theta_1] \sin \alpha_1)^2 \\ \quad + (z - L \sin \theta_1)^2 = l^2 \\ (x - [(R - r) + L \cos \theta_2] \cos \alpha_2)^2 + (y - [(R - r) + L \cos \theta_2] \sin \alpha_2)^2 \\ \quad + (z - L \sin \theta_2)^2 = l^2 \\ (x - [(R - r) + L \cos \theta_3] \cos \alpha_3)^2 + (y - [(R - r) + L \cos \theta_3] \sin \alpha_3)^2 \\ \quad + (z - L \sin \theta_3)^2 = l^2 \end{cases} \quad (4)$$

Công thức (4) được đơn giản hóa thành công thức sau:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = l^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = l^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = l^2 \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó (x_1, y_1, z_1) là tọa độ của tâm O_1 , (x_2, y_2, z_2) là tọa độ của tâm O_2 , (x_3, y_3, z_3) là tọa độ của tâm O_3 , các tọa độ này được trình bày chi tiết như sau:

$$\begin{aligned} x_1 &= [(R - r) + L \cos \theta_1] \cos \alpha_1, & y_1 &= [(R - r) + L \cos \theta_1] \sin \alpha_1, & z_1 &= L \sin \theta_1, \\ x_2 &= [(R - r) + L \cos \theta_2] \cos \alpha_2, & y_2 &= [(R - r) + L \cos \theta_2] \sin \alpha_2, & z_2 &= L \sin \theta_2, \\ x_3 &= [(R - r) + L \cos \theta_3] \cos \alpha_3, & y_3 &= [(R - r) + L \cos \theta_3] \sin \alpha_3, & z_3 &= L \sin \theta_3. \end{aligned}$$

Phương trình (5) sau khi khai triển thì nhận được:

$$\begin{cases} x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 + z^2 - 2zz_1 + z_1^2 = l^2 \\ x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 + y_2^2 + z^2 - 2zz_2 + z_2^2 = l^2 \\ x^2 - 2xx_3 + x_3^2 + y^2 - 2yy_3 + y_3^2 + z^2 - 2zz_3 + z_3^2 = l^2 \end{cases} \quad (6)$$

Trừ vế theo vế của phương trình (1) từ phương trình (2) và phương trình (3) trong hệ phương trình (6) thì nhận được hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} 2(x_1 - x_2)x + 2(y_1 - y_2)y + 2(z_1 - z_2)z = (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) \\ 2(x_1 - x_3)x + 2(y_1 - y_3)y + 2(z_1 - z_3)z = (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) \end{cases} \quad (7)$$

Hệ phương trình trên có thể được trình bày dưới dạng ngắn gọn hơn:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó,

$$a_1 = 2(x_1 - x_2), a_2 = 2(x_1 - x_3), b_1 = 2(y_1 - y_2), b_2 = 2(y_1 - y_3), c_1 = 2(z_1 - z_2), c_2 = 2(z_1 - z_3), d_1 = (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2), d_2 = (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2).$$

Hệ phương trình (8) có thể được trình bày dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 - c_1 z \\ d_2 - c_2 z \end{bmatrix} \quad (9)$$

Điều kiện để hệ phương trình (9) có nghiệm số là định thức $\Delta = (a_1 b_2 - a_2 b_1) \neq 0$, khi thỏa điều kiện trên thì nghiệm của hệ phương trình trên là các giá trị tọa độ của x và y nhận được là:

$$\begin{cases} x = f_1 + f_x z \\ y = f_2 + f_y z \end{cases} \quad (10)$$

Trong đó,

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{b_2 d_1 - b_1 d_2}{\Delta} \\ f_2 &= \frac{b_1 c_2 - b_2 c_1}{\Delta} \\ f_x &= \frac{a_1 d_2 - a_2 d_1}{\Delta} \\ f_y &= \frac{a_2 c_1 - a_1 c_2}{\Delta} \end{aligned}$$

Phương trình (10) giúp xác định được tọa độ x và y của điểm làm việc \mathbf{P} từ các thông số đầu vào là các góc quay $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1 \theta_2 \theta_3]^T$. Các giá trị tọa độ x và y nhận được từ phương trình (10) sẽ được sử dụng để xác định tọa độ z còn lại của điểm \mathbf{P} theo phương trình như sau:

$$Az^2 + Bz + C = 0 \quad (11)$$

Trong đó,

$$\begin{cases} A = 1 \\ B = -2z_1 \\ C = z_1^2 - l^2 + (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \end{cases}$$

Nghiệm của phương trình (11) là:

$$z = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (12)$$

Đối với rô-bốt Delta thì để làm việc di động luôn luôn nằm phía dưới bệ gốc cố định, điều này có nghĩa là tọa độ z luôn có giá trị âm. Như vậy, động học thuận của rô-bốt có thể giúp xác định được vị trí của đầu cuối làm việc của rô-bốt Delta ${}^B_P = [x \ y \ z]^T$ khi cho trước các thông số đầu vào $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1 \theta_2 \theta_3]^T$ của các khớp quay. Thuật toán tính toán động học thuận của rô-bốt Delta được trình bày như trong Bảng 1.

Bảng 1. Quy trình thực hiện tính toán động học thuận rô-bốt Delta

Bước	Nội dung thực hiện
1	Cung cấp các thông số hình học của rô-bốt: $L \geq 0, l \geq 0, R \geq 0, r \geq 0$
2	Cung cấp các góc quay $\theta_1, \theta_2, \theta_3$
3	Kiểm tra điều kiện $\Delta = (a_1 b_2 - a_2 b_1) \neq 0$
4	Nếu $\Delta = (a_1 b_2 - a_2 b_1) \neq 0$ thực hiện: $x \leftarrow$ Công thức (10) $y \leftarrow$ Công thức (10) $z \leftarrow$ Công thức (12)

3. THIẾT KẾ CÁC KÍCH THƯỚC CỦA CÁNH TAY RÔ-BỐT

Mục đích của nghiên cứu này là thiết kế các kích thước của cánh tay rô-bốt nhằm thỏa vùng không gian làm việc cho trước. Giả thiết rằng vùng không gian làm việc của rô-bốt là tập hợp của N điểm trong không gian. Tọa độ của các điểm mà rô-bốt vươn đến được giả thiết là $P_k = (x_k, y_k, z_k)$, $k = 1$ đến N . ba thông số kích thước của rô-bốt cần được thiết kế đó là: kích thước l , kích thước L và giá trị $p = R - r$. Giả thiết rằng đầu cuối của rô-bốt đang nằm tại điểm $P_k = (x_k, y_k, z_k)$, từ phương trình (4) các biểu thức sau đây là thỏa mãn:

$$\begin{cases} (x_k - [(R - r) + L \cos \theta_1] \cos \alpha_1)^2 + (y_k - [(R - r) + L \cos \theta_1] \sin \alpha_1)^2 \\ + (z_k - L \sin \theta_1)^2 - l^2 = 0 \\ (x_k - [(R - r) + L \cos \theta_2] \cos \alpha_2)^2 + (y_k - [(R - r) + L \cos \theta_2] \sin \alpha_2)^2 \\ + (z_k - L \sin \theta_2)^2 - l^2 = 0 \\ (x_k - [(R - r) + L \cos \theta_3] \cos \alpha_3)^2 + (y_k - [(R - r) + L \cos \theta_3] \sin \alpha_3)^2 \\ + (z_k - L \sin \theta_3)^2 - l^2 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Hệ phương trình (13) cho thấy rằng với các đại lượng đã xác định như $x_k, y_k, z_k, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ và $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ thì các kích thước của rô-bốt là l, L và p là xác định được. Công thức (13) cũng cho thấy rằng có thể xác định được một giá trị còn lại nếu đã biết hai giá trị kia, điều đó có nghĩa là thông số này sẽ là hàm số của hai thông số còn lại, $L = f(l, p)$. Như vậy, cho trước điểm $P_k = (x_k, y_k, z_k)$ trong không gian thì có thể xác định được một tập các thông số kích thước l, L và p . Tuy nhiên, giải thuật này tồn tại nhược điểm là có quá nhiều phương án thiết kế để thỏa mãn vùng làm việc của rô-bốt. Việc giới hạn số lượng các phương án thiết kế là việc làm thực sự cần thiết. Phương trình (13) có thể được viết lại dưới dạng tổng quát như sau:

$$f(\bar{x}, \bar{q}) = 0 \quad (14)$$

Trong đó, \bar{x} là vec-tơ của tham số vị trí đầu cuối rô-bốt (x, y, z) và \bar{q} là vec-tơ của các biến số góc quay của các khớp quay $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$. Lấy đạo hàm phương trình (14) thì nhận được mối liên hệ giữa vận tốc góc của các khớp quay và vị trí đầu cuối của rô-bốt như sau:

$$J_x \dot{x} = J_q \dot{q} \quad (15)$$

$$\dot{q} = J_q^{-1} J_x \dot{x} \quad (16)$$

Trong đó:

$$J_x = \text{diag}(z - z_1, z - z_2, z - z_3) \quad (17)$$

$$J_q = \begin{bmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x - x_3 & y - y_3 & z - z_3 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Ma trận Jacobian có thể được trình bày như sau:

$$J_q^{-1}J_x = \begin{bmatrix} \frac{x-p\cos\theta_1}{q_1} & \frac{y-p\sin\theta_1}{q_1} & 1 \\ \frac{x-p\cos\theta_2}{q_2} & \frac{y-p\sin\theta_2}{q_2} & 1 \\ \frac{x-p\cos\theta_3}{q_3} & \frac{y-p\sin\theta_3}{q_3} & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Trong đó $q_i = -\sqrt{l^2 - (x - p\cos\theta_i)^2 - (y - p\sin\theta_i)^2}$, ($i = 1; 2; 3$).

Khi định thức của các ma trận Jacobian J_x hoặc J_q bằng không thì sẽ xuất hiện các điểm kỳ dị. Khi $\det(J_x) = 0$ thì rô-bốt sẽ có nhiều hơn các bậc tự do vốn có, và ngược lại khi $\det(J_q) = 0$ thì rô-bốt sẽ mất số bậc tự do vốn có. Vì vậy, để tối ưu vấn đề thiết kế các kích thước của rô-bốt Delta thì giải thuật tính toán cần loại bỏ các giá trị làm cho các định thức của ma trận Jacobian bằng 0.

Theo công thức (19) thì định thức của ma trận Jacobian chỉ phụ thuộc hai thông số thiết kế là $p = R - r$ và l . Định thức của ma trận Jacobian khác 0 khi $p = R - r \neq 0$. Các định thức $\det(J_x) = 0$ và $\det(J_q) = 0$ khi $p = R - r = l$. Dựa vào các điều kiện trên, ràng buộc của các kích thước để vùng làm việc của rô-bốt Delta không xuất hiện các điểm kỳ dị được đề xuất bởi nghiên cứu là:

$$R - r > 0, R - r < l \quad (20)$$

Mặt khác, các công thức trong (5) được khai triển và có thể đưa nó về dưới dạng:

$$l_i \cos\theta_i + m_i \sin\theta_i = n_i \quad (i = 1; 2; 3) \quad (21)$$

Trong đó:

$$l_i = 2rL - 2Lx\cos\alpha_i - 2Ls\sin\alpha_i,$$

$$m_i = 2Lz$$

$$n_i = 2rx\cos\alpha_i - 2rys\sin\alpha_i + x^2 + y^2 + z^2 + L^2 - l^2 + p^2$$

$$p = R - r$$

Theo công thức (13) thì tập các điểm mà đầu làm việc của rô-bốt delta có thể vươn tới phải thỏa điều kiện ràng buộc:

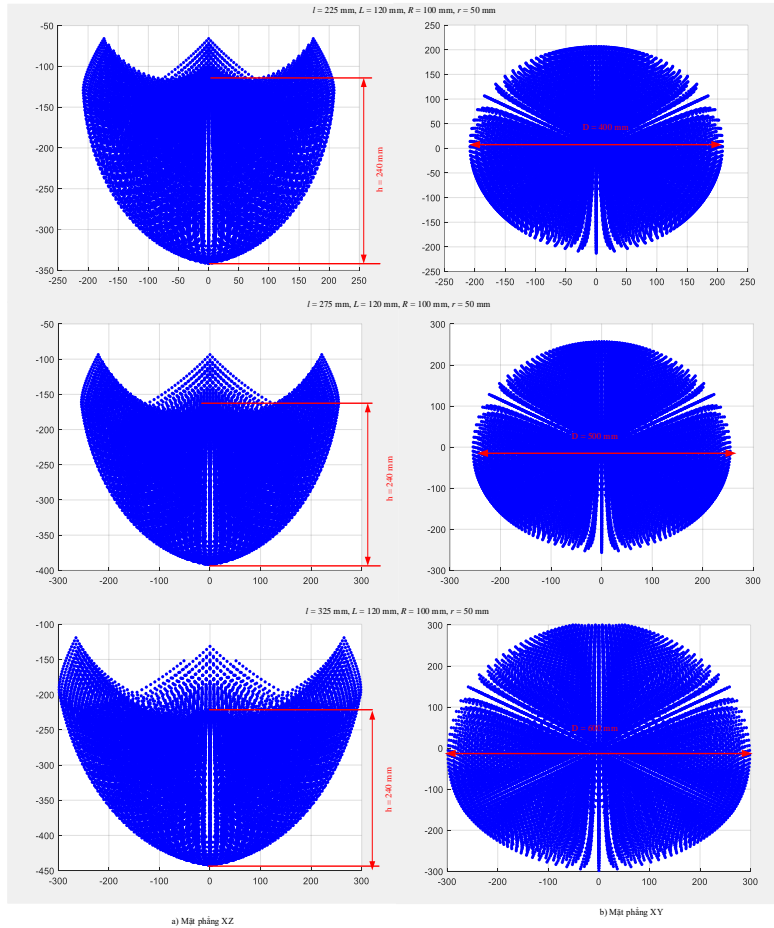
$$\left| \frac{n_i}{\sqrt{l_i^2 + m_i^2}} \right| \leq 1 \quad (22)$$

Các ràng buộc được trình bày từ công thức (17) đến (22) sẽ được xem xét trong giải thuật xác định vùng không gian làm việc của rô-bốt Delta được trình bày trong nghiên cứu này.

4. PHÂN TÍCH VÙNG KHÔNG GIAN LÀM VIỆC CỦA RÔ-BỐT DELTA

Nhằm nghiên cứu khuynh hướng thay đổi của vùng không gian hoạt động của rô-bốt khi các thông số của rô-bốt thay đổi, vùng không gian hoạt động được mô phỏng tương ứng theo sự thay đổi của từng thông số kích thước. Trong nghiên cứu này, các bán kính R và r được thiết kế là $R = 100$ mm và $r = 50$ mm. Góc quay của khớp quay được giới hạn là -35° đến 105° . Chương trình mô phỏng vùng không gian làm việc được xây dựng theo thuật toán trình bày trong Bảng 1 và căn cứ trên các ràng buộc được trình bày từ các công thức từ (17) đến (21) để loại bỏ các điểm kỳ dị xuất hiện trong vùng làm việc.

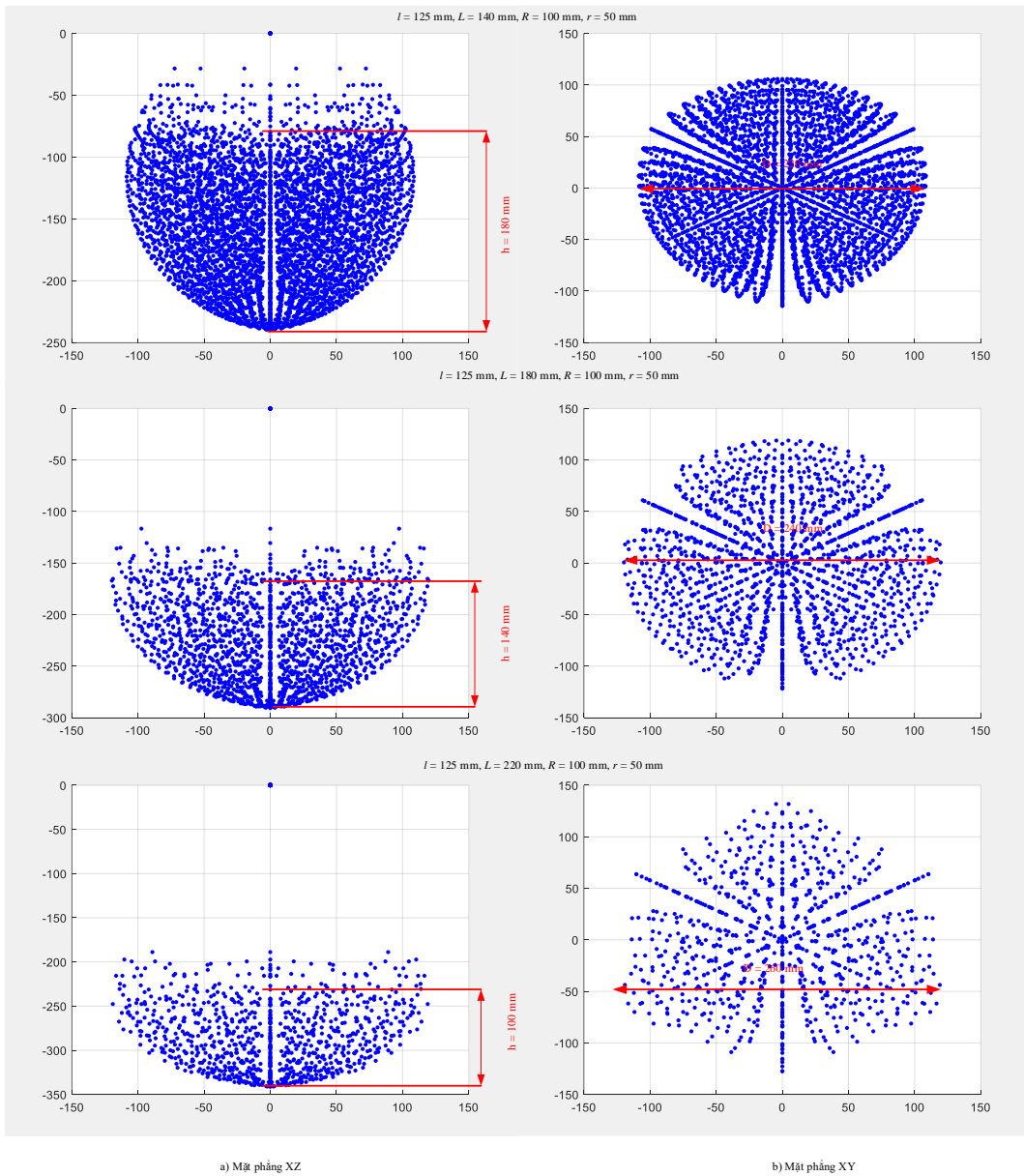
Các kết quả mô phỏng được trình bày từ Hình 4 đến Hình 6. Hình 4 trình bày kết quả mô phỏng khi chỉ kích thước l thay đổi. Kích thước l khi thay đổi thì chỉ làm thay đổi độ rộng của vùng không gian hoạt động mà ít làm thay đổi chiều cao của vùng làm việc. Ngược lại, khi kích thước L tăng thì làm giảm chiều cao nhưng vùng làm việc của rô-bốt lại được mở rộng như được trình bày trong Hình 5. Như vậy, các kích thước thiết kế bao gồm l và L của rô-bốt để đảm bảo vùng làm việc của rô-bốt có thể được lựa chọn dựa vào sự phân tích vùng không gian làm việc.



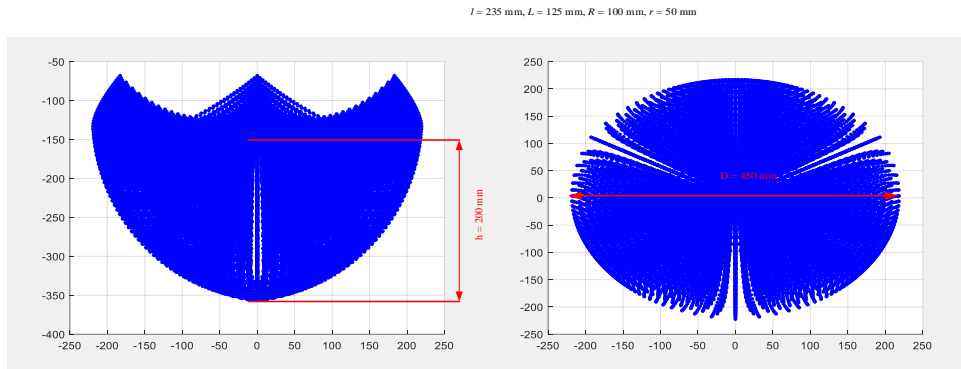
Hình 4. Vùng không gian làm việc khi chỉ kích thước l thay đổi

Rô-bốt Delta trong bài báo được thiết kế có chiều cao của vùng làm việc là $h = 200$ mm và độ rộng của vùng làm việc là $D = 450$ mm. Các kích thước R và r được chọn là 100 mm và 50 mm tương ứng và các kích thước của thông số l được chọn là lớn hơn 50 mm để đảm bảo điều kiện ràng buộc biểu diễn trong công thức (20). Độ rộng vùng làm việc chỉ phụ thuộc vào thông số kích thước l vậy để độ rộng vùng làm việc là $D = 450$ mm thì kích thước của l nằm trong khoảng là $225 \text{ mm} < l < 275 \text{ mm}$ như quan sát thấy trong Hình 4. Kích thước l được chọn sơ bộ là $l = 235$ mm. Thông số kích thước L ảnh hưởng đến cả chiều cao và độ rộng của vùng làm việc. Kích thước L tăng thì chiều cao giảm, theo quan sát thấy trong Hình 4 và Hình 5 thì $120 \text{ mm} < L < 140 \text{ mm}$. Vì vậy kích thước L được chọn $L = 125$ mm. Các thông số kích thước mới được kiểm tra các điều kiện ràng buộc và mô phỏng lại vùng không gian làm việc của rô-bốt. Kết quả mô phỏng được trình bày như trong Hình 6.

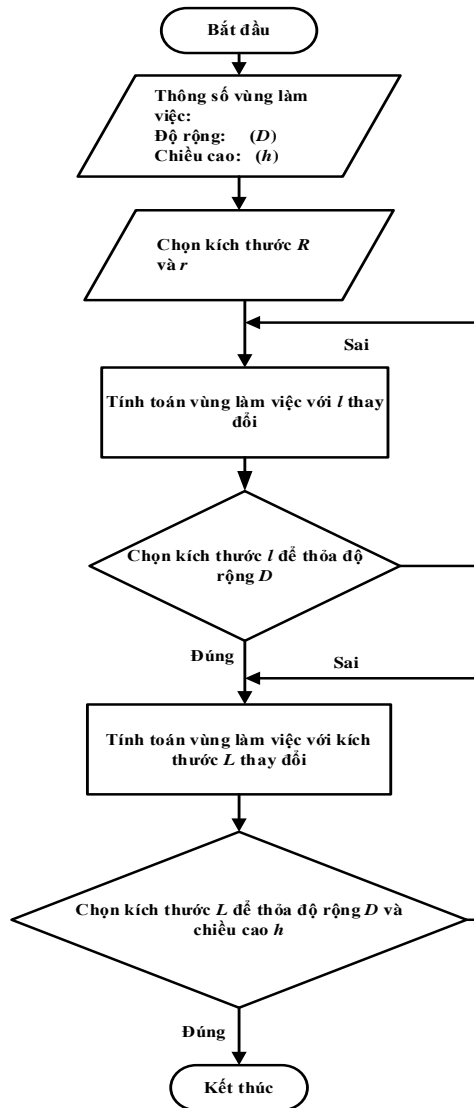
Theo kết quả mô phỏng đạt được, với các kích thước thiết kế $l = 235$ mm và $L = 125$ mm thì độ rộng của vùng làm việc của rô-bốt đạt được là 450 mm và chiều cao của vùng làm việc là 200 mm thỏa điều kiện ban đầu.



Hình 5. Vùng không gian làm việc khi chỉ kích thước L thay đổi



Hình 6. Kích thước thiết kế cho vùng làm việc có chiều cao $h = 200 \text{ mm}$ và độ rộng $D = 450 \text{ mm}$



Hình 7. Lưu đồ xác định kích thước của rô-bốt Delta thỏa vùng làm việc

Hình 7 trình bày lưu đồ xác định kích thước của rô-bốt delta được đề xuất bởi bài báo. Để xác định kích thước của rô-bốt thì độ rộng và chiều cao của vùng làm việc cần được xác định trước. Các kích thước R và r cần lựa chọn cố định và thỏa điều kiện $R - r > 0$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày một giải pháp lý thuyết dựa trên cơ sở động học của rô-bốt để xác định không gian làm việc tối ưu cho rô-bốt Delta dựa trên các ràng buộc về các thông số thiết kế để vùng làm việc của rô-bốt không xuất hiện các điểm kỳ dị. Các ảnh hưởng của chiều dài của cánh tay chủ động và cánh tay làm việc, đường kính lắp đặt các khớp quay để đạt được khả năng tiếp cận của rô-bốt Delta được nghiên cứu và phân tích. Những phân tích của nghiên cứu này có thể được sử dụng để xác định một tập hợp các tham số thiết kế của rô-bốt để sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp có vùng không gian định trước. Các thông số thiết kế của rô-bốt có thể được xác định chính xác để phù hợp với vùng không gian cần đạt tới của rô-bốt để gấp hoặc thả các sản phẩm trong các dây chuyền sản xuất, đóng gói sản phẩm công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Merlet J. P. - Jacobian, manipulability, condition number, and accuracy of parallel robots, *Journal of Mechanical Design* **128** (1) (2006) 199-206.
2. Xiaoqiang Tang, Lewei Tang, Jinsong Wang and Dengfeng Sun - Workspace quality analysis and application for a completely restrained 3-dof planar cable-driven parallel manipulator, *Journal of Mechanical Science and Technology* **27** (8) (2013) 2391-2399.
3. Yongjie Zhao - Singularity, isotropy, and velocity transmission evaluation of a three translational degrees-of-freedom parallel robot, *Robotica* **31** (2) (2014) 193-202.
4. Verdes, D., Sergiu-Dan, S., Milos, M., & Radu, B. - Mechatronic design, kinematics analysis of a 3 DOF medical parallel robot, *IEEE-ISRCS'10, the 3rd IEEE Symposium on Resilience Control Systems*.
5. Stock M., and Miller K. - Optimal design of spatial parallel manipulators: application to linear DELTA robot, *ASME J. Mech. Des.* **125** (2003) 292-301.
6. Zhongfei Wang, Guan Wang, Shiming Ji, Yuehua Wan and Qiaoling Yuan -Optimal Design of a Linear Delta Robot for the Prescribed Cuboid Dexterous Workspace, *Proceedings of the 2007 IEEE on Robotics and Biomimetics* (2008) 2183-2188.
7. Liu X. J., Wang, J., Oh, K. K., and Kim, J. - A new approach to the design of a DELTA robot with a desired workspace, *J. of Intel. Robot. Sys.* **39** (2004) 209-225.
8. Nguyễn Đình Dũng - Động lực học ngược và điều khiển chuyển động của rô-bốt song song delta không gian, *Luận án tiến sĩ, Học viện khoa học và công nghệ*, 2018.

ABSTRACT

**DESIGN OF THE ROBOT DELTA PARAMETER
BASED ON THE ROBOT WORKSPACE**

Le The Truyen, Nguyen Minh Huy,
Nguyen Tan Ken*, Mai Van Nam

Ho Chi Minh City University of Food Industry

*Email: *kennt@hufi.edu.vn*

Delta robot is a parallel robot which can provide precise positions of the working head so it is widely used in industrial applications to pick-and-drop products in the production lines. The optimization of parameters of the robot to obtain the desired workspace is an important task. This paper provides a method to determine the robot parameters based on a given robot workspace. The algorithm used to calculate the forward kinematics and the constraints between the basic dimensions of the robot arms are proposed. The optimal algorithm used to limit the parameter domain to the dimensions of the arms of the robot is also proposed in the paper.

Keywords: Robot kinematics, Delta robots, robot workspace, simulation.