

THIẾT KẾ QUỸ ĐẠO TỐI ƯU CHO ROBOT SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN

PLANNING THE OPTIMAL TRAJECTORY FOR A ROBOTIC MANIPULATOR USING GENETIC ALGORITHM

Luu Thi Hué¹, Nguyễn Phạm Thục Anh^{2*}

¹*Đại học Điện Lực*

²*Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

*Tác giả liên hệ: anh.nguyenphamthuc@hust.edu.vn

(Nhận bài: 14/01/2022; Chấp nhận đăng: 24/3/2022)

Tóm tắt - Bài toán thiết kế quỹ đạo tối ưu là một vấn đề cần được giải quyết trong ứng dụng robot. Quỹ đạo được thiết kế tối ưu về thời gian di chuyển đồng thời phải thỏa mãn các ràng buộc khác nhau như giới hạn mô men, phạm vi di chuyển của các khớp trong không gian làm việc cũng như tốc độ chuyển động của các khớp. Bài báo trình bày cách thức thiết kế quỹ đạo tối ưu sử dụng GA. Khác với các nghiên cứu trước, quỹ đạo tham chiếu được cho là giống quỹ đạo thực. Do đó, mô men tác động tại các khớp được tính toán bằng cách sử dụng động học nghịch và động lực học thuận của robot. Bài báo đề xuất đưa thêm bộ điều khiển vào khi thiết lập quỹ đạo tối ưu, mô men tại các khớp robot được tính toán từ đầu ra của bộ điều khiển. Cách thiết kế này đảm bảo tương đồng giữa thiết kế quỹ đạo và việc triển khai trong thực tế. Các kết quả mô phỏng với các loại quỹ đạo khác nhau đã chứng minh tính khả thi của phương án được đề xuất.

Từ khóa - robot; thuật toán di truyền (GA); quỹ đạo tối ưu; thời gian tối ưu; thiết kế quỹ đạo

1. Giới thiệu

Trong thời gian gần đây, thuật toán di truyền (GA) đã được áp dụng trong một số lĩnh vực như điều khiển, nhận dạng hệ thống, robot, nhận dạng mẫu... Bài viết này đề cập đến lĩnh vực robot, cụ thể là thiết kế quỹ đạo cho khâu tác động cuối của robot trong không gian làm việc.

Đã có nhiều nghiên cứu cho vấn đề thiết kế quỹ đạo. Nghiên cứu của Shigang Yue và cộng sự [1] đã thiết kế quỹ đạo điểm – điểm cho tay máy robot. Sử dụng kỹ thuật GA để đề xuất quỹ đạo chuyển động dựa trên yêu cầu độ rung/ hoặc thời gian di chuyển tối thiểu. Các tác giả sử dụng đa thức bậc bốn và bậc năm về thời gian để biểu diễn quỹ đạo cho từng đoạn kết nối điểm đầu, điểm trung gian và điểm cuối trong không gian khớp. Những giới hạn ràng buộc về góc khớp, vận tốc chuyển động và mô men của khớp được xem xét trong quá trình tối ưu. Pires và Machado [2] đề xuất một phương pháp thiết kế đường đi dựa trên GA trong khi áp dụng động học trực tiếp và động học nghịch đảo. Quỹ đạo tối ưu là một quỹ đạo giảm chiều dài đường đi, với thời gian và năng lượng di chuyển theo yêu cầu mà không có bất kỳ va chạm nào với chướng ngại vật trong không gian làm việc. Còn Pires và cộng sự [3], sử dụng GA để tối ưu hóa quỹ đạo chuyển động của robot planar. Mục tiêu GA là giảm thiểu không gian quỹ đạo / thời gian mà không vượt quá mô-men tối đa xác định trước. Các tác giả sử dụng động học trực tiếp để tránh các điểm kỳ dị. Trong

Abstract - The optimal trajectory planning is a problem that needs to be solved in robotic applications. The trajectory is optimally designed in terms of travel time, at the same time must satisfy different constraints such as limited torque, range of movement of joints in workspace and velocity of joints. This paper presents the design of optimized trajectory using genetic algorithm. Being different from previous researches, the reference trajectory is assumed to be the same as the real one. Therefore, the controlled torque is calculated by using the inverse kinematic and dynamic equation of robot. This paper proposes adding the controller when the optimal trajectory planning is designed, the controller torque is calculated from controller outputs. This proposed calculation guarantees the similarity between design and implementation processes. Simulations with different types of trajectories have been done to verify the effectiveness of the proposed approach.

Key words - robot; Genetic Algorithm (GA); optimal trajectory; time optimization; trajectory planning

bài [4], đã đề xuất một phương pháp thiết kế quỹ đạo điểm – tới điểm dựa trên GA khi sử dụng trực tiếp động học và động lực học. Quỹ đạo tối ưu là quỹ đạo giảm thiểu cả thời gian di chuyển và không gian di chuyển mà không vượt quá mô men tối đa xác định trước, không va chạm với bất kỳ chướng ngại vật nào trong không gian làm việc. Hay trong [5], Stanislav và cộng sự trình bày phương pháp thiết kế quỹ đạo dựa trên GA cho tay máy robot với việc tối ưu nhiều tiêu chí khác nhau. Phương pháp được mô tả dựa trên động học ngược và quỹ đạo tối ưu là giảm thiểu thời gian di chuyển và giảm thiểu mức năng lượng tiêu thụ.

Như vậy, các nghiên cứu trước bộ điều khiển dạng mở không có phản hồi được sử dụng. Quỹ đạo tham chiếu được cho là giống quỹ đạo thực. Do đó, mô men tác động tại các khớp được tính toán bằng cách: Sử dụng động học nghịch để tính quỹ đạo tham chiếu của các khớp từ quỹ đạo tham chiếu của khâu tác động cuối, sau đó quỹ đạo tham chiếu này được sử dụng để tính mô men dựa vào phương trình động lực học của robot. Tuy nhiên, do tất cả các robot đều được điều khiển bởi bộ điều khiển dạng phản hồi để ổn định hệ thống và chống nhiễu, nên quỹ đạo đặt và quỹ đạo thực sẽ không hoàn toàn giống nhau. Do vậy, momen thực tại các khớp robot cũng không giống với tính toán dùng phương trình động lực học. Để khắc phục các nhược điểm trên, bài báo sẽ đưa thêm bộ điều khiển vị trí trong không gian làm việc vào hệ thống khi thiết kế quỹ đạo tối ưu cho

¹ Electric Power University (Luu Thi Hue)

² Ha Noi University of Science and Technology (Nguyen Pham Thuc Anh)

khâu tác động cuối của robot. Lúc này bài báo giải quyết được cả hai vấn đề: Bài toán quỹ đạo tối ưu và bài toán bám quỹ đạo. Khi đó, momen tác động lên các khớp được lấy từ đầu ra của bộ điều khiển. Giá trị đo của vị trí, vận tốc chuyển động các khớp, giá trị mô men được đưa vào GA để xem xét với các điều kiện giới hạn của robot.

2. Mô hình động lực học và bộ điều khiển của robot

Để điều khiển vị trí của tay máy ta cần biết được tính chất động lực học và giá trị lực cần thiết tác động. Lực quá lớn có thể khiến robot va chạm với các vật thể bên ngoài hoặc dao động xung quanh vị trí mong muốn. Mô hình động lực học của robot được mô tả như phương trình sau [6, tr. 180]:

$$\mathbf{H}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

với:

$\mathbf{H}(\mathbf{q})$ là ma trận quán tính có kích thước $n \times n$;

$\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ là ma trận tương hỗ và ly tâm, được xác định từ ma trận $\mathbf{H}(\mathbf{q})$ dựa vào tính chất $\dot{\mathbf{H}}(\mathbf{q}) - 2\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ là ma trận đối xứng lệch, có kích thước $n \times n$;

$\mathbf{G}(\mathbf{q})$ là véc tơ trọng trường có kích thước $n \times 1$;

$\boldsymbol{\tau}$ là véc tơ mô men tác động lên các khớp của tay máy có kích thước $n \times 1$;

$\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}$ là véc tơ vị trí, vận tốc, gia tốc của các khớp có kích thước $n \times 1$.

Với giả thiết các tham số của robot biết được một cách chính xác. Ở đây tác giả sử dụng thuật toán đơn giản để điều khiển quỹ đạo chuyển động của robot, thuật toán \mathbf{J}^T (Jacobi chuyển vị)- PD bù trọng trường trong không gian làm việc được lựa chọn. Thuật toán được mô tả như phương trình (2).

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{J}^T (\mathbf{K}_p(\mathbf{z}_d - \mathbf{z}) - \mathbf{K}_d \dot{\mathbf{z}}) + \mathbf{G}(\mathbf{q}) \quad (2)$$

Trong đó, \mathbf{z}_d : Quỹ đạo vị trí và hướng đặt của khâu tác động cuối của robot; $\mathbf{z}, \dot{\mathbf{z}}$: Quỹ đạo vị trí, hướng và tốc độ thực của khâu tác động cuối của robot; $\mathbf{K}_p, \mathbf{K}_d$: Tham số của bộ điều khiển, là ma trận hệ số xác định dương; \mathbf{J} : Ma trận Jacobi của robot

3. Thiết kế quỹ đạo

Quỹ đạo chuyển động vị trí của khâu tác động cuối của robot được thiết kế trong vùng làm việc của chúng, với bộ điều khiển được sử dụng trong Mục 2. Có nhiều dạng quỹ đạo chuyển động được thiết kế cho vị trí của khâu tác động cuối. Ta có thể đảm bảo tính liên tục này bằng các quỹ đạo đa thức bậc ba của vị trí khâu tác động cuối [6], được cho bởi phương trình:

$$\mathbf{z}_d(t) = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}_1(t-t_0) + \mathbf{a}_2(t-t_0)^2 + \mathbf{a}_3(t-t_0)^3 \quad (3)$$

với, $t_0 \leq t \leq t_f$, t_0 và t_f là thời gian đầu và thời gian cuối của chuyển động;

\mathbf{a}_i ($i = 0-3$) là các véc tơ hệ số của quỹ đạo, có kích thước 3×1 .

Các véc tơ hệ số \mathbf{a}_i , trong phương trình (3) được xác

định như sau [6]:

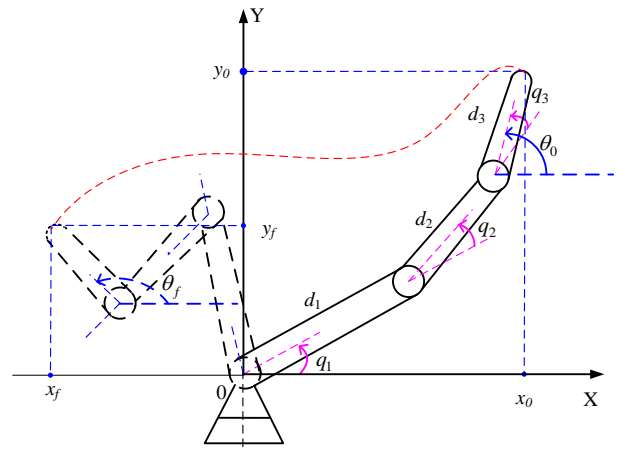
$$\begin{aligned} \mathbf{a}_0 &= \mathbf{z}_0 \\ \mathbf{a}_1 &= \dot{\mathbf{z}}_0 \\ \mathbf{a}_2 &= \frac{-3(\mathbf{z}_0 - \mathbf{z}_f) - (2\dot{\mathbf{z}}_0 + \dot{\mathbf{z}}_f)(t_f - t_0)}{(t_f - t_0)^2} \\ \mathbf{a}_3 &= \frac{2(\mathbf{z}_0 - \mathbf{z}_f) + (\dot{\mathbf{z}}_0 + \dot{\mathbf{z}}_f)(t_f - t_0)}{(t_f - t_0)^3} \end{aligned} \quad (4)$$

với, $\mathbf{z}_0, \dot{\mathbf{z}}_0$ là vị trí, vận tốc ban đầu của khâu tác động cuối; $\mathbf{z}_f, \dot{\mathbf{z}}_f$ là vị trí, vận tốc tại điểm kết thúc của khâu tác động cuối.

4. Thiết kế quỹ đạo sử dụng GA

4.1. Các thông số cần xác định

Tác giả xem xét một ví dụ là robot planar ba bậc tự do trong việc thiết kế quỹ đạo của khâu tác động cuối. Mô hình của robot planar được minh họa như Hình 1.



Hình 1. Mô hình robot planar

OXY : là khung tọa độ gốc gắn với khớp thứ nhất;

d_1, d_2, d_3 : Chiều dài các khâu nối giữa các khớp;

q_1, q_2, q_3 : Góc khớp;

x, y, θ : Vị trí, hướng của khâu tác động cuối;

$\mathbf{z}_0 = [x_0, y_0, \theta_0]^T$ vị trí đầu;

$\mathbf{z}_f = [x_f, y_f, \theta_f]^T$ vị trí cuối.

Với thiết kế quỹ đạo chuyển động cho khâu tác động cuối của robot trong không gian làm việc và quỹ đạo chuyển động được thiết kế như phương trình (3), thì các tham số cần phải xác định là các hệ số của quỹ đạo $\mathbf{a}_i = \mathbf{a}_{z_i} = [a_{xi}; a_{yi}; a_{\theta i}]$, với z là chỉ số chỉ quỹ đạo chuyển động theo trục x, y và hướng của khâu tác động cuối ($z = x, y, \theta$), i là chỉ số chỉ các hệ số của quỹ đạo chuyển động cần thiết kể $i = 0-3$.

Như vậy, có thể thấy rằng, cần xác định mười hai tham số cho các quỹ đạo được thiết kế tạm thời. Các tham số của các quỹ đạo cần được xác định đảm bảo mục tiêu của bài toán đề ra.

4.2. Thuật toán di truyền

Con người trong tự nhiên phát triển nhờ tương tác với nhau. Mỗi cá thể được đặc trưng bởi một kiểu gen độc lập với môi trường nơi họ sống. Các toán tử di truyền làm việc trên cơ sở kiểu gen, cơ chế chọn lọc của chúng hoạt động trên cơ sở kiểu hình, GA là cơ sở của các thuật toán tối ưu ngẫu nhiên.

Nguyên lý hoạt động của GA: GA là một kỹ thuật tối ưu hóa và tìm kiếm dựa trên nguyên lý của di truyền và chọn lọc tự nhiên. Một GA cho phép một quần thể gồm nhiều cá thể tiến hóa theo các quy tắc lựa chọn được chỉ định đến trạng thái tối ưu hóa “fitness” (hàm chi phí nhỏ nhất) [7-10].

Mỗi chu kỳ trong GA tạo ra một thế hệ mới các giải pháp khả thi cho một vấn đề nhất định. Trong chu kỳ đầu, một quần thể ban đầu mô tả các đại diện của giải pháp tiềm năng được tạo ra để bắt đầu quá trình tìm kiếm. Các yếu tố của quần thể được mã hóa thành chuỗi bit được gọi là nhiễm sắc thể.

Sự thực hiện các chuỗi được gọi là tối ưu, sau đó được đánh giá bởi một số hàm chức năng, các ràng buộc của vấn đề. Dựa trên sự tối ưu của nhiễm sắc thể, chúng được lựa chọn cho một quá trình di truyền tiếp theo. Quá trình chọn lọc đảm bảo chọn những cá thể phù hợp nhất. Khi chọn lọc quần thể kết thúc, quá trình di truyền gồm hai bước được thực hiện. Bước đầu tiên kết hợp chéo (lai ghép) các bit (gen) của hai chuỗi (nhiễm sắc thể) được chọn. Có hai loại lai ghép: Lai ghép một điểm và lai ghép hai điểm. Các điểm lai ghép của hai nhiễm sắc thể là bất kỳ được chọn một cách ngẫu nhiên. Bước thứ hai trong thao tác di truyền được gọi là đột biến, trong đó các bit tại một hoặc nhiều vị trí của nhiễm sắc thể được chọn một cách ngẫu nhiên bị thay đổi. Quá trình đột biến giúp khắc phục hiện tượng cực đại cục bộ. Các con được tạo ra bởi quá trình di truyền là quần thể tiếp theo được đánh giá.

4.3. Hàm mục tiêu

Việc thiết kế quỹ đạo tối ưu cho khâu tác động cuối tập trung vào việc tạo ra các chuyển động ngoại tuyến để thực hiện các nhiệm vụ đã biết trong một môi trường xác định. Bài toán thiết kế quỹ đạo tối ưu có thể tuân theo các tiêu chí tối ưu khác nhau

- Thời gian thực hiện tối thiểu;
- Năng lượng tối thiểu;
- Độ giật tối thiểu.

Quỹ đạo được thiết kế sử dụng tiêu chí thời gian thực hiện tối thiểu chiếm một vị trí quan trọng trong công nghiệp nhằm giảm chu kỳ sản xuất, điều này rất có ý nghĩa kinh tế do tăng năng suất trong công nghiệp. Hàm mục tiêu thời gian di chuyển của khâu tác động cuối như sau:

$$f_{\text{ness}} = T_f \quad (5)$$

với, T_f là thời gian mà khâu tác động cuối của robot di chuyển từ vị trí đầu tới vị trí cuối.

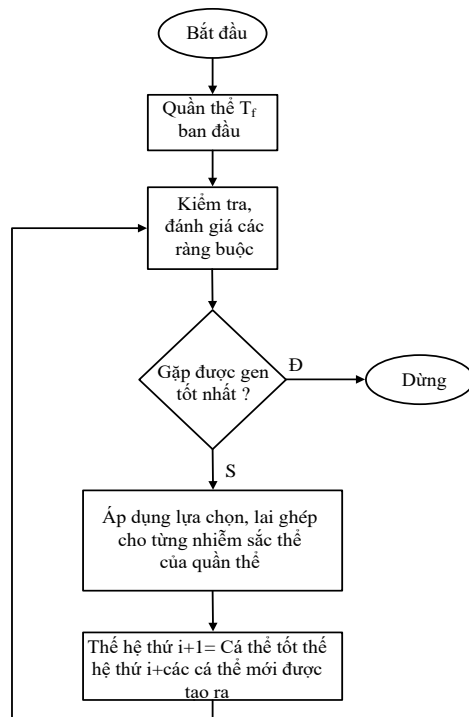
Một số thuật toán để tính toán quỹ đạo tối ưu thời gian cho robot cần xem xét tới các loại ràng buộc. Do với mỗi một robot, các góc khớp đều có giới hạn chuyển động nhất định. Tốc độ chuyển động của các góc khớp cũng trong một giới hạn. Ngoài ra, mô men điều khiển tác động lên các

khớp của robot không được vượt giới hạn mô men lớn nhất cung cấp bởi động cơ. Các giới hạn này là điều kiện ràng buộc của góc khớp, tốc độ và mô men của khớp khi thiết kế quỹ đạo chuyển động và chúng được biểu thị như sau:

$$\begin{aligned} q_{\min} &\leq q \leq q_{\max} \\ \dot{q}_{\min} &\leq \dot{q} \leq \dot{q}_{\max} \\ \tau_{i \min} &\leq \tau_i \leq \tau_{i \max} \end{aligned} \quad (6)$$

Sử dụng thuật toán GA xác định được T_f tối ưu, dựa vào hàm mục tiêu (5) và các ràng buộc (6) để xác định. Khi T_f được xác định, sẽ xác định được các thông số a_{zi} của quỹ đạo tối ưu dựa vào phương trình (4), do các thông số a_{zi} là hàm của T_f ($T_f = t_f - t_0$).

Thuật toán GA được xây dựng như sau: Khi chương trình được bắt đầu, thì quần thể T_f ban đầu được tạo ra và được đánh giá, với mỗi một cá thể T_f trong quần thể ban đầu xác định được các bộ thông số của quỹ đạo ban đầu (các thông số của quỹ đạo xác định theo phương trình (4) là hàm của T_f), chính là xây dựng được quỹ đạo ban đầu, quỹ đạo này được đưa tới bộ điều khiển. Momen tác động lên các khớp được lấy từ đầu ra của bộ điều khiển, sau đó được đánh giá bởi ràng buộc mô men (6). Vận tốc và vị trí đo thực của các khớp cũng được đánh giá bởi ràng buộc (6). Quá trình đánh giá quần thể ban đầu nếu gặp được gen tốt, tức tìm được T_f tối ưu thì quá trình tìm kiếm dừng lại. Nếu không, dựa trên tối ưu của nhiễm sắc thể, các T_f được lựa chọn cho một quá trình tiếp theo, quá trình chọn lọc đảm bảo những T_f phù hợp nhất. Sau đó các quá trình di truyền sẽ được thực hiện, nhằm tạo ra các con cho quần thể tiếp, quần thể tiếp theo tiếp tục được đánh giá. Quá trình tìm kiếm giá trị tối ưu của T_f cứ tiếp tục được thực hiện như vậy cho đến khi tìm được giá trị của T_f tối ưu, hoặc thực hiện đến hết số thế hệ theo yêu cầu. Thuật toán tìm kiếm giá trị tối ưu được thể hiện qua lưu đồ thuật toán Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán tìm kiếm

Với hàm mục tiêu (5) và điều kiện ràng buộc (6), ta sử dụng thuật toán tối ưu như GA [11] để xác định thời gian di chuyển tối ưu của khâu tác động cuối của robot (T_f tối ưu), từ đó xây dựng được quỹ đạo tối ưu cho khâu tác động cuối của robot.

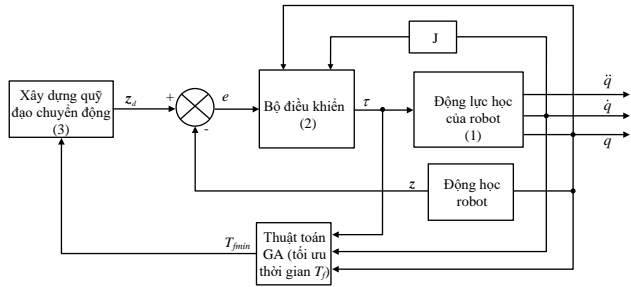
5. Mô phỏng

Sử dụng robot planar có ba bậc tự do có tham số như Bảng 1 để mô phỏng cho thuật toán GA tối ưu thời gian chuyển động của khâu tác động cuối của robot

Bảng 1. Thông số robot planar

m_1	1,5kg
m_2	1,2kg
m_3	1kg
d_1	1m
d_2	0,8m
d_3	0,6m

Sơ đồ mô tả hệ thống dùng GA để tối ưu thời gian chuyển động của tay máy như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ mô tả hệ thống sử dụng GA để tối ưu thời gian chuyển động

Sơ đồ hệ thống Hình 3 làm việc như sau: Với thời gian di chuyển của khâu tác động cuối của robot được lấy từ quần thể T_f của thuật toán GA, xây dựng được quỹ đạo chuyển động tham chiếu (3), quỹ đạo này được đưa tới bộ điều khiển (2). Vị trí và hướng thực của khâu tác động cuối được xác định dựa vào động học của robot cũng được đưa vào bộ điều khiển. Lúc này mô men tác động lên các khớp của robot được lấy từ đầu ra của bộ điều khiển để điều khiển robot, mô men này được đưa vào thuật toán GA để kiểm tra xem xét với điều kiện ràng buộc giới hạn về mô men chuyển động cho các khớp của robot. Đồng thời vị trí, vận tốc thực của các góc khớp cũng được đưa vào thuật toán GA để kiểm tra các điều kiện giới hạn chuyển động khi tối ưu thời gian di chuyển của tay máy.

Quỹ đạo của khâu tác động cuối được xây dựng như Phần 3, với điểm đầu và điểm kết cuối của chuyển động sử dụng trong mô phỏng, điểm đầu và điểm cuối chuyển động của robot planar được minh họa ở Hình 1 cho như sau:

$$x_0 = 1,7m; y_0 = 1,5m; \theta_0 = 1,0472 \text{ rad}$$

$$x_f = -1,2m; y_f = 0,78m; \theta_f = 2,6180 \text{ rad}$$

Đối với các điều kiện giới hạn trên và giới hạn dưới của các góc khớp, vận tốc khớp và mô men các khớp của robot được cho trong Bảng 2 tham khảo [12].

Bảng 2. Giới hạn của các khớp của robot

Khớp	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mục	q_1	q_2	q_3	\dot{q}_1	\dot{q}_2	\dot{q}_3	τ_1	τ_2	τ_3
max	4	3	2.7	10	10	10	25	25	25
min	-0,3	-3	-2,7	-10	-10	-10	-25	-25	-25

Sử dụng thuật toán GA, các tham số của GA như sau:

Số cá thể trong mỗi quần thể là 20;

Quá trình di truyền được thực hiện tối đa 20 thế hệ;

Quần thể của thế hệ tiếp theo sẽ có 5 cá thể tốt nhất của thế hệ trước được giữ lại;

Sai số của các hàm đánh giá là 10^{-8} ;

Sử dụng hàm lai ghép: @crossoverscattered

Tác giả mô phỏng với hai loại quỹ đạo cho khâu tác động cuối của tay máy: Quỹ đạo bậc ba và quỹ đạo bậc năm. Với mỗi loại quỹ đạo thì thời gian tối ưu di chuyển của khâu tác động cuối sẽ khác nhau, cụ thể:

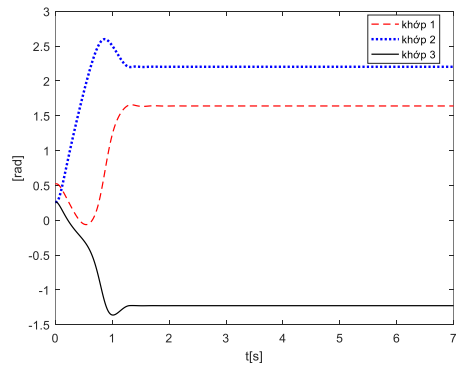
❖ Quỹ đạo chuyển động bậc 3 của khâu tác động cuối với thời gian chuyển động tối ưu $T_f = 1,290893$ s. Quỹ đạo tối ưu vị trí và hướng của khâu tác động cuối xác định được như sau:

$$x = 1,7317 - 5,2779t^2 + 2,7257t^3$$

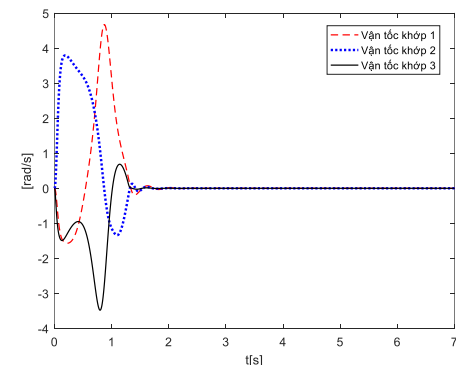
$$y = 1,5853 - 1,4498t^2 + 0,7487t^3$$

$$\theta = 1,0472 + 2,8279t^2 - 1,4604t^3$$

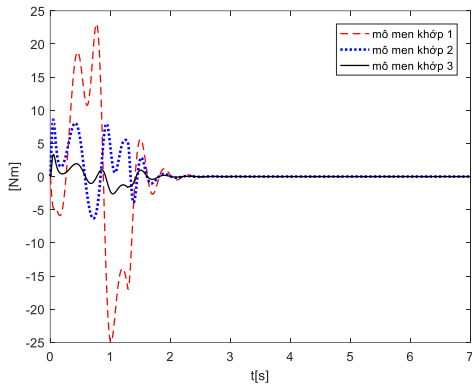
Kết quả mô phỏng thiết kế quỹ đạo bậc 3 tối ưu thời gian di chuyển của khâu tác động cuối của robot trong không gian làm việc với các giới hạn về góc khớp, vận tốc chuyển động và mô men lấy từ bộ điều khiển tác động lên các khớp của robot được thể hiện trong Hình 4 – Hình 7



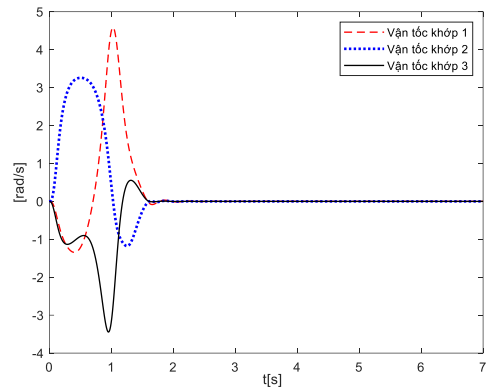
Hình 4. Quỹ đạo chuyển động của các góc khớp



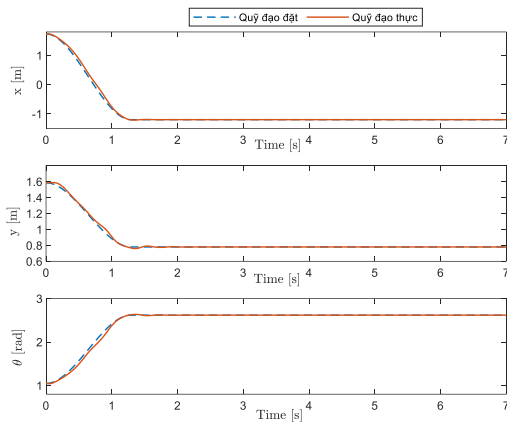
Hình 5. Vận tốc của các khớp khi quỹ đạo chuyển động là bậc ba



Hình 6. Mô men tác động lên các khớp khi quỹ đạo chuyển động là bậc ba



Hình 9. Vận tốc của các khớp khi quỹ đạo chuyển động là bậc năm



Hình 7. Quỹ đạo chuyển động bậc ba của vị trí và hướng của khâu tác động cuối

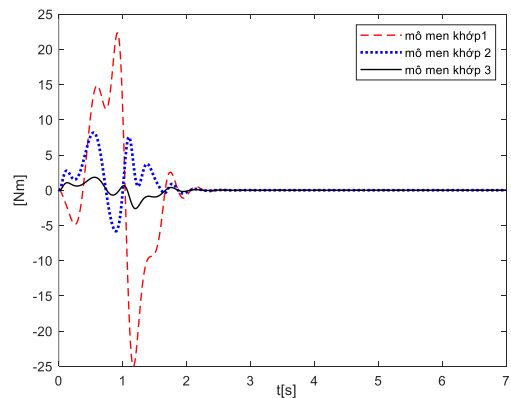
❖ Quỹ đạo chuyển động bậc 5 của khâu tác động cuối với thời gian chuyển động tối ưu $T_f = 1,610158s$. Quỹ đạo tối ưu vị trí và hướng của khâu tác động cuối xác định được như sau:

$$x = 1,7317 - 7,0229 t^3 + 6,5424 t^4 - 1,6253 t^5$$

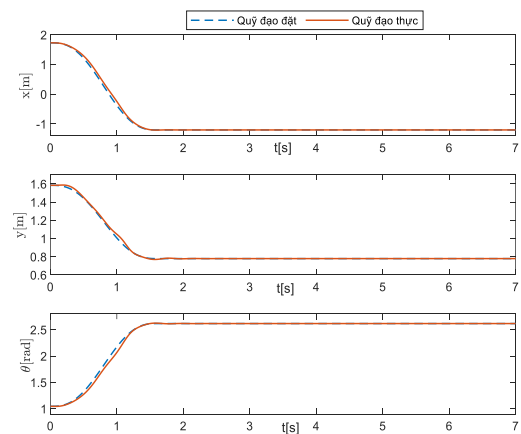
$$y = 1,5853 - 1,9291 t^3 + 1,7971 t^4 - 0,4464 t^5$$

$$\theta = 1,0472 + 3,7628t^3 - 3,5054t^4 + 0,8708t^5$$

Kết quả mô phỏng thiết kế quỹ đạo bậc 5 tối ưu thời gian di chuyển của khâu tác động cuối của robot trong không gian làm việc với các giới hạn về góc khớp, vận tốc chuyển động và mô men lấy từ bộ điều khiển tác động lên các khớp của robot được thể hiện trong Hình 8 – Hình 11.



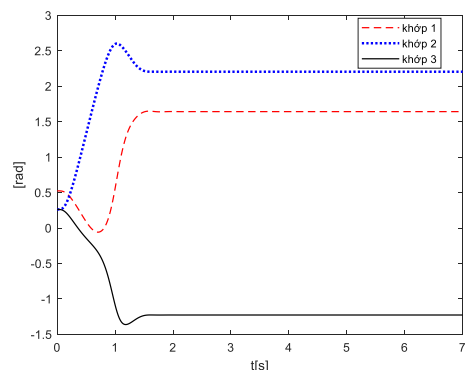
Hình 10. Mô men tác động lên các khớp khi quỹ đạo chuyển động là bậc năm



Hình 11. Quỹ đạo chuyển động bậc năm của vị trí và hướng của khâu tác động cuối

Từ đồ thị Hình 4 – Hình 11 cho thấy, tất cả các giới hạn về góc khớp, tốc độ chuyển động của góc khớp và mô men tác động lên các khớp nằm trong giới hạn cho phép. Hình 6 và Hình 10 cho thấy, mô men của khớp thứ nhất đạt giá trị giới hạn lớn nhất, thời gian chuyển động của khâu tác động cuối mà GA đưa ra là tối ưu. Kết quả cho thấy, GA hoạt động tốt, không bị mắc lỗi hội tụ sớm

Hình 7 và Hình 11 cho thấy, quỹ đạo thiết kế theo các bậc khác nhau của vị trí và hướng của khâu tác động cuối đã bám với quỹ đạo và hướng đặt. Với độ quá điều chỉnh 2,56%.



Hình 8. Quỹ đạo chuyển động bậc năm của các khớp

6. Kết luận

Vấn đề thiết kế quỹ đạo chuyển động tối ưu của robot có xem xét đưa thêm bộ điều khiển vào hệ thống đã được nghiên cứu trong bài này. Dựa trên GA, quá trình tối ưu thời gian di chuyển của khâu tác động cuối của tay máy đã được giải quyết. Lúc này, quỹ đạo tối ưu dạng đa thức của khâu tác động cuối của tay máy đã được xây dựng. Trong quá trình tối ưu, mô men tác động lên các khớp robot được lấy từ đầu ra của bộ điều khiển, vị trí và vận tốc chuyển động các khớp được lấy từ giá trị đo thực. Các giá trị mô men, vị trí và vận tốc này được đưa vào GA để kiểm tra các ràng buộc giới hạn mô men và chuyển động. Do đó, quỹ đạo thu được là tối ưu và thực tế, quỹ đạo tối ưu của tay máy đã được xây dựng được mà không vi phạm bất kỳ ràng buộc nào của bộ truyền động robot. Như vậy, bài báo đã giải quyết đồng thời hai vấn đề: Bài toán tối ưu quỹ đạo chuyển động và bám quỹ đạo. Do quỹ đạo được tối ưu độc lập với hình dạng robot, nên nó có thể được sử dụng trong việc điều khiển bất kỳ loại robot nào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Shigang Yue, Dominik Henrich, W. L. Xu and S. K. Tso, "Point-to-Point trajectory planning of flexible redundant robot manipulators using genetic algorithms", *Robotica*, vol. 20, pp. 269–280, 2002.
- [2] E. J. S. P. J. A. T. Machado, "A Ga Perspective of The Energy Requirement For Manipulators Maneuvering In A Workspace With Obstacles", *Cec 2000- Congress On Evolutionary Computation*, pp. 1110- 1116, 16-19 July 2000, Santiago, California, USA.
- [3] J. A. T. M. P. B. M. O. E.J. Solteriro Pires, "Fractional Order Dynamic In A Genetic Algorithm", *The 11th International Conference On Advanced Robotics, Colombia, Portugal*, pp. 264 - 269, June 30- July 3, 2003.
- [4] A. I. M. Bahaa Ibraheem Kazem, Ali Talib Oudah, "Motion Planning for a Robot Arm by Using Genetic Algorithm", *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 2, Number 3, pp. 131 - 136, Sep. 2008.
- [5] S. S. I. S. M. Dekan, "Optimization of Robotic Arm Trajectory Using Genetic Algorithm", *Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa, August 24-29, 2014.
- [6] J. J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control", *Pearson Education International, third Edition* 2005.
- [7] M. P. Hidalgo D, Castillo O, "An optimization method for designing type-2 fuzzy inference systems based on the footprint of uncertainty using genetic algorithms", *elsevier Expert Syst Appl*, vol. 39, Issue 4, pp. 4590-4598, March 2012.
- [8] P. D. Roy SS, "Soft computing-based expert systems to predict energy consumption and stability margin in turning gaits of six-legged robots", *elsevier Expert Syst Appl*, vol. 39, Issue 5, pp. 5460-5469, April 2012.
- [9] Köker, R, "A genetic algorithm approach to a neural-network-based inverse kinematics solution of robotic manipulators based on error minimization", *Information Sciences*, vol. 222, pp.528-543, February 2013.
- [10] G. J. Eder R, "Special genetic identification algorithm with smoothing in the frequency domain", *elsevier Adv Eng Software*, vol. 70, pp. 113-122, April 2014.
- [11] D. E. Goldberg, and Manohar P. Samtani, "Engineering optimization via genetic algorithm", *In Electronic computation*, pp. 471-482, 1986.
- [12] A. S. M. a. A. M. S. Z. S. Sun, "Trajectory planning of multiple coordinating robots using genetic algorithms", *Robotica*, vol. 14, Issue 02, pp. 227-234, March 1996.