



DOI:10.22144/ctujos.2026.039

TỐI ƯU HÓA BỘ ĐIỀU KHIỂN LQR BẰNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN CHO CON QUAY HỒI CHUYỂN BA BẬC TỰ DO

Lương Hoài Thương¹, Lê Minh Thành¹, Phạm Thanh Tùng¹ và Nguyễn Chí Ngôn^{2*}

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, Việt Nam

²Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ncngon@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 01/07/2025

Sửa bài (Revised): 07/07/2025

Duyệt đăng (Accepted): 18/12/2025

Title: Optimal LQR Controller Design Using Genetic Algorithm for a 3-DOF Gyroscope

Author: Luong Hoai Thuong¹, Le Minh Thanh¹, Pham Thanh Tung¹ and Nguyen Chi Ngon^{2*}

Affiliation(s): ¹Vinh Long University of Technology Education, Viet Nam; ²Can Tho University Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm tập trung vào việc thiết kế và thử nghiệm trên mô phỏng bộ điều khiển tối ưu cho con quay hồi chuyển của Quanser. Với mục tiêu là đảm bảo khả năng bám quỹ đạo chính xác của hệ thống, việc điều khiển hiệu quả con quay hồi chuyển là một khó khăn lớn, đặc biệt khi sử dụng bộ điều khiển LQR. Hiệu suất LQR phụ thuộc vào việc lựa chọn thủ công các ma trận trọng số Q và R , vốn phức tạp và khó tối ưu khi tham số hệ thống thay đổi. Để khắc phục điều này, phương pháp tối ưu hóa LQR bằng giải thuật di truyền đã được đề xuất. GA tự động tìm kiếm các giá trị tối ưu cho Q và R dựa trên tiêu chuẩn tích phân trị tuyệt đối sai số (IAE), nhằm đạt được hiệu suất bám quỹ đạo tốt nhất và tăng cường độ ổn định hệ thống vòng kín. Kết quả mô phỏng ban đầu với GA-LQR cho thấy hiệu suất cải thiện đáng kể: hệ thống đạt thời gian xác lập nhanh chóng là 1,72s và không có độ vọt lố. Điều này chứng tỏ GA-LQR mang lại tính ổn định cao và đáp ứng nhanh trong điều khiển con quay hồi chuyển của Quanser, trong môi trường mô phỏng.

Từ khóa: Bộ điều khiển tối ưu, con quay hồi chuyển, giải thuật di truyền, LQR, quanser, theo dõi quỹ đạo

ABSTRACT

This research centers on designing and testing an optimal controller for the Quanser gyroscope through simulations. The main goal is to ensure the system can precisely track trajectories. Controlling a gyroscope effectively, particularly with an LQR controller, is quite challenging. The LQR's performance heavily relies on manually selecting weighting matrices Q and R . This process is complex and tough to optimize, especially when system parameters shift. To tackle this, the study introduces a method to optimize LQR using a Genetic Algorithm. The GA will automatically find the best Q and R values based on the Integral Absolute Error (IAE) criterion. The aim here is to achieve top-notch trajectory tracking and boost the closed-loop system's stability. Early simulation results using GA-LQR show marked performance improvements: the system recorded a quick settling time of 1.72s and zero overshoot. These findings prove that GA-LQR delivers high stability and a rapid response when controlling the Quanser gyroscope in a simulated setting.

Keywords: Genetic algorithm, gyroscope, LQR, optimal control, quanser, trajectory tracking

1. GIỚI THIỆU

Sự cần thiết của việc tối ưu hóa các hệ thống điều khiển trong công nghiệp và nghiên cứu đã là một thách thức lớn trong nhiều thập kỷ (Chen et al., 2022). Để đáp ứng yêu cầu này, nhiều loại thiết bị và cơ cấu đã được phát triển, trong đó con quay hồi chuyển đóng vai trò thiết yếu. Đặc trưng bởi khả năng duy trì định hướng và ổn định trong không gian, con quay hồi chuyển trở nên phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong các hoạt động đòi hỏi độ chính xác cao (Wang & Li, 2021). Cấu trúc động lực học phức tạp của chúng, đặc biệt là trong bối cảnh điều khiển tối ưu, vẫn đang là lĩnh vực nghiên cứu chuyên sâu.

Lịch sử phát triển các cơ cấu tương tự con quay hồi chuyển có thể bắt nguồn từ những hệ thống ban đầu, nhưng các nghiên cứu gần đây khi được tiến hành đã tập trung vào việc nâng cao hiệu suất và ứng dụng của chúng (Zhang et al., 2023). Trong bối cảnh này, các kiến trúc điều khiển liên quan đã được thực hiện. Các hệ thống ổn định tiên tiến, các nền tảng đa trục đã được sử dụng để đảm bảo sự ổn định và độ chính xác trong các môi trường khác nhau, đang được phát triển mạnh mẽ (Kim & Park, 2020). Đến nay, các nghiên cứu chuyên sâu về động lực học và điều khiển của các hệ thống phức tạp, bao gồm cả các cơ cấu con quay hồi chuyển, đã có những bước tiến vượt bậc (Liu et al., 2024). Ngày nay, các hệ thống như con quay hồi chuyển đã trở thành công cụ không thể thiếu trong giáo dục và nghiên cứu, cung cấp nền tảng thực nghiệm chính xác để khám phá các nguyên lý điều khiển nâng cao và ứng dụng trong các lĩnh vực mới (Nguyen & Le, 2021).

Trong nghiên cứu này, nhóm tập trung vào hai mục tiêu chính: thiết kế các bộ điều khiển tối ưu cho hệ thống con quay hồi chuyển và mô phỏng quá trình điều khiển góc quay của con quay đề bám theo quỹ đạo tham chiếu một cách chính xác. Có nhiều phương pháp thiết kế bộ điều khiển khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu và ứng dụng cụ thể. Trong đó, bộ điều khiển LQR là một lựa chọn nổi bật để điều khiển bám quỹ đạo cho con quay hồi chuyển, nhờ vào khả năng tối ưu hóa hiệu suất và cân bằng giữa sai số bám quỹ đạo với năng lượng điều khiển (Rahmani & Redkar, 2023).

Tuy nhiên, hiệu suất của LQR phụ thuộc đáng kể vào việc lựa chọn thủ công các ma trận trọng số Q và R. Các tham số của hệ thống như mô-men quán tính, ma sát hay lực quán tính có thể thay đổi, ảnh hưởng đến hoạt động của toàn bộ hệ thống vòng kín, khiến quá trình lựa chọn thủ công trở nên phức tạp

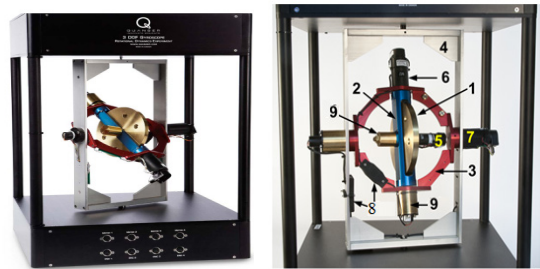
và khó đạt được tối ưu. Để giải quyết hạn chế này, việc phân tích, so sánh và đánh giá giải thuật điều khiển tự chỉnh GA-LQR với bộ điều khiển LQR kinh điển đã được thực hiện và trình bày trong nghiên cứu.

Mục tiêu là sử dụng giải thuật di truyền để tự động tìm kiếm các giá trị tối ưu cho các phần tử trong ma trận Q và R xung quanh các giá trị khuyến nghị của Quanser, nhằm đạt được hiệu suất tốt hơn cho hệ thống vòng kín. Việc đánh giá hiệu suất được thực hiện dựa trên tiêu chuẩn tích phân trị tuyệt đối sai số (IAE). Sau đó, kết quả của bộ điều khiển GA-LQR được so sánh với bộ điều khiển LQR kinh điển sử dụng các giá trị Q và R mặc định của Quanser (Quanser, 2013, 2025). Các phương pháp nghiên cứu được triển khai bằng phần mềm MATLAB/SIMULINK, tập trung vào điều khiển các góc quay.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan con quay hồi chuyển

Con quay hồi chuyển Quanser 3 bậc tự do gồm một đĩa được gắn bên trong một khớp màu xanh, khớp này lại được gắn bên trong một khớp bên ngoài màu đỏ. Hai khớp này được đặt bên trong một khung hình chữ nhật vững chắc có thể xoay tự do, mang lại cho nó 3 bậc tự do. Mô hình có 4 động cơ DC và bộ mã hóa, để truyền động cho trục quay của đĩa và các khớp, các bộ mã hóa này có độ phân giải cao nhằm để đo vị trí của tất cả các khớp chính xác Quanser (Quanser, 2013, 2025).



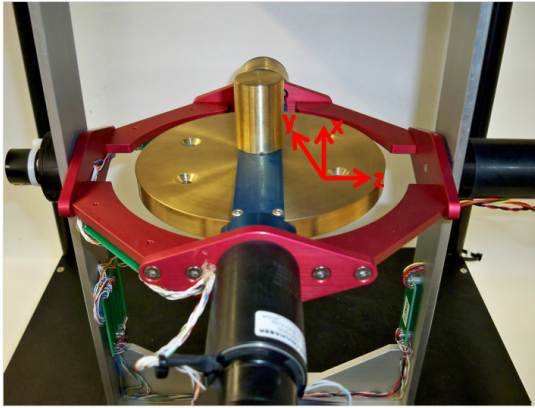
Hình 1. Mô hình con quay hồi chuyển

Bảng 1. Các thành phần của con quay hồi chuyển

STT	TÊN GỌI
1	Đĩa /Rotor
2	Khớp màu xanh
3	Khớp màu đỏ
4	Khớp màu xám
5	Động cơ, encoder cho đĩa
6	Động cơ, encoder cho khớp màu xanh
7	Động cơ, encoder cho khớp màu đỏ
8	Mạch điều khiển động cơ và mã hóa
9	Đối trọng khối lượng

2.2. Mô hình hóa con quay hồi chuyển

Trong nghiên cứu này, hiệu ứng con quay hồi chuyển đã được ứng dụng để điều khiển góc của gimbal đỡ bằng cách tác động lệnh điều khiển lên gimbal xanh. Khung chữ nhật bên ngoài màu xám được cố định. Để hiệu ứng con quay hồi chuyển có thể phát huy tác dụng, rotor của hệ thống phải đạt được mô men động lượng đủ lớn theo yêu cầu kỹ thuật từ Quanser (Quanser, 2013, 2025). Do đó, hệ thống yêu cầu hai bộ điều khiển: một để điều khiển tốc độ góc của đĩa và một để điều khiển góc của khớp đỡ.



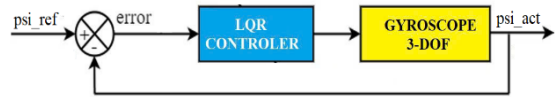
Hình 2. Hệ trục tọa độ con quay hồi chuyển

Phương trình chuyển động, biểu diễn tốc độ góc của khớp đỡ (ψ) và khớp xanh (θ) (Quanser, 2013, 2025) là:

$$\begin{cases} J_y \ddot{\theta} + h\dot{\psi} = \tau_y \\ J_z \ddot{\psi} - h\dot{\theta} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

2.3. Xây dựng bộ điều khiển LQR

LQR là một thuật toán điều khiển tối ưu, được dùng để tìm vị trí cực tối ưu của hệ thống. Quá trình thiết kế LQR đòi hỏi phải xác định chỉ số hiệu suất tối ưu và giải phương trình Riccati đại số để có được độ lợi điều khiển tốt nhất. Cụ thể, mục tiêu của LQR là thiết kế một bộ điều khiển phản hồi trạng thái K sao cho chỉ số hiệu suất J được giảm thiểu. Trong phương pháp này, ma trận độ lợi phản hồi K được thiết kế để tối thiểu hóa hàm mục tiêu, nhằm đạt được sự thỏa hiệp giữa việc sử dụng nỗ lực điều khiển, tầm quan trọng của các trạng thái và tốc độ phản hồi, từ đó đảm bảo một hệ thống ổn định (Nise, 2020; Shetty & Kolk, 2017). Người thiết kế chọn giá trị Q và R chính xác để tìm ma trận độ lợi K hoàn hảo bằng cách sử dụng MATLAB. Cấu trúc của bộ điều khiển LQR được thể hiện trong Hình 3 dưới đây.



Hình 3. Sơ đồ bộ điều khiển LQR

Trong đó: ψ_{ref} là tín hiệu điều khiển, ψ_{act} là ngõ ra thực tế của hệ thống.

Đối với hệ con quay hồi chuyển, mô hình không gian trạng thái được sử dụng trong nghiên cứu này, cùng với việc xác định các ma trận trọng số Q và R cho thiết kế LQR, đều dựa trên tài liệu kỹ thuật của Quanser (Quanser, 2013, 2025). Cụ thể, các phương trình không gian trạng thái có dạng:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx + Du \quad (2)$$

Với luật điều khiển LQR được xác định bởi:

$$u = -Kx \quad (3)$$

Các ma trận hệ thống và ma trận trọng số được cho như sau (Quanser, 2013, 2025):

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -109,9557 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 19,7230 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 250 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = [0 \ 1 \ 0 \ 0], \quad D = [0] \quad (4)$$

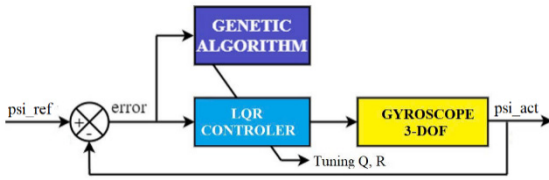
$$Q = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,01 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0001 \end{bmatrix}, \quad R = [5]$$

Ma trận độ lợi phản hồi K thu được bằng cách giải phương trình Riccati đại số thông qua hàm LQR trong MATLAB là: $K = [0,65 \ 1,79 \ 0,12 \ 0,0045]$.

2.4. Xây dựng bộ điều khiển tự điều chỉnh GA-LQR

2.4.1. Thiết kế bộ điều khiển GA-LQR

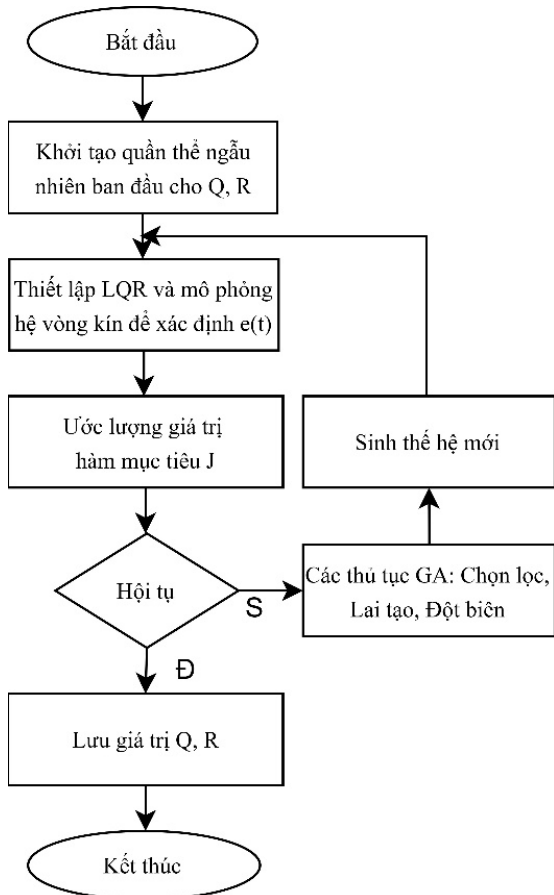
Giải thuật di truyền được áp dụng để xác định các tham số tối ưu cho ma trận trọng số Q và R của bộ điều khiển LQR. GA tự động tìm kiếm các giá trị cho Q và R trong một không gian tìm kiếm rộng lớn, không phụ thuộc vào bất kỳ phương pháp kinh nghiệm nào khác. Nhiệm vụ của giải thuật GA là chọn lọc bộ các thông số tối ưu cho ma trận trọng số Q và R của bộ điều khiển LQR, sao cho thỏa mãn hàm mục tiêu IAE (Integral of Absolute Error), như (5) được trình bày trong sơ đồ Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ bộ điều khiển GA-LQR

2.4.2. Lưu đồ giải thuật của GA

Giải thuật GA được hỗ trợ bởi phần mềm MATLAB và được trình bày chi tiết trong 5 tài liệu tham khảo (MathWorks, 2026a, 2026b; Ngôn, 2008; Nise, 2020; Thành và ctv., 2017; Thanh et al., 2022). Bài báo này không nhằm mục tiêu trình bày về giải thuật di truyền. Nó chỉ được sử dụng như một công cụ để giải bài toán tối ưu, nhằm tìm được các giá trị Q_{opt} , R_{opt} được trình bày với lưu đồ giải thuật Hình 5.



Hình 5. Lưu đồ tiến trình giải thuật di truyền để xác định thông số bộ điều khiển LQR

Giải thuật di truyền được xác định bởi (5), (6) tiến hành tối ưu hóa dựa theo hàm mục tiêu tham khảo trong (Ahmmed et al., 2020; Alouache & Wu,

2018; Flores-Morán et al., 2018; Meena & Devanshu, 2017; Sharma et al., 2014; Yusuf & Magaji, 2014):

$$IAE : J = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5)$$

trong đó $e(t) = psi_ref - psi_act$

Giải thuật GA được áp dụng để tìm kiếm các giá trị Q_{opt} , R_{opt} tối ưu của bộ điều khiển LQR, mà ở đó các hàm J đạt giá trị cực tiểu. Vì vậy hàm mục tiêu của giải thuật GA là:

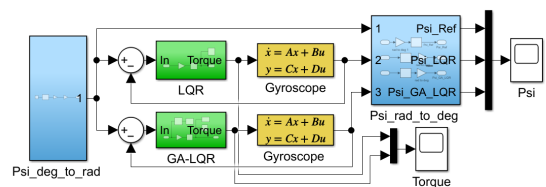
$$Fitniss = \min \{J\} \quad (6)$$

Nhằm giới hạn không gian tìm kiếm của giải thuật GA, chúng tôi giả thiết các giá trị tối ưu Q_{opt} , R_{opt} nằm trong một khoảng nhất định xung quanh các giá trị mặc định hoặc khuyến nghị của Quanser ($Q_{quanser}$, $R_{quanser}$). Khoảng tìm kiếm này được định nghĩa bởi các giới hạn dưới lb và giới hạn trên ub . Việc xác định các biên này là cần thiết để giới hạn không gian tìm kiếm, bởi việc tìm kiếm trong một không gian không giới hạn đòi hỏi thời gian tính toán rất lớn và không hiệu quả. Điều này cũng giúp đảm bảo hiệu quả tính toán và khả năng hội tụ của giải thuật. Các biên này được xác định dựa trên các giá trị ban đầu tham khảo từ Quanser, với biên dưới bằng 0,01 lần và biên trên bằng 100 lần giá trị ban đầu tương ứng.

$$\begin{cases} 0.01 \times Q_{quanser} \leq Q_{opt} \leq 100 \times Q_{quanser} \\ 0.01 \times R_{quanser} \leq R_{opt} \leq 100 \times R_{quanser} \end{cases} \quad (7)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong bài báo này, việc kiểm chứng được tiến hành trên 3 quỹ đạo khác nhau để đánh giá tính ổn định của hai bộ điều khiển được trình bày trong sơ đồ Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ bộ điều khiển LQR, GA-LQR

Sơ đồ Hình 6 gồm hai bộ điều khiển: bộ điều khiển LQR với các thông số mặc định được tham khảo từ Quanser (Quanser, 2013, 2025) và bộ điều khiển GA-LQR do nhóm tác giả đã xây dựng. Mục đích là để so sánh và đánh giá chất lượng của hai bộ

điều khiển này trên cùng một mô hình con quay hồi chuyển.

3.1. Đối tượng điều khiển

Đối tượng điều khiển là con quay hồi chuyển Quanser với các thông số như trong Bảng 2 (Quanser, 2013, 2025).

Bảng 2. Các thông số của con quay hồi chuyển

Ký hiệu	Giá trị	Ý nghĩa
J_y	0,0039 Kg.m ²	Mô men quán tính trục y
J_z	0,0223 Kg.m ²	Mô men quán tính trục z
h	0,44 Kg.m ² /s	Mô men quán tính rotor

Các tham số của giải thuật di truyền được thể hiện qua Bảng 3

Bảng 3. Các tham số giải thuật duy truyền

Số cá thể trong quần thể	50
Số nhiệm sắc thể trong cá thể	5
Số gen trong nhiệm sắc thể	10
Xác suất đột biến	0,01 – 0,1
Xác suất lai ghép	0,1 – 0,9
Số thế hệ tối đa	100
Biên dưới lb	[0,01 1 0,01 0,01 1]
Biên trên ub	[3 30 1 1 10]

Các tham số cấu hình giải thuật quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và tốc độ tối ưu hóa. Trong nghiên cứu này, các giá trị này được lựa chọn thông qua một quá trình thử nghiệm và tinh chỉnh lặp đi lặp lại dựa trên nhiều lần mô phỏng sơ bộ để tối ưu hóa kết quả.

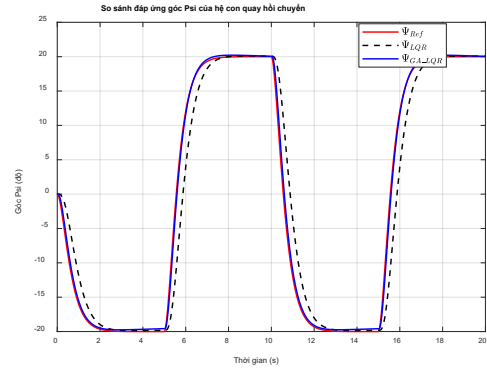
3.2. Kết quả mô phỏng

Để đánh giá toàn diện hiệu suất bám quỹ đạo của bộ điều khiển, ba dạng tín hiệu tham chiếu chính đã được sử dụng.

Tín hiệu sóng vuông: Quỹ đạo tham chiếu là một tín hiệu sóng vuông với biên độ 20 và tần số 0,1 Hz, được mô tả bởi phương trình:

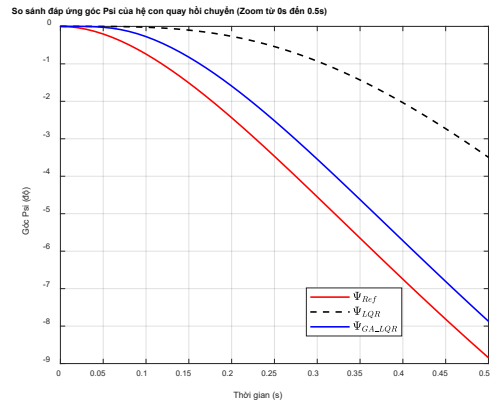
$$z(t) = 20 \cdot \text{square}(0.2\pi t) \quad (8)$$

Kết quả chạy mô phỏng bộ điều khiển LQR với bộ điều khiển GA-LQR được trình bày từ Hình 7 đến Hình 9.



Hình 7. Đáp ứng góc psi của LQR, GA-LQR

Đáp ứng của LQR và GA-LQR đều cho thấy khả năng bám quỹ đạo tốt với sai số nhỏ. Tuy nhiên, GA-LQR thể hiện hiệu suất vượt trội rõ rệt trong các giai đoạn quá độ (5 s, 10 s, 15 s), đáp ứng nhanh và chính xác hơn đáng kể. Sự cải thiện này chứng tỏ quá trình tối ưu hóa bằng giải thuật di truyền đã tăng cường động lực học, giúp giảm thời gian xác lập.



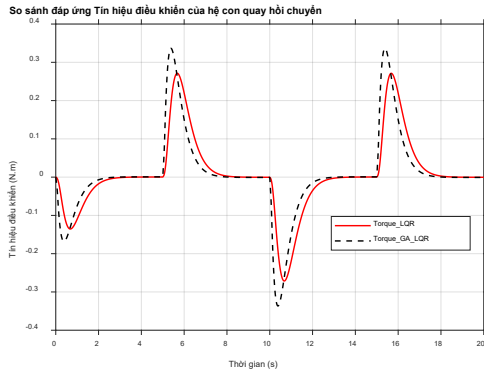
Hình 8. Đáp ứng góc psi của LQR, GA-LQR trong khoảng thời gian 0s đến 0,5s

Trong 0,5 giây đầu, LQR có sự chậm trễ rõ rệt và bám sát kém hơn. Điều này khẳng định hiệu suất nhất quán của GA-LQR ở mọi pha chuyển tiếp, kể cả giai đoạn khởi đầu.

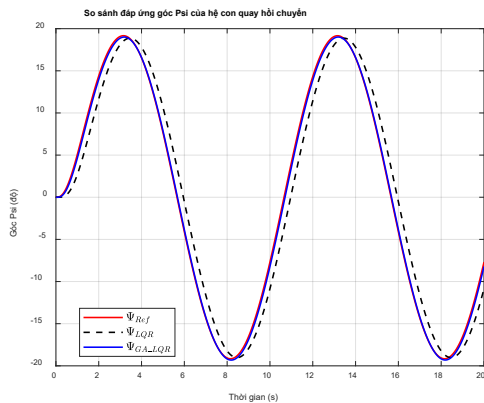
Hình 9 cho thấy tín hiệu điều khiển GA-LQR có cường độ lớn hơn và thời gian tác động ngắn hơn LQR. Điều này minh chứng cho khả năng bám quỹ đạo nhanh và chính xác vượt trội của GA-LQR, nhờ quá trình tối ưu hóa bằng giải thuật di truyền.

Tín hiệu sóng sin: Quỹ đạo tham chiếu là một tín hiệu sóng sin với biên độ 20 và tần số 0,1 Hz, được mô tả bởi phương trình:

$$z(t) = 20 \cdot \text{sine}(0.2\pi t) \quad (9)$$



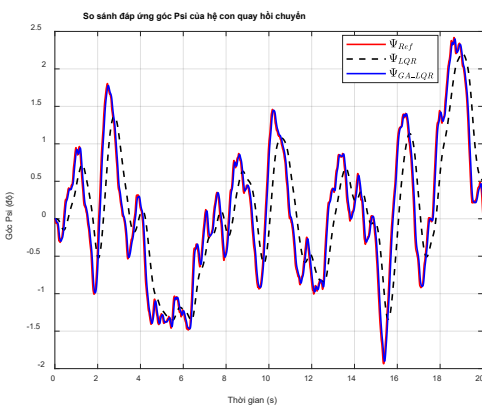
Hình 9. Đáp ứng điều khiển của LQR, GA-LQR



Hình 10. Đáp ứng góc psi của LQR, GA-LQR

Đối với tín hiệu sóng sin, cả LQR và GA-LQR đều bám quỹ đạo rất tốt. Tuy nhiên, GA-LQR vẫn cho thấy khả năng bám chính xác và trễ pha ít hơn, tiếp tục khẳng định hiệu suất vượt trội.

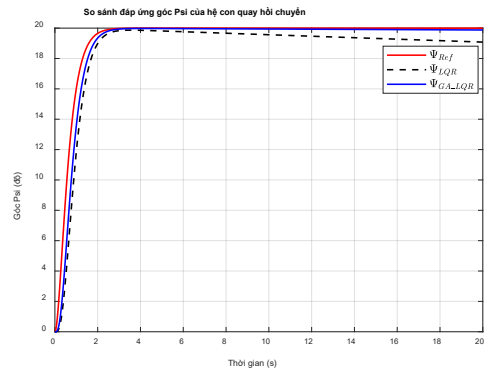
Sau cùng là quỹ đạo tham chiếu là một tín hiệu ngẫu nhiên với biên độ 20 và tần số thay đổi 0,1 Hz, được mô tả bởi phương trình: $z(t) = 20 \cdot R(t)$ (10)



Hình 11. Đáp ứng góc psi của LQR, GA-LQR

Đối với tín hiệu ngẫu nhiên, GA-LQR thể hiện khả năng bám quỹ đạo vượt trội so với LQR, theo sát các biến động phức tạp của quỹ đạo tham chiếu một cách hiệu quả hơn.

Nhằm định lượng và minh họa rõ ràng hơn các chỉ tiêu chất lượng của đáp ứng quá độ, đặc biệt là độ vọt lố và thời gian xác lập, đáp ứng bước của hệ thống khi sử dụng LQR và GA-LQR được trình bày trong Hình 12. Các chỉ tiêu này được tổng hợp chi tiết trong Bảng 4



Hình 12. Đáp ứng bước của LQR, GA-LQR

Bảng 4. So sánh các chỉ tiêu chất lượng hệ thống

Tiêu chuẩn chất lượng (psi)	LQR	GA-LQR
Vọt lố (%)	0	0
Thời gian xác lập (s)	2,0	1,72
Sai số xác lập (độ)	0,92	0,11

Sau quá trình tối ưu hóa bộ điều khiển LQR bằng giải thuật GA với 50 thế hệ, bộ điều khiển thu được đã được áp dụng cho mô hình hệ thống điều khiển như Hình 6. Để đảm bảo ý nghĩa của sự so sánh, bộ điều khiển LQR kinh điển được sử dụng với các thông số Q, R chuẩn từ nhà sản xuất Quanser và không thay đổi các giá trị này. Kết quả từ Bảng 4 cho thấy đáp ứng của hệ thống khi sử dụng bộ điều khiển LQR được tối ưu bằng GA vượt trội hơn so với bộ điều khiển LQR kinh điển, với thời gian xác lập là 1,72s và không có độ vọt lố.

Trong trường hợp các tham số của đối tượng thay đổi thì thông số LQR vừa tìm được từ GA không còn tối ưu và cần phải chạy lại giải thuật GA để tìm bộ thông số mới phù hợp.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, một phương pháp tìm kiếm giá trị tối ưu của bộ điều khiển LQR bằng giải thuật GA đã được trình bày, thỏa mãn hàm mục tiêu IAE. Ưu điểm lớn của phương pháp này là khả năng thiết kế bộ điều khiển tối ưu mà không cần quan tâm đến mô hình toán của đối tượng điều khiển, bởi lẽ các

giải thuật GA chỉ dựa trên các tín hiệu vào ra đo đạc được từ hệ thống. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là đòi hỏi phải chạy rất nhiều vòng lặp để xác định giá trị hàm mục tiêu trong quá trình áp dụng giải thuật GA, điều không phải lúc nào cũng khả thi trong thực tế. Để ứng dụng trong thực tế, việc trang bị thêm các thiết bị đo tín hiệu là cần thiết, giúp cho việc thiết kế bộ điều khiển thời gian thực trở nên khả thi.

Tiếp nối những nghiên cứu này, giai đoạn hiện tại của nhóm tập trung vào việc nghiên cứu và mô phỏng để tối ưu hóa bộ điều khiển LQR cho con quay hồi chuyển, sử dụng giải thuật GA làm công cụ cải thiện. Mọi phân tích và thử nghiệm đang được thực hiện trên mô hình được xây dựng dựa trên

thông số từ phần cứng Quanser. Dự kiến, sau khi giai đoạn mô phỏng được thực hiện hoàn tất và tối ưu, các giải thuật điều khiển LQR được cải thiện bằng GA này sẽ được thực nghiệm trên phần cứng thực tế của Quanser để kiểm chứng hiệu quả.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu chúng tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Phòng Thí nghiệm Điều khiển Thông minh tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long. Phòng đã tài trợ và tạo điều kiện thuận lợi nhất để chúng tôi tiếp cận, sử dụng thiết bị Quanser hiện đại thuộc dự án ADB. Sự hỗ trợ quý báu này là yếu tố then chốt giúp chúng tôi triển khai thành công nghiên cứu, kiểm chứng các nguyên lý điều khiển nâng cao và ứng dụng vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahmed, T., Akhter, I., Karim, S. M. R., & Ahamed, F. A. S. (2020). Genetic Algorithm Based PID Parameter Optimization. *American Journal of Intelligent Systems*, 10(1), 8-13. <https://doi.org/10.5923/j.ajis.20201001.02>
- Alouache, A., & Wu, Q. (2018). Genetic Algorithms for Trajectory Tracking of Mobile Robot Based on PID Controller. *IEEE 14th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*.
- Chen, H., Wang, J., Li, Y., & Zhang, W. (2022). Deep Reinforcement Learning for Optimal Control of Complex Industrial Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(5), 3245-3255.
- Flores-Morán, E., Yáñez-Pazmiño, W., & Barzola-Monteses, J. (2018). Genetic algorithm and fuzzy self-tuning PID for DC motor position controllers. *International Carpathian Control Conference (ICCC)*.
- Kim, J., & Park, S. (2020). Development of a Novel Six-Degree-of-Freedom Platform for High-Precision Stabilization. *Mechanism and Machine Theory*, 154, 104037.
- Liu, B., Sun, J., Zhang, X., & Li, G. (2024). Optimal Control of Flexible Gyroscopic Systems Using Model Predictive Control. *Automatica*, 161, 111440.
- MathWorks. (2026a). How can I tune PID controller using Genetic Algorithm? https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/53760-how-can-i-tune-pid-controller-using-genetic-algorithm?s_tid=srchtitle
- MathWorks. (2026b). Optimization with MATLAB and the Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/6232-optimization-with-matlab-and-the-genetic-algorithm-and-direct-search-toolbox>
- Meena, D. C., & Devanshu, A. (2017). Genetic algorithm tuned PID controller for process control. *International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*.
- Ngôn, N. C. (2008). Tối ưu hóa bộ điều khiển PID bằng giải thuật di truyền. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 9, 241-248.
- Nguyen, T., & Le, H. (2021). Experimental Studies on Gyroscope-Based Control Systems for Educational Robotics. *International Journal of Robotics and Automation*, 6(2), 88-95.
- Nise, N. S. (2020). *Control Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Quanser, I. (2013). *3 DOF Gyroscope Laboratory Guide*. <https://drive.google.com/file/d/1MCUhjErsnKfTtdauCuCtOHFFwBT01kg9/view?usp=sharing>
- Quanser, I. (2025). *3-DOF Gyroscope*. <https://www.quanser.com/products/3-dof-gyroscope/>
- Rahmani, M., & Redkar, S. (2023). Optimal control of a MEMS gyroscope based on the Koopman theory. *International Journal of Dynamics and Control*, 11(2), 2256-2264. <https://doi.org/10.1007/s40435-022-01110-4>
- Sharma, R., Rana, K. P. S., & Kumar, V. (2014). Statistical analysis of GA based PID controller optimization for robotic manipulator. *International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)*.
- Shetty, D., & Kolk, R. A. (2017). *Mechatronics System Design*. Cengage Learning.
- Thành, L. M., Ngôn, N. C., Thương, L. H., & Thành, P. C. (2017). Điều khiển bám quỹ đạo delta robot

- ba bậc tự do sử dụng thuật toán fuzzy-pid. *Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 4 về Điều khiển và Tự động hóa*, Hồ Chí Minh.
- Thanh, L. M., Ngon, N. C., Thuong, L. H., Tung, P. T., & Thanh, P. C. (2022). Performance Evaluation Of Fuzzy-Pid And Ga-Pid Controllers On A 3-Dof Delta Robot Tracking Control. *2022 International Conference on Control, Robotics and Informatics (ICCRI 2022)*.
- Wang, L., & Li, Q. (2021). Advanced Applications of Gyroscopes in High-Precision Navigation and Robotics. *Sensors*, *21*(10), 3450.
- Yusuf, L. A., & Magaji, N. (2014). GA-PID controller for position control of inverted pendulum. *International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST)*.
- Zhang, Y., Liu, J., Wang, H., & Chen, Z. (2023). Recent Advances in Control Strategies for Gyroscopic Systems: A Comprehensive Review. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, *107*(1), 1-25.