

ĐIỀU KHIỂN MÔ HÌNH THỰC TẾ XE ĐẠP TỰ THĂNG BẰNG SỬ DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN TỐI ƯU BỘ ĐIỀU KHIỂN LQR

CONTROLLING REAL SELF-BALANCING BICYCLE MODEL USING GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMIZING LQR CONTROLLER

Trần Hoàng Chinh, Huỳnh Xuân Dũng, Lê Thị Thanh Hoàng,
Nguyễn Minh Tâm, Nguyễn Văn Đông Hải
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 15/5/2019, ngày phản biện đánh giá 10/6/2019, ngày chấp nhận đăng 30/7/2019

TÓM TẮT

Xe đạp, xe máy là những phương tiện giao thông rất khó để giữ thăng bằng với những người mới bắt đầu. Người điều khiển phải cho xe di chuyển liên tục (điều khiển vận tốc xe) nhằm giữ xe thăng bằng. Với sự phát triển của kỹ thuật điều khiển tự động, việc điều khiển thăng bằng xe đạp, xe máy ngay khi xe đứng yên đã được thực hiện hóa. Trong bài báo này, nhóm tác giả lựa chọn đối tượng là mô hình xe đạp tự thăng bằng được điều khiển bởi một bánh đà. Từ đó, các kết quả nghiên cứu về giải thuật di truyền (Genetic Algorithm-GA) nhằm tối ưu hóa bộ điều khiển LQR truyền thống được công bố. Bộ điều khiển (BĐK) LQR hay còn gọi là bộ điều khiển tối ưu có khả năng điều khiển giữ thăng bằng tốt cho các đối tượng phi tuyến (con lắc ngược quay, hệ bóng thanh...) với sự hỗ trợ của GA nhằm chỉnh định ma trận trọng số Q trong việc giải phương trình Riccati, tạo thành BĐK LQR-GA đã tối ưu hóa BĐK LQR truyền thống. Hệ thống đã được rút ngắn thời gian xác lập. BĐK LQR-GA cho khả năng và độ tin cậy cao trong việc ứng dụng thực tế cho các hệ thống xe tự lái, xe đạp thăng bằng cho trẻ tập lái, phương tiện giao thông tương lai. Việc sử dụng giải thuật LQR-GA cho hệ thống trên được chứng minh tối ưu hơn qua từng thế hệ ở cả mô phỏng (Matlab/Simulink) và mô hình thực tế.

Từ khóa: xe đạp; xe máy; điều khiển thăng bằng; bộ điều khiển (BĐK) LQR; giải thuật di truyền; BĐK LQR-GA.

ABSTRACT

It is difficult to control balance vehicles such as bikes or motorbikes when you are a beginner. In order to control balance for the above a vehicle, a human must hold vehicles move a variable step, or know as control velocity. Nowadays, automatic engineering is advanced more and more, engineers can control balance bikes or motorbikes when they are not moving. In this paper, the authors choose a model which is a self-balancing bike controlled by a wheel. Then, the research results about GA application for optimizing Linear Quadratic Algorithm (LQR) are published. LQR Controller can control balance for bikes or motorbikes. However, in order to get high quality, the authors suggest optimizing traditional LQR controller. Authors use GA to search Q , with Q is searched, Riccati equation is optimized. LQR-GA controller can apply into self-driving vehicles, self-balancing bicycle for training children and future vehicles. Results of LQR-GA are verified better through generations on Matlab/Simulink simulation and real model.

Keywords: bikes; motorbikes; control balance; LQR controller; genetic algorithm; LQR-GA controller.

1. GIỚI THIỆU

Xã hội đang ngày càng phát triển kèm theo nhu cầu đi lại của con người ngày càng

gia tăng. Đối với các quốc gia chưa có nền kinh tế cao, phương tiện sử dụng lưu thông cá nhân đa phần là xe đạp, xe máy. Đây là những phương tiện có giá thành thấp so với phương

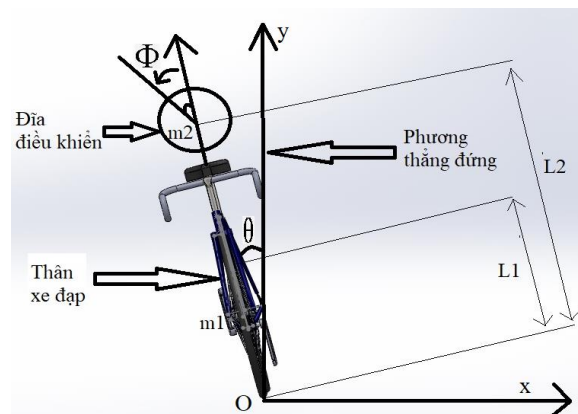
tiện cao cấp như xe hơi... Các phương tiện giao thông hai bánh với ưu điểm giá thành vừa phải, dễ dàng sử dụng, tuy nhiên mật độ lưu thông dày đặc tiềm ẩn nhiều rủi ro khó tránh khỏi. Xe đạp, xe máy là những phương tiện vốn dĩ đã không tự thăng bằng được, song với một sự va chạm nhẹ cũng đủ làm xe có thể ngã ngay lập tức. Nhóm tác giả với mong muốn áp dụng kỹ thuật điều khiển nhằm điều khiển xe đạp, xe máy có thể tự thăng bằng được và chống lại được những tác động, duy trì được trạng thái ổn định khi có sự cố. Qua đó, nhằm đóng góp các nghiên cứu khoa học vào thực tế trong tương lai gần. Ở nước ta, những nghiên cứu về xe đạp tự thăng bằng đã có, song có rất ít những nghiên cứu và bài báo khoa học. Trên trường quốc tế, việc phát triển xe đạp hay mô tô tự thăng bằng đang được phát triển mạnh mẽ, điển hình là các hãng sản xuất mô tô như Honda, Suzuki, Yamaha, ... với rất nhiều giải thuật được nghiên cứu và ứng dụng. Việc nghiên cứu giải pháp điều khiển thăng bằng cho xe đạp là cần thiết cho những ứng dụng như chế tạo xe đạp tự thăng bằng cho trẻ em tập lái, chế tạo robot đạp xe tự thăng bằng và di chuyển. Ngoài ra, giải pháp điều khiển thăng bằng cho xe đạp cũng có thể áp dụng lên xe máy, mô tô, từ đó có thể hỗ trợ người điều khiển giữ được thăng bằng tay lái khi có va chạm không mong muốn trong quá trình điều khiển phương tiện. Để giữ thăng bằng cho xe đạp hay xe máy, một số tác giả đã sử dụng nguyên lý con quay hồi chuyển [1-4]. Một số các nhà nghiên cứu khác sử dụng bánh đà để điều khiển với giải thuật PID [5]. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng bánh đà (hay đĩa tròn) để điều khiển thăng bằng cho mô hình xe đạp – nghĩa là giữ cho mô hình xe không bị ngã về hai phía ngay cả khi xe đang đứng yên bằng cách kết hợp giải thuật di truyền (Genetic algorithm-GA) tối ưu hóa giải thuật LQR (LQR-GA). GA được ứng dụng trong bài báo này nhằm nâng cao chất lượng cho BDK LQR. GA với ưu điểm cho các kết quả tốt dần lên thông qua các thế hệ di truyền sẽ là một giải pháp hữu hiệu để tối ưu hóa các thông số của các bộ điều khiển truyền thống trước đây. Các kết quả từ việc áp dụng LQR-GA đã được thử

thử nghiệm trên các đối tượng phi tuyến như con lắc ngược xe [6, 7].

2. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ XE ĐẠP TỰ THĂNG BẰNG SỬ DỤNG ĐĨA TRÒN ĐIỀU KHIỂN

Xe đạp tự thăng bằng sử dụng đĩa tròn điều khiển gồm một đĩa tròn được gắn vào trục một động cơ, động cơ được gắn liền với thân xe sao cho mặt đĩa tròn vuông góc với mặt phẳng chứa 2 bánh xe như hình 1-2. Để giữ thăng bằng cho xe thì đĩa tròn được điều khiển bởi động cơ phải xoay với lực moment, tốc độ hợp lý.

Ta có cấu trúc của mô hình “xe đạp tự thăng bằng sử dụng đĩa tròn điều khiển” như hình 1.



Hình 1. Cấu trúc của mô hình xe đạp tự thăng bằng sử dụng đĩa tròn điều khiển

Thông số của hệ thống được thể hiện ở bảng 1 bên dưới.

Bảng 1. Thông số hệ thống

Ký hiệu	Đơn vị	Mô tả
L_1	m	Khoảng cách từ O đến trọng tâm xe đạp
L_2	m	Khoảng cách từ O đến điểm lắp đĩa tròn điều khiển
m_1	Kg	Khối lượng xe đạp
m_2	Kg	Khối lượng đĩa tròn điều khiển
θ	Rad	Góc lệch thân xe đạp so với phương thẳng đứng
ϕ	Rad	Góc xoay đĩa tròn
I_1	kg.m ²	Mô-men quán tính xe đạp

I_2	kg.m ²	Mô-men quán tính đĩa tròn
g	m/s ²	Gia tốc trọng trường
T_r	Nm/A	Mô-men điều khiển của động cơ DC

Mô hình toán học của hệ thống được thành lập từ việc áp dụng phương pháp lượng tử Lagrange [8] như sau:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i, \quad (i=1,2) \quad (1)$$

Với L là phương trình Lagrange được xác định bởi:

$$L(q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - V(q, \dot{q}) \quad (2)$$

K là động năng và V là thế năng của hệ.

τ_i là tổng các lực liên kết tác động vào hệ thống.

$q = [q_1 \quad q_2]^T = [\theta \quad \phi]^T$ là các thành phần liên kết tạo nên hệ thống.

Cấu trúc vật lý của hệ thống được thể hiện ở hình 1. Từ cấu trúc của hệ thống được đặt trên hệ trục tọa độ Oxy như ở hình 1, ta xác định được động năng và thế năng của hệ như (3) và (4) (nếu xấp xỉ $\sin \theta \approx \theta$; $\sin \phi \approx \phi$; $\cos \phi \approx \cos \theta \approx 1$ (nếu hệ thống ở quanh vị trí cân bằng) [8]:

$$K = \frac{1}{2} (m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2 + I_1 + I_2) \dot{\theta}^2 + I_2 \dot{\theta} \dot{\phi} + \frac{1}{2} I_2 \dot{\phi}^2 \quad (3)$$

$$V = (m_1 L_1 + m_2 L_2) g \cos \theta \approx (m_1 L_1 + m_2 L_2) g \quad (4)$$

Từ (3) và (4) ta xác định được phương trình Lagrange dựa theo (2). Sau đó, tính toán theo (1), ta có được phương trình toán học của hệ như sau:

$$(m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2 + I_1 + I_2) \ddot{\theta} + I_2 \ddot{\phi} - (m_1 L_1 + m_2 L_2) g \theta = 0 \quad (5)$$

$$I_2 (\ddot{\theta} + \ddot{\phi}) = T_r \quad (6)$$

Từ (5) và (6), phương trình toán học của hệ thống được mô tả với tín hiệu điều khiển là

mô-men được viết lại với phương trình trạng thái như sau:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ b/a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -b/a & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -1/a \\ 0 \\ (a+I_2)/(aI_2) \end{bmatrix} T_r \quad (7)$$

Trong đó:

$$a = m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2 + I_1, \quad b = (m_1 L_1 + m_2 L_2) g \quad (8)$$

Nhằm mục đích đơn giản cho việc điều khiển động cơ DC, các tác giả đã quy đổi tín hiệu điều khiển từ mô-men sang điện áp. Mối quan hệ giữa điện áp cấp động cơ và mô-men tác động được mô tả thông qua tỉ số truyền động cơ như sau [8]:

$$V = L_m \frac{di}{dt} + R_m i + K_e \omega_m \quad (9)$$

$$T_m = K_t i \quad (10)$$

$$T_r = N_g T_m \quad (11)$$

Bảng 2. Thông số của động cơ

Ký hiệu	Đơn vị	Mô tả
V	Vôn	Điện áp cấp cho động cơ
K_e	m	Hằng số mô-men động cơ
ω_m	Rad/s	Tốc độ góc động cơ
L_m	H	Giá trị cuộn cảm động cơ
R_m	Ohm	Giá trị điện trở động cơ
i	A	Dòng điện qua động cơ
T_m	kg.m ²	Mô-men phát sinh của động cơ
K_t	kg.m ²	Hằng số mô-men xoắn động cơ
N_g	m/s ²	Tỷ số truyền động cơ

Với giá trị cuộn cảm nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị điện trở ($L_m \ll R_m$), ta có thể viết lại công thức (9) như sau:

$$V = R_m i + K_e \omega_m \quad (12)$$

Mối quan hệ giữa tốc độ động cơ và tốc độ vòng quay bánh xe như sau:

$$\begin{cases} \omega_r = \dot{\phi} \\ \omega_m = N_g \omega_r \end{cases} \quad (13)$$

Trong đó: ω_r là tốc độ góc bánh xe.

Từ (9-13), mối quan hệ giữa điện áp cấp cho động cơ và mô-men tác động của động cơ được xác định như sau:

$$T_r = N_g K_t (V - K_e N_g \dot{\phi}) / R_m \quad (14)$$

Từ (7), (8) và (14), mô hình toán học của hệ xe đạp tự thăng bằng sử dụng đĩa tròn điều khiển được viết lại với tín hiệu ngõ vào điều khiển điện áp như sau:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\phi} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ \phi \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + BV, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{44} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_2 \\ 0 \\ b_4 \end{bmatrix} \\ y = [1 \ 0 \ 0 \ 0] [\theta \ \dot{\theta} \ \phi \ \dot{\phi}]^T \end{cases} \quad (15)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} a_{21} &= b/a, \quad a_{24} = (K_t K_e N_g^2) / (a R_m), \\ a_{41} &= -\frac{b}{a}, \quad a_{44} = -(a + I_2)(K_t K_e N_g^2) / (a I_2 R_m), \\ b_2 &= -K_t N_g / (a R_m), \quad b_4 = (a + I_2) K_t N_g / (a I_2 R_m) \end{aligned} \quad (16)$$

Biến trạng thái:

$$\begin{cases} x_1 = \theta \\ x_2 = \dot{\theta} \\ x_3 = \phi \\ x_4 = \dot{\phi} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = f_1(x) + b_1(x)u \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = f_2(x) + b_2(x)u \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Với } f_1(x) &= a_{21}x_1 + a_{24}x_4, \quad b_1(x) = b_2, \\ f_2(x) &= a_{41}x_1 + a_{44}x_4, \quad b_2(x) = b_4 \end{aligned}$$

Phương trình (15) với một ngõ vào là tín hiệu điều khiển (điện áp V), ngõ ra gồm hai tín hiệu là góc lệch thân xe θ và góc xoay đĩa tròn ϕ thể hiện đặc trưng cho một hệ thống phi tuyến SIMO một vào hai ra.

3. GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN

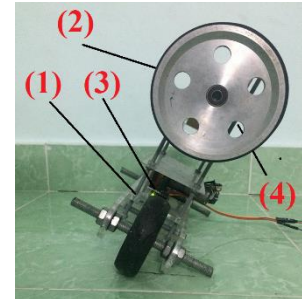
3.1 Giải thuật LQR

Với cấu trúc đơn giản nhưng tính ổn định cao, BDK LQR thường được đề xuất cho điều khiển robot cân bằng. Hệ thống

được mô tả liên tục theo thời gian như sau [9] (nếu hệ thống ở gần vị trí làm việc):

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (18)$$

Trong đó, ma trận A, B được xác định từ công thức (15).



$$g = 9.80665 (m/s^2);$$

$$m_1 = 1.655 (Kg);$$

$$m_2 = 0.43 (Kg);$$

$$L_1 = 0.13 (m);$$

$$L_2 = 0.18 (m);$$

$$K_t = 0.0649 (Nm/A);$$

$$K_e = 0.0649 (Vs/rad);$$

$$N_g = 1; \quad R_m = 6.83 (\Omega);$$

$$I_1 = 0.0338 (Kgm^2);$$

$$I_2 = 0.000774 (Kgm^2);$$

Hình 2. Mô hình xe đạp tự thăng bằng sử dụng đĩa tròn điều khiển. (1): Thân xe, (2): Đĩa tròn điều khiển, (3) MPU tròn điều khiển, (4): Động cơ và Encoder

Thông qua thông số ở mô hình 2, ta xác định được ma trận A, B như sau:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 37.9095 & 0 & 0 & 0.0082 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -37.9095 & 0 & 0 & -0.8053 \end{bmatrix} \\ B &= [0 \ -0.1255 \ 0 \ 12.4002]^T \end{aligned} \quad (19)$$

Xét ma trận điều khiển $\tau = [B \ AB \ A^2B \ A^3B]$, $rank(\tau) = 4$, ta kết hợp với số biến trạng thái là 4 nên hệ thống có thể điều khiển được.

Trong bài báo này, ngoài việc thiết kế mô phỏng hệ thống trên phần mềm Matlab/Simulink, nhóm tác giả còn xây dựng mô hình thực nghiệm được điều khiển thông qua bộ điều khiển trung tâm CPU là vi xử lý họ STM32, hai cảm biến gồm cảm biến độ nghiêng MPU đo góc nghiêng thân xe và encoder đo góc xoay đĩa tròn. Do vậy, hệ thống từ phi tuyến liên tục theo thời gian sẽ được đưa về hệ thống rời rạc với thời gian lấy mẫu là 0.01s.

Ta chuyển ma trận A, B về dạng rời rạc tương ứng ma trận A_d, B_d như sau:

$$A_d = \begin{bmatrix} 1.0019 & 0.0100 & 0 & 0.0000 \\ 0.3793 & 1.0019 & 0 & 0.0001 \\ -0.0019 & -0.0000 & 1 & 0.0100 \\ -0.3778 & -0.0019 & 0 & 0.9920 \end{bmatrix}, B_d = \begin{bmatrix} -0.0000 \\ -0.0013 \\ 0.0006 \\ 0.1235 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Luật điều khiển hồi tiếp:

$$u = -Kx \quad (21)$$

Để tìm ma trận K, sử dụng lệnh “dlqr” trên cửa sổ lệnh của phần mềm Matlab để giải phương trình Riccati như sau:

$$K = dlqr(A_d, B_d, Q, R) \quad (22)$$

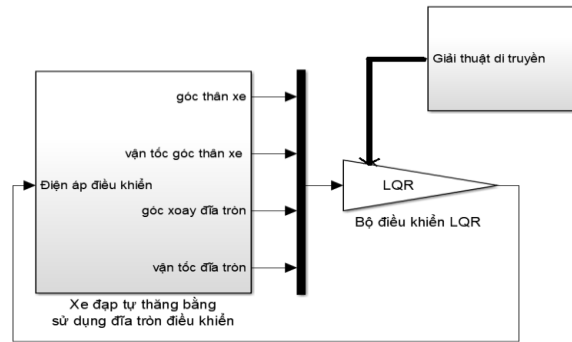
Trong đó R là ma trận xác định dương. Ta chọn R=1. Ma trận Q có dạng:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Thông thường, để tính toán đơn giản, người thiết kế thường chọn Q, là ma trận đơn vị. Tuy nhiên, các thành phần của ma trận Q kê trên ảnh hưởng đáng kể đến vector K điều khiển, từ đó ảnh hưởng đến chất lượng BDK. Vì vậy, nếu người thiết kế xác định được ma trận Q tốt sẽ giúp nâng cao chất lượng BDK LQR. Để thực hiện việc này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp sử dụng GA để xác định ma trận Q tối ưu.

3.2 Giải thuật di truyền tối ưu bộ điều khiển LQR

Để nâng cao chất lượng điều khiển hệ thống, chúng ta cần tính toán vector K tối ưu. Bên cạnh đó, K bị ảnh hưởng bởi ma trận trọng số Q. Khi tăng hoặc giảm các thành phần của ma trận Q sẽ làm thay đổi chất lượng điều khiển của hệ thống. Tuy nhiên, việc tăng giảm hay chọn đúng các thành phần của ma trận Q để rút ngắn thời gian xác lập của hệ thống không hề đơn giản. Nhóm tác giả đề xuất sử dụng GA nhằm tìm kiếm được ma trận Q tối ưu để nâng cao chất lượng điều khiển.



Hình 3. Sơ đồ hệ xe đạp tự thăng bằng với một đĩa tròn được điều khiển bởi LQR-GA

Hàm mục tiêu được chọn như sau [10]:

$$J = \sum_1^n (e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2) \quad (24)$$

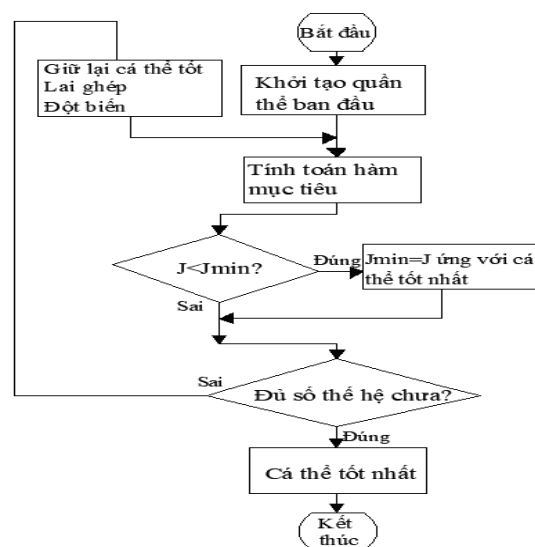
Trong đó:

$e_1 = \theta_d - \theta_{(t)}$: sai số giữa θ_d mong muốn và $\theta_{(t)}$ hiện tại.

$e_2 = \phi_d - \phi_{(t)}$: sai số giữa ϕ_d mong muốn và $\phi_{(t)}$ hiện tại.

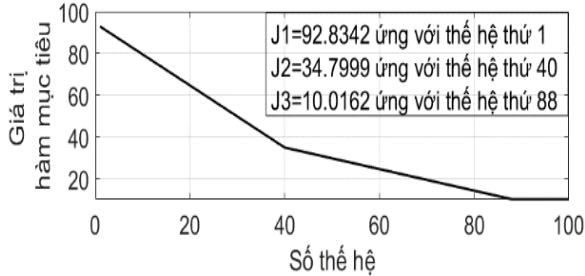
n là số mẫu trong một lần mô phỏng.

Thông qua công thức (24), giá trị của hàm thích nghi dựa trên e_1 và e_2 . Chương trình được viết trên phần mềm Matlab với thời gian lấy mẫu là 0.01s và chạy trong 100s. Theo đó, số mẫu sẽ là 10001.



Hình 4. Lưu đồ của GA [10]

Kết quả từ chương trình GA được tính toán khoảng 100 thế hệ. Sau khoảng 100 thế hệ, giá trị của hàm thích nghi được hiển thị ở hình 5.



Hình 5. Giá trị hàm thích nghi qua các thế hệ

Tương ứng với J1, J2, J3, các ma trận Q được xác định:

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 785.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 313.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 444 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8913.5 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 4270.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 458.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 269.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 656.4 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$Q_3 = \begin{bmatrix} 80.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7324.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8810.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 952.9 \end{bmatrix} \quad (27)$$

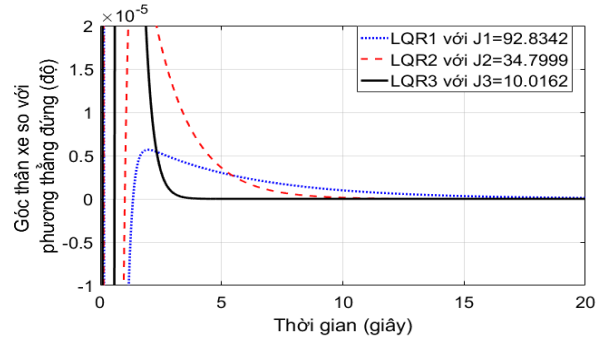
Từ (20), (22), (25), (26), (27) ma trận điều khiển của các BDK LQR1, LQR2, LQR3 được xác định như sau:

$$\begin{cases} LQR_1 : K_1 = [-10082 & -1645 & -2 & -8] \\ LQR_2 : K_2 = [-13629 & -2224 & -21 & -14] \\ LQR_3 : K_3 = [-18123 & -2958 & -69 & -26] \end{cases} \quad (28)$$

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

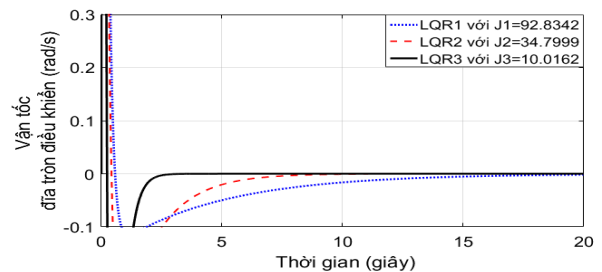
4.1 Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng hệ thống được thể hiện ở hình 6-7.



Hình 6. Kết quả mô phỏng góc lệch thân xe

Với các giá trị hàm mục tiêu J nhỏ dần, các BDK LQR tương ứng giúp rút ngắn thời gian xác lập. Lúc này thời gian xác lập các BDK LQR1, LQR2, LQR3 tương ứng là 15s, 7s, 3s. Tuy nhiên, góc chênh lệch trong khoảng thời gian quá độ 2 giây cho thấy BDK LQR2 và LQR3 (lớn hơn $2 \cdot 10^{-5}$ độ) lại lớn hơn so với góc chênh lệch được tạo ra từ BDK LQR1 ($0.6 \cdot 10^{-5}$ độ). Như vậy, theo kết quả này thì GA chỉ giúp cho BDK LQR rút ngắn được thời gian xác lập góc nghiêng thân xe qua các thế hệ chứ không giúp giảm góc chênh lệch quá độ. Kết quả này cũng đã được chứng minh tương tự ở kết quả nghiên cứu [11].



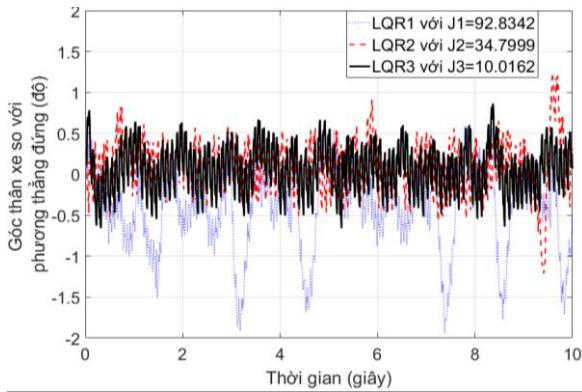
Hình 7. Kết quả mô phỏng vận tốc đĩa tròn

Thời gian xác lập vận tốc điều khiển đĩa tròn các BDK LQR1, LQR2, LQR3 tương ứng là khoảng 16s, 7s, 2.5s.

4.2. Kết quả thực nghiệm

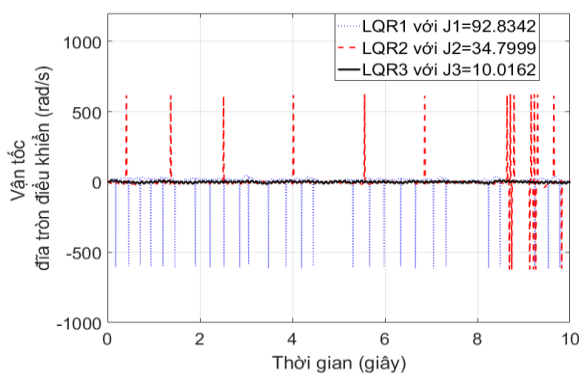


Hình 8. Quá trình điều khiển mô hình thăng bằng



Hình 9. Kết quả thực tế góc lệch thân xe

Thông qua kết quả điều khiển thực nghiệm như hình 9, ta dễ dàng thấy được BDK LQR3 giúp đáp ứng góc lệch thân xe tốt hơn hẳn so với BDK LQR2 và LQR1. Từ kết quả này, nhóm tác giả đã so sánh với kết quả điều khiển bằng giải thuật PD cũng trên đối tượng là mô hình xe đạp tự thăng bằng [12]. Trong tài liệu trên, 4 trường hợp ứng với các thông số khâu tỉ lệ và khâu vi phân khác nhau cho các chất lượng điều khiển góc lệch thân xe khác nhau đã được trình bày. Chất lượng góc lệch thân xe từ BDK LQR3 – được chỉnh định từ việc ứng dụng GA trong bài báo này đã tốt hơn hẳn 3 trong tổng số 4 trường hợp từ nghiên cứu [12]. Góc lệch thân xe được điều khiển bởi LQR3 dao động ổn định đối xứng từ -0.5 (độ) đến +0.5 (độ). Trong khi góc lệch thân xe được điều khiển bởi giải thuật PD [12] dao động từ -1.5 (độ) đến +1 (độ).



Hình 10. Kết quả thực tế vận tốc đĩa tròn

Qua nhiều lần thực nghiệm, nhóm tác giả rút ra nhận định với BDK LQR thì cơ bản có thể điều khiển thăng bằng được xe. Tuy nhiên, trong quá trình điều khiển nhằm duy trì trạng thái thăng bằng, đĩa tròn điều khiển thường xuyên thay đổi chiều quay với một tốc độ rất nhanh gây mất nhiều năng lượng công suất, đồng thời gây ra nhiễu làm tín hiệu vận tốc đĩa tròn vượt quá 500 rad/s (số đo này không chính xác). Với hàm mục tiêu J3, BDK LQR3 đã khắc phục được vấn đề này. Như ở hình 10, trong khi BDK LQR1 với nhiều lúc đĩa tròn phải thay đổi vận tốc nhanh, BDK LQR2 tốt hơn LQR1 với hàm mục tiêu nhỏ hơn. Sau cùng, BDK LQR3 với J3=10.0162 mang lại sự ổn định cho tốc độ xoay của đĩa tròn. Lúc này, vận tốc xoay đĩa tròn không còn có số liệu ảo vượt quá 500 rad/s như ở 2 BDK LQR1, LQR2. Qua đó tiết kiệm được công suất điều khiển và thời gian xác lập.

5. KẾT LUẬN

Như vậy, thông qua các thể hệ tìm kiếm, giải thuật di truyền đã tìm kiếm được ma trận Q với giá trị hàm mục tiêu tương ứng giúp tối ưu hóa BDK LQR truyền thống. Đáp ứng thăng bằng của thân xe được nâng cao, tốc độ, công suất điều khiển đĩa tròn đã được thuyên giảm đáng kể, giúp cho hệ thống đáp ứng tốt và tiết kiệm được năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Tamaldin, H.I.M. Yusof, M.F.B. Abdollah, G. Omar, M.I.F. Rosley, *Design self-balancing bicycle*, Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2017, pp. 160-161, May 2017.

- [2] Mr.Sandeep kumar gupta, Mrs.Veena.Gulhane, *Design of Self-Balancing Bicycle Using Object State Detection*, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622, International Conference on Industrial Automation and Computing (ICIAC- 12-13th April 2014).
- [3] V. V. Kadam, M. S. Khedekar, V. S. Shilimkar, A. A. Kolapkar⁴, *Self Balancing Bike Prototype Using Gyroscope*, IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development, Vol. 4, Issue 12, ISSN (online): 2321-0613, 2017.
- [4] Pom Yuan Lam, *Design And Development Of A Self-balancing Bicycle Using Control Moment Gyro*, A Thesis Submitted For The Degree Of Master Of Engineering Department Of Mechanical Engineering National University Of Singapore, 2012.
- [5] Hyun Woo Kim, Jae Won An, Hang Dong Yoo, Jang Myung Lee, *Balancing Control of Bicycle Robot Using PID Control*, ICCAS, 2013.
- [6] Tom'a's Marada, Radomil Matoušek, Daniel Zuth, *Design of Linear Quadratic Regulator (Lqr) Based On Genetic Algorithm for Inverted Pendulum*, MENDEL — Soft Computing Journal, Brno, Czech RepublicX, Volume 23, No.1, June 2017.
- [7] Jin xiaochen, *LQR Control of Double Inverted-Pendulum Based on Genetic Algorithm*, International Journal of Engineering Research, Volume No.7, Issue No.2, pp. 25-28, 2018.
- [8] Kiattisin Kanjanawanishkul, *LQR and MPC controller design and comparison for a stationary self-balancing bicycle robot with a reaction wheel*, Kybernetika, Vol. 51, No. 1, 173-191, 2015.
- [9] Heri Purnawan, Mardlijah and Eko Budi Purwanto, *Design of linear quadratic regulator (LQR) control system for flight stability of LSU-05*, Journal of Physics: Conf. Series 890, 2017.
- [10] Tran H.C, Tran V.D, Le T.T.H, Nguyen M.T, Nguyen V.D.H, *Genetic Algorithm Implementation for Optimizing Linear Quadratic Algorithm to Control Acrobot Robotic System*, Robotica & Management, Vol. 23, No. 1, June 2018.
- [11] Chaiporn Wongsathan, Chanapoom Sirima, *Application of GA to Design LQR Controller for an Inverted Pendulum System*, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics Bangkok, Thailand, February 21 - 26, 2009.
- [12] Vo A.K, Nguyen M.T, Nguyen T.N, Nguyen T.V, Doan V.K, Tran H.C, Nguyen V.D.H, *PD Controller for Bicycle Model Balancing*, Robotica & Management, 23-2 / 2018.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Trần Hoàng Chinh

Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM

Email: 1881101@student.hcmute.edu.vn