

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TỐI ƯU CHO RÔ BỐT BÁNH XE VI SAI

DESIGN OF AN OPTIMAL FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR A DIFFERENTIAL DRIVE ROBOT BASED ON THE GENETIC ALGORITHM

Nguyễn Trì¹, Bùi Thị Duyên²,
Phạm Văn Thuận^{3,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.319>

TÓM TẮT

Khi thiết kế bộ điều khiển mờ nói chung và bộ điều khiển mờ cho rô bốt bánh xe vi sai nói riêng, việc xác định các tham số của các hàm thành viên và các quy tắc mờ là một vấn đề khó, phức tạp và cần nhiều thời gian vì việc xác định các thông số đó chủ yếu dựa trên phương pháp dò tìm thủ công hoặc bằng thử nghiệm và dựa vào kinh nghiệm, kiến thức của các chuyên gia. Do đó, bài báo này đề xuất một phương pháp mới để thiết kế bộ điều khiển mờ cho rô bốt bánh xe vi sai bằng cách ứng dụng lý thuyết của giải thuật di truyền. Để thực hiện việc thiết kế bộ điều khiển mờ, một chương trình đã được tạo ra trong Google Colab[®] bằng ngôn ngữ Python với sự trợ giúp của thư viện "Pymoo" để tự động tạo và tìm ra các tham số tối ưu của các hàm thành viên và quy tắc mờ theo tiêu chuẩn tổn thất năng lượng động năng cho rô bốt bánh xe vi sai là nhỏ nhất. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển mờ tối ưu được thiết kế có chất lượng và hiệu suất điều khiển là rất tốt.

Từ khóa: Điều khiển mờ; rô bốt bánh xe vi sai; giải thuật di truyền; Pymoo; điều khiển tối ưu.

ABSTRACT

When designing a Fuzzy Logic Controller (FLC) in general and a Differential Drive Robot (DDR) in particular, the determination of the parameters of Membership Functions (MFs) and Fuzzy Rules (FRs) is a difficult, complicated, and time-consuming problem because this is mainly based on manual detection, heuristics and the knowledge of experts. Therefore, this paper proposes a new method to design an FLC for the DDR by using the Genetic Algorithm (GA). To carry out the design of the FLC, a program is created in Google Colab[®] by using the Python language with the help of the "Pymoo" library to automatically generate all the suboptimal parameters of MFs and the suboptimal FRs according to the minimum kinetic energy loss criterion. The simulation results have shown that the designed FLC has very good quality and control performances.

Keywords: Fuzzy logic control; differential drive robot; genetic algorithm; Pymoo; optimal control.

¹Viện Tự động hóa, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

²Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực

³Khoa Tên lửa - Pháo tàu, Học viện Hải quân

*Email: vanthuanvhq@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/5/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/9/2025

1. GIỚI THIỆU

Thiết kế bộ điều khiển chuyển động cho rô bốt di động là một vấn đề cơ bản nhưng rất quan trọng vì luật điều khiển sẽ quyết định trực tiếp đến hiệu quả làm việc của rô bốt. Cho đến nay, đã có nhiều thuật toán điều

khiển chuyển động khác nhau được áp dụng thành công cho rô bốt di động, như điều khiển PID [1]; điều khiển dựa trên Lyapunov [2]; điều khiển thích nghi và trượt [3]; điều khiển dựa trên logic mờ (BĐKM) [4]; điều khiển dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo [5]. Trong số đó, BĐKM được áp

dụng khá rộng rãi vì nó có nhiều ưu điểm nổi bật như: không đòi hỏi chính xác mô hình toán học; dễ kết hợp và mang lại hiệu quả cao hơn với các hệ thống điều khiển khác; có khả năng xử lý các thành phần phi tuyến và bất định; đặc biệt là BĐKM rất hiệu quả, dễ triển khai cũng như tối ưu hóa nhờ vào việc điều chỉnh các tham số của các hàm thành viên (HTV) và các quy tắc mờ (QTM).

Trên thực tế, hầu hết các BĐKM được thiết kế chủ yếu dựa trên phương pháp dò tìm thủ công hoặc bằng thử nghiệm và kinh nghiệm hay kiến thức của các chuyên gia nên việc thiết kế là khá khó khăn, phức tạp và tốn nhiều thời gian. Vì vậy, để giảm độ phức tạp, cũng như rút ngắn thời gian thiết kế và để cho việc thiết kế ít phụ thuộc vào phương pháp dò tìm thủ công, thử nghiệm và kinh nghiệm, kiến thức của các chuyên gia đã có nhiều nghiên cứu sử dụng các thuật toán tối ưu hóa khác nhau để thiết kế và cải tiến BĐKM cho các loại rô bốt di động khác nhau [6] như: Thuật toán Dơi (BA) [7]; tối ưu hóa đàn ong (BCO) và tối ưu hóa bầy hạt (PSO) [8]; Giải thuật di truyền (GTDT) [4]. Trong số các thuật toán đó, GTDT phù hợp hơn cho việc tối ưu hóa BĐKM vì nó có nhiều lợi ích khác nhau như: GTDT xét đến một quần thể điểm chứ không phải một điểm duy nhất; GTDT có thể làm việc trực tiếp với các chuỗi ký tự biểu diễn tập hợp tham số; GTDT sử dụng các quy tắc xác suất để tìm kiếm chứ không phải các quy tắc xác định; hơn nữa GTDT được triển khai dễ dàng bằng nhiều ngôn ngữ lập trình với nhiều thư viện hỗ trợ khác nhau nên nó sử dụng rất rộng rãi.

Cho đến nay, hầu hết các nghiên cứu sử dụng GTDT để thiết kế BĐKM chủ yếu tập trung vào việc nghiên cứu để thiết kế và tối ưu hóa các tham số của HTV, trong khi QTM được thiết kế dựa trên phương pháp tìm kiếm hoặc tham khảo chuyên gia, như trong [4, 9]. Các nghiên cứu khác sử dụng GTDT để thiết kế và tối ưu hóa QTM trong khi các tham số của HTV là được cố định, như trong [10, 11]. Hiện tại có rất ít nghiên cứu sử dụng GTDT để tối ưu hóa cả tham số của HTV và QTM, như trong [12]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ nhằm mục đích giải quyết vấn đề thiết kế BĐKM để điều khiển robot chuyển động đến đích và chưa giải quyết được vấn đề hài hòa giữa bài toán tối ưu hóa năng lượng, tối ưu hóa đường đi và tối ưu hóa thời gian di chuyển.

Từ những vấn đề trên, bài báo này đề xuất một phương pháp mới để thiết kế hiệu quả cả các tham số tối ưu của các HTV và các QTM cho BĐKM để điều khiển chuyển động cho rô bốt bánh xe vi sai (RBBXVS) theo tiêu chí tổn thất năng lượng động năng là nhỏ nhất trong khi các hiệu suất khác của điều khiển chuyển động vẫn tốt.

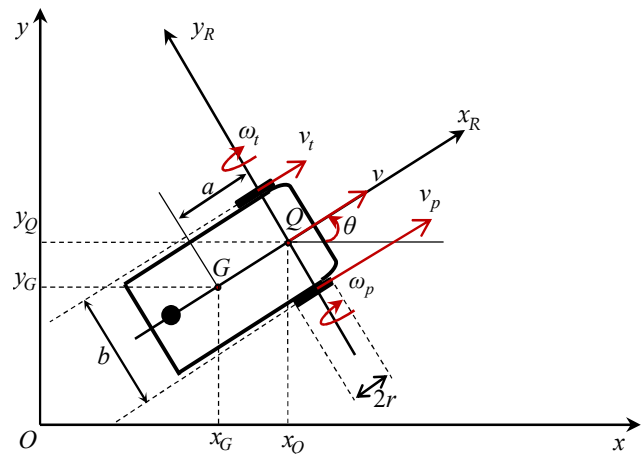
Phần còn lại của bài báo được kết cấu như sau: cơ sở lý thuyết của nghiên cứu được giới thiệu trong mục 2; quy trình thiết kế BĐKM tối ưu dựa trên thuật toán GTDT được trình bày chi tiết trong mục 3; mục 4 trình bày kết quả và thảo luận để làm nổi bật hiệu suất của phương pháp được đề xuất và mục 5 là các kết luận của nghiên cứu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình động học của rô bốt bánh xe vi sai

Rô bốt bánh xe vi sai là một dạng phổ biến của rô bốt dạng bánh xe, nó chuyển động dựa trên hai bánh xe chủ động được dẫn động riêng biệt đặt ở hai bên khung gầm của rô bốt và một bánh xe tự do để giữ cân bằng cho rô bốt khi chuyển động. Do vậy, rô bốt có thể thay đổi hướng bằng cách thay đổi tốc độ quay tương đối giữa hai bánh xe chủ động mà không cần có thêm chuyển động lái bổ sung khác.

Xét mô hình RBBXVS có cấu trúc hình học như trong hình 1. Các thông số của rô bốt gồm: vận tốc dài của rô bốt v (m/s); góc hướng của rô bốt θ (rad); vận tốc góc của bánh xe bên phải ω_p (rad/s); vận tốc góc của bánh xe bên trái ω_t (rad/s); vận tốc dài của bánh xe bên phải v_p (m/s); vận tốc dài của bánh xe bên trái v_t (m/s); bán kính của bánh xe bên phải và bên trái r (m); khoảng cách giữa hai bánh xe bên phải và bên trái b (m); trung điểm của trục nối giữa hai bánh xe bên phải và bên trái (Q); trọng tâm của rô bốt (G); khoảng cách giữa Q và G là a (m).



Hình 1. Biểu diễn hình học của một RBBXVS

Từ hình 1 và tham khảo [4, 13, 14], mô hình động học của RBBXVS được biểu diễn theo công thức (1):

$$\begin{cases} \dot{x} = \dot{x}_Q = v \cos \theta \\ \dot{y} = \dot{y}_Q = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad (1)$$

2.2. Động năng của rô bốt bánh xe vi sai

Khi RBBXVS hoạt động, các tổn thất năng lượng chính của nó bao gồm các tổn thất bên trong động cơ, tổn thất năng lượng động năng, tổn thất do ma sát, tổn thất do các thiết bị điện tử,... [4, 13]. Để đơn giản hóa, nghiên cứu này chỉ xét đến tổn thất năng lượng động năng của RBBXVS.

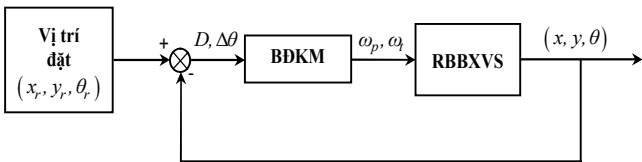
Khi RBBXVS di chuyển, thông thường nó sẽ phải tăng tốc, di chuyển với vận tốc không đổi và giảm tốc. Việc di chuyển như vậy của rô bốt sẽ liên quan đến mức tiêu thụ năng lượng của nó. Cụ thể, một phần công suất đầu ra sẽ được sử dụng để tăng năng lượng động năng và tăng tốc cho rô bốt. Về lý thuyết, năng lượng động năng sẽ được chuyển đổi trở lại trong giai đoạn giảm tốc, tuy nhiên phần lớn năng lượng đã chuyển đổi sẽ bị mất đi dưới dạng nhiệt [4, 13]. Ở đây động năng của rô bốt tại mọi thời điểm được tính theo công thức (2) như sau:

$$E_{DN} = \frac{1}{2} \{m[v(t)]^2 + I[\omega(t)]^2\} \tag{2}$$

Trong đó, m và I theo thứ tự là trọng lượng và mô men quán tính của rô bốt; v(t) và ω(t) là vận tốc dài và vận tốc góc tại thời điểm t của rô bốt.

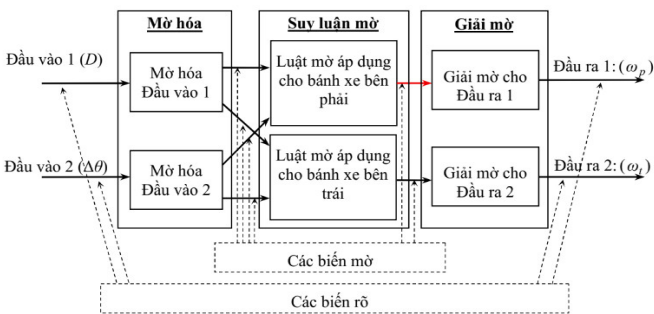
2.3. Bộ điều khiển mờ sử dụng cho rô bốt bánh xe vi sai

Sơ đồ khối của RBBXVS sử dụng BDKM được thể hiện ở hình 2.



Hình 2. Sơ đồ khối của một RBBXVS sử dụng bộ điều khiển mờ

Trong hình 2, D là khoảng cách của rô bốt tính từ vị trí hiện tại tới vị trí cần đến kế tiếp; Δθ là sai số góc hướng của rô bốt tại thời điểm hiện tại so với hướng của nó ở vị trí cần đến kế tiếp.



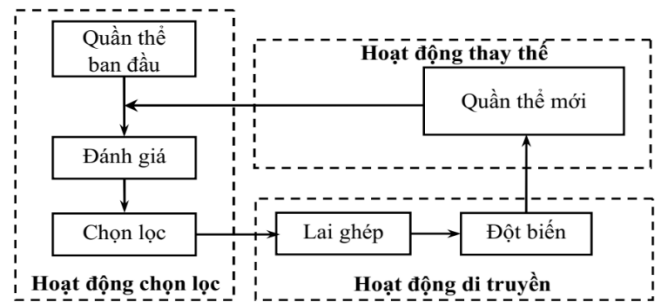
Hình 3. Cấu trúc bộ điều khiển mờ sử dụng cho RBBXVS

BDKM sử dụng cho RBBXVS trong nghiên cứu này có cấu trúc được thể hiện ở hình 3.

Bộ điều khiển mờ sử dụng hai đầu vào (D, Δθ) là các biến rõ sau đó được mờ hóa thành các biến mờ. Các biến mờ này được đưa vào bộ suy luận mờ với các luật mờ khác nhau để tạo ra hai biến mờ đầu ra, sau đó hai biến mờ đầu ra này được giải mờ thành hai biến rõ đầu ra (ω_p, ω_t) để điều khiển hai bánh xe chủ động của RBBXVS.

2.4. Giải thuật di truyền

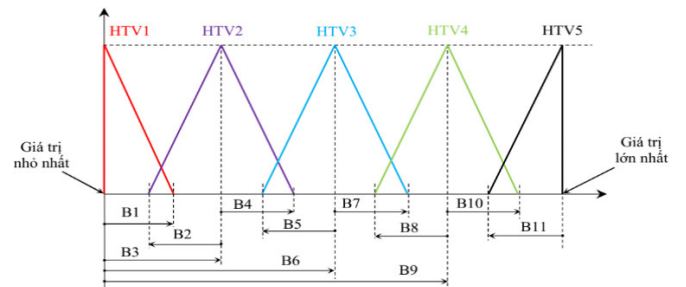
Giải thuật di truyền là phương pháp tìm kiếm và tối ưu hóa dựa trên quá trình tiến hóa tự nhiên. Bản chất của thuật toán GTDT là ban đầu khởi tạo một quần thể gồm một số cá thể nhất định, sau đó tiến hành đánh giá chất lượng của từng cá thể theo một hoặc một số tiêu chuẩn. Các cá thể tốt hơn được chọn lọc để lai ghép tạo ra các cá thể con mới sau đó thực hiện đột biến để tạo ra một quần thể gồm các cá thể thuộc thế hệ tiếp theo, như thể hiện ở hình 4.



Hình 4. Sơ đồ khối của giải thuật di truyền

3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TỐI ƯU DỰA VÀO THUẬT TOÁN GIẢI THUẬT DI TRUYỀN

3.1. Biểu diễn các hàm thành viên của bộ điều khiển mờ



Hình 5. Biểu diễn của các hàm thành viên trong bộ điều khiển mờ

Bảng 1. Tên và ký hiệu các hàm thành viên của đầu vào và đầu ra BDKM

Đầu vào 1 (D)		Đầu vào 2 (Δθ)		Đầu ra 1 (ω _p)		Đầu ra 2 (ω _t)	
Hàm thành viên	Ký hiệu	Hàm thành viên	Ký hiệu	Hàm thành viên	Ký hiệu	Hàm thành viên	Ký hiệu
Rất gần	RG	Âm lớn	AL	Rất nhỏ phải	RNP	Rất nhỏ trái	RNT
Gần	G	Âm	A	Nhỏ phải	NP	Nhỏ trái	NT

Trung bình	TB	Bằng không	BK	Trung bình phải	TBP	Trung bình trái	TBT
Xa	X	Dương	D	Lớn phải	LP	Lớn trái	LT
Rất xa	RX	Dương lớn	DL	Rất lớn phải	RLP	Rất lớn trái	RLT

Trong nghiên cứu này, các HTV của cả đầu vào và đầu ra của BĐKM đều được lựa chọn và biểu diễn dưới dạng hình tam giác. Hình dạng của mỗi HTV được biểu diễn ở hình 5, tên và ký hiệu được liệt kê trong bảng 1.

Hình 5 cho thấy mỗi đầu vào, đầu ra của BĐKM được biểu diễn bởi 11 thông số. Như vậy BĐKM sẽ gồm 44 thông số cho hai đầu vào và hai đầu ra. Trong đó, các thông số (B1÷B11) biểu diễn cho 5 HTV của đầu vào 1 (D), (B12÷B22) biểu diễn cho 5 HTV của đầu vào 2 ($\Delta\theta$), (B23÷B33) biểu diễn cho 5 HTV của đầu ra 1 (ω_p), (B34÷B44) biểu diễn cho 5 HTV của đầu ra 2 (ω_t). Giá trị của các thông số B1÷B44 sẽ quyết định hình dạng của các HTV, hình dạng của các HTV quyết định đến chất lượng và đặc tính điều khiển của BĐKM. Do vậy, việc xác định giá trị của B1÷B44 là rất quan trọng trong quá trình thiết kế BĐKM.

3.2. Luật mờ của bộ điều khiển mờ

Luật mờ cũng quyết định trực tiếp đến chất lượng của BĐKM, việc xác định các luật mờ thông thường được dựa vào kinh nghiệm của chuyên gia, hoặc thông qua thử nghiệm dẫn đến mất khá nhiều thời gian và kết quả nhiều khi không được như kỳ vọng. Do vậy, có một giải pháp để tự động tìm ra các luật mờ một cách nhanh chóng và phù hợp là rất cần thiết trong quá trình thiết kế BĐKM. Trong nghiên cứu này, các biến ngôn ngữ mờ của đầu ra được biểu diễn dưới dạng các thông số chưa xác định như trong bảng 2 và 3. Các thông số tối ưu biểu diễn luật mờ và biểu diễn HTV sẽ được tự động tạo ra nhờ áp dụng thuật toán GTDT như đã được đề cập ở trên.

Bảng 2. Các luật mờ xác định đầu ra 1 (ω_p)

$\Delta\theta$ \ D	AL	A	BK	D	DL
RG	R1_01	R1_02	R1_03	R1_04	R1_05
G	R1_06	R1_07	R1_08	R1_09	R1_10
TB	R1_11	R1_12	R1_13	R1_14	R1_15
X	R1_16	R1_17	R1_18	R1_19	R1_20
RX	R1_21	R1_22	R1_23	R1_24	R1_25

Bảng 3. Các luật mờ xác định đầu ra 2 (ω_t)

$\Delta\theta$ \ D	AL	A	BK	D	DL
RG	R2_01	R2_02	R2_03	R2_04	R2_05
G	R2_06	R2_07	R2_08	R2_09	R2_10

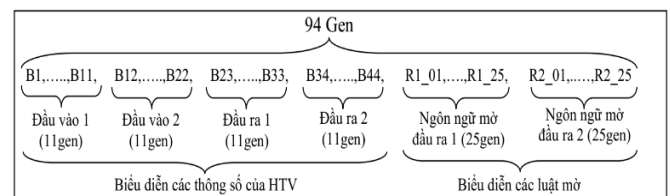
TB	R2_11	R2_12	R2_13	R2_14	R2_15
X	R2_16	R2_17	R2_18	R2_19	R2_20
RX	R2_21	R2_22	R2_23	R2_24	R2_25

Đối chiếu với bảng 1, biến ngôn ngữ mờ của đầu ra 1 trong Bảng 2 (R1_01÷R1_25) sẽ được lựa chọn có thể là một trong các biến RNP, NP, TBP, LP, RLP và biến ngôn ngữ mờ của đầu ra 2 trong bảng 3 (R2_01÷R2_25) cũng sẽ chỉ có thể được lựa chọn là một trong các biến RNT, NT, TBT, LT, RLT.

3.3. Tối ưu hóa bộ điều khiển mờ cho rô bốt bánh xe vi sai

3.3.1. Mã hóa gen cho các cá thể

Ở nghiên cứu này, tất cả các thông số tối ưu của các HTV và các luật mờ được xác định tự động nhờ áp dụng thuật toán GTDT theo tiêu chuẩn tổn thất động năng của RBBXVS là nhỏ nhất. Để áp dụng được thuật toán GTDT, phải mã hóa các "gen" của các cá thể trong quần thể. Như đã trình bày ở trên, có 44 thông số biểu diễn cho các HTV của hai đầu vào và hai đầu ra, 50 thông số biểu diễn cho ngôn ngữ mờ của đầu ra. Như vậy mỗi cá thể có 94 "gen" biểu diễn cho tất cả các thông số của HTV đầu vào đầu ra và các biến ngôn ngữ mờ của đầu vào, đầu ra. Cấu trúc của mỗi cá thể trong quần thể được biểu diễn như trên hình 6.



Hình 6. Biểu diễn mã hóa gen của mỗi cá thể

3.3.2. Hàm mục tiêu sử dụng cho thuật toán tối ưu

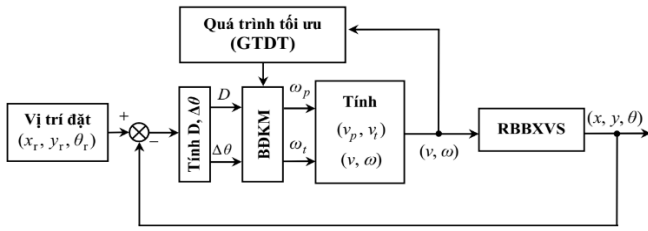
Trong thuật toán GTDT, hàm mục tiêu được sử dụng để xác định giá trị phù hợp cho mỗi cá thể và quyết định những cá thể nào sẽ được lựa chọn. Trong nghiên cứu này tiêu chuẩn tối ưu là tổn thất năng lượng động năng của RBBXVS nhỏ nhất. Như đã được đề cập, năng lượng động năng tại mọi thời điểm của rô bốt được xác định theo công thức (2). Tuy nhiên, khi triển khai thuật toán trên máy tính, công thức (2) phải được biểu diễn theo thời gian gián đoạn, do vậy năng lượng động năng của rô bốt tại thời điểm (t_i) sẽ được tính theo công thức (3). Tổn thất năng lượng động năng của rô bốt khi di chuyển từ trạng thái (t_{i-1}) đến trạng thái (t_i) sẽ được tính theo công thức (4).

$$E_{DN}(i) = \frac{1}{2} \{ m[v(t_i)]^2 + I[\omega(t_i)]^2 \} \tag{3}$$

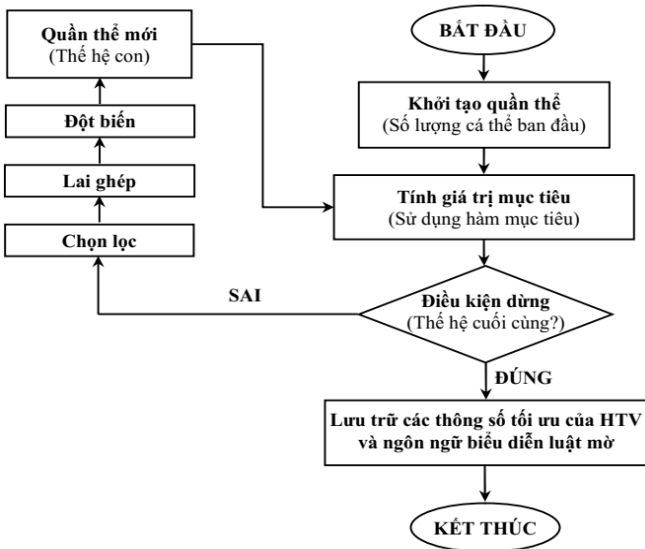
$$\Delta E_{DN}(i) = E_{DN}(i) - E_{DN}(i-1) \tag{4}$$

3.3.3. Quá trình tối ưu hóa bộ điều khiển mờ

Quá trình tối ưu hóa BĐKM bởi thuật toán GTDT cho RBBXVS được thể hiện trong hình 7, lưu đồ thuật toán của quá trình tối ưu bởi GTDT được thể hiện ở hình 8.



Hình 7. Quá trình tối ưu hóa BĐKM



Hình 8. Lưu đồ thuật toán tối ưu BĐKM ứng dụng GTDT

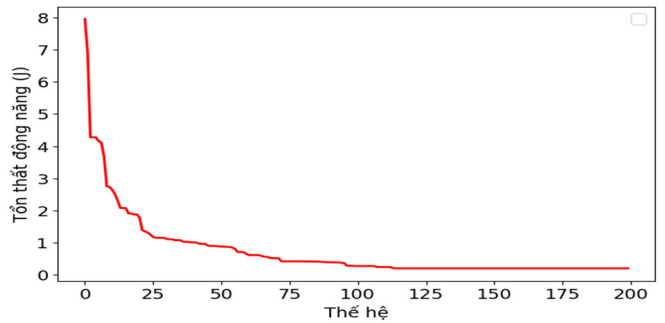
Ở nghiên cứu này, toàn bộ quá trình tối ưu BĐKM sử dụng thuật toán GTDT được lập trình trong Google Colab[®] với sự trợ giúp của thư viện “Pymoo” để tự động tạo và tìm ra cá thể tốt nhất mang các thông tin về thông số của các HTV và thông tin về ngôn ngữ mờ của đầu ra cho BĐKM của RBBXVS đáp ứng tiêu chí tổn thất động năng là nhỏ nhất trong khi các chỉ tiêu chất lượng khác là vẫn tốt.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

4.1. Bộ điều khiển mờ tối ưu

Nghiên cứu này sử dụng RBBXVS với các thông số cơ bản như sau: khối lượng ($m = 1,733\text{kg}$), mô men quán tính ($I = 0,08\text{Kg.m}^2$), khoảng cách giữa hai bánh xe vi sai ($b = 0,2\text{m}$), bán kính của bánh xe ($r = 0,0425\text{m}$); thông số của hai động cơ sử dụng lai hai bánh xe vi sai gồm: hằng số mô men ($K_t = 0,001\text{Nm/A}$), hằng số điện áp ($K_e = 0,03\text{V.s/rad}$), điện trở phản ứng ($R_a = 0,7\Omega$), điện cảm phản ứng ($L_a = 0,01\text{H}$), hệ số mô men xoắn ($B = 0,004\text{N.m.s}$), mô men quán tính đầu trục động cơ ($J = 0,037\text{kg.m}^2/\text{s}^2$), tỷ số truyền của động cơ ($N = 30$).

Để sử dụng thuật toán GTDT tối ưu cho BĐKM, ban đầu khởi tạo một quần thể ngẫu nhiên gồm 50 cá thể, mỗi cá thể có 94 gen mang thông tin mã hóa của 44 thông số của các HTV và 50 thông số biểu diễn cho ngôn ngữ mờ của đầu ra; cài đặt số thế hệ là 200; tỷ lệ lai ghép là 0,9; tỷ lệ đột biến là 0,1; sử dụng phương pháp chọn lọc là “Tournament Selection”. Sau khi khởi tạo và chạy chương trình tối ưu hóa, các kết quả tối ưu thu được như thể hiện trong hình 9, bảng 4 và 5.



Hình 9. Biểu đồ tổn thất động năng theo thế hệ

Bảng 4. Các hàm thành viên của đầu vào và đầu ra

	Đầu vào 1: D(m)/ Đầu vào 2: Δθ(rad)	Đầu ra 1: ω_p(rad/s)/ Đầu ra 2: ω_r(rad/s)
RG/AL	[0,0; 0,0; 3,95] / [-π; -π; -1,72]	RNP/RNT [0; 0; 8,94] / [0; 0; 9,32]
G/A	[2,93; 3,97; 4,55] / [-3,59; -1,57; 1,95]	NP/NT [-9,15; 1,59; 14,57] / [6,40; 7,02; 7,80]
TB/BK	[4,13; 4,77; 6,54] / [-0,16; 0,41; 2,40]	TBP/TBT [13,97; 16,41; 18,07] / [15,40; 16,73; 17,53]
X/D	[7,30; 7,47; 15,79] / [-0,09; 1,56; 3,32]	LP/LT [17,03; 17,10; 19,00] / [20,84; 27,36; 18,32]
RX/DL	[7,24; 10; 10] / [0,004; π; π]	RLP/RLT [16,55; 30; 30] / [19,59; 30; 30]

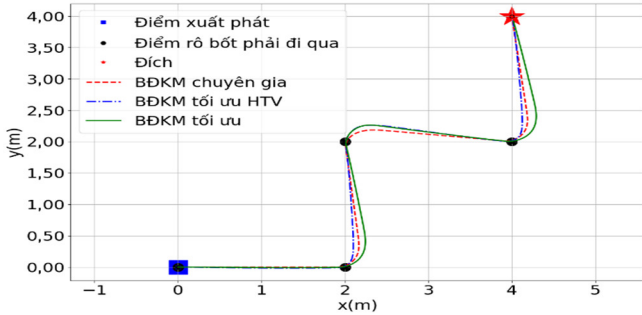
Bảng 5. Các suy luận mờ tối ưu xác định đầu ra 1 (ω_p)/đầu ra 2 (ω_r)

Δθ	AL	A	BK	D	DL
D					
RG	TBP/TBT	RNP/NT	NP/NT	LP/RNT	RNP/RNT
G	RNP/NT	RNP/RNT	RLP/TBT	RLP/NT	RNP/RNT
TB	RNP/NT	NP/TBT	NP/NT	RNP/RLT	RNP/LT
X	TBP/LT	TBP/LT	LP/LT	RLP/RLT	RNP/LT
RX	LP/RLT	RLP/NT	RLP/RLT	RNP/LT	RNP/LT

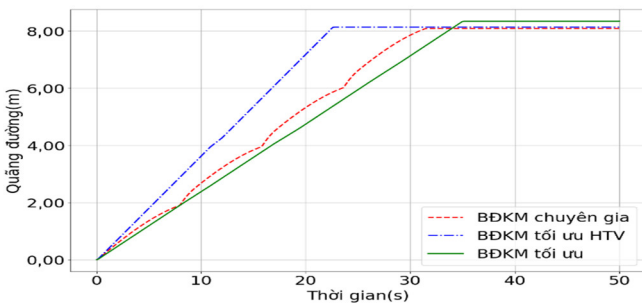
4.2. Kết quả mô phỏng

Trong nghiên cứu này, BĐKM tối ưu cả các tham số của các HTV và các QTM thiết kế được (BĐKM tối ưu) cùng với các bộ điều khiển được thiết kế bởi chuyên gia (BĐKM chuyên gia) và BĐKM chỉ tối ưu các tham số của các HTV (BĐKM tối ưu HTV) sẽ được sử dụng để điều khiển RBBXVS di chuyển trên nhiều quỹ đạo phức tạp khác nhau để so

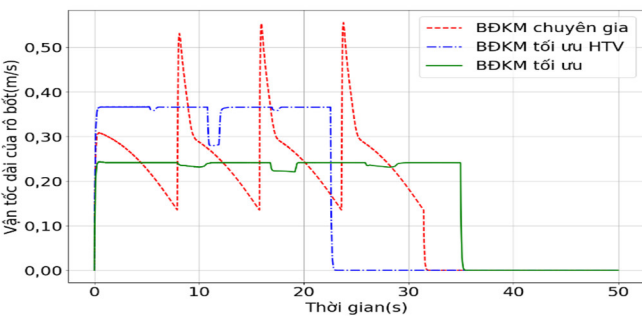
sánh đánh giá chất lượng điều khiển của BDKM thiết kế được. Kết quả cho thấy trên tất cả các dạng quỹ đạo đơn giản và phức tạp được sử dụng, RBBXVS đều được điều khiển di chuyển từ điểm xuất phát, đi qua tất cả các điểm phải qua được xác định trước để đến đích với tổn thất năng lượng động năng là nhỏ nhất trong khi các chỉ tiêu chất lượng điều khiển khác vẫn được đảm bảo tốt so với các bộ điều khiển còn lại. Ngay cả khi di chuyển trên quỹ đạo zíc zắc phức tạp chất lượng điều khiển vẫn rất tốt, như được thể hiện trên hình 10 và bảng 6.



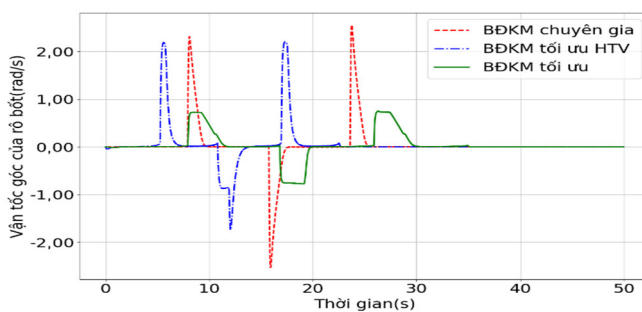
(a)



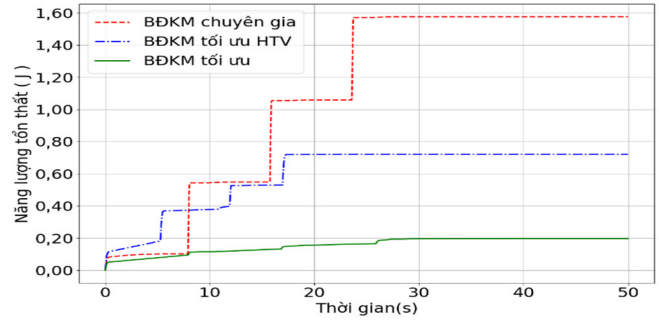
(b)



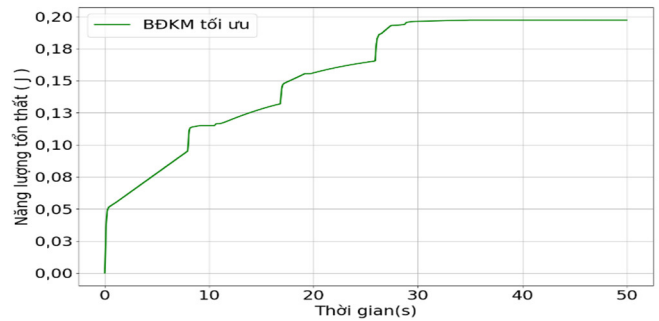
(c)



(d)



(e)



(f)

Hình 10. Kết quả mô phỏng khi RBBXVS được điều bằng BDKM tối ưu

Bảng 6. Giá trị tổn thất năng lượng động năng, độ dài đường đi và thời gian của RBBXVS

Tên bộ điều khiển	Năng lượng tổn thất		Độ dài đường đi		Thời gian
	E (J)	E (%)	s (m)	s(%)	t (s)
BDKM chuyên gia	1,575	798,56	8,099	100,00	28,33
BDKM tối ưu HTV	0,720	365,08	8,143	100,57	22,53
BDKM tối ưu	0,197	100,00	8,349	103,11	34,95

4.3. Thảo luận

Kết quả mô phỏng trên hình 10 và bảng 6 cho thấy, khi được điều khiển bằng các BDKM được lựa chọn thì RBBXVS đều di chuyển lần lượt từ điểm xuất phát đi qua tất cả các điểm cần phải qua được xác định trước để tới điểm đích theo đúng ý định, tuy nhiên có sự khác biệt rõ rệt về tổn thất động năng giữa các BDKM này, trong đó tổn thất động năng khi dùng BDKM tối ưu là nhỏ hơn đáng kể so với khi dùng các BDKM khác (thể hiện trên hình 10 (e) và bảng 6), trong khi sự khác biệt về quãng đường và thời gian di chuyển là không đáng kể.

Thông thường khi di chuyển, rô bốt thường phải thay đổi tốc độ và hướng đi của mình nên dẫn đến hiện tượng bị rung lắc và giật cục trong quá trình di chuyển, tuy nhiên vấn đề này đã được giải quyết khá triệt để bởi BDKM tối ưu thiết kế được. Quan sát hình 10 (c) cho thấy vận tốc dài của rô bốt khá ổn định, chỉ có sự thay đổi nhỏ

về độ lớn khi rô bốt chuyển hướng tại các góc cua của quỹ đạo chuyển động khi sử dụng BĐKM tối ưu so với khi sử dụng các BĐKM còn lại. Hơn nữa kết quả trong hình 10 (d) cũng cho thấy vận tốc góc của rô bốt khi được điều khiển bằng BĐKM tối ưu chỉ thay đổi khá nhỏ so với khi được điều khiển bằng các BĐKM còn lại khi rô bốt thay đổi hướng di chuyển. Điều đó chứng tỏ rô bốt được điều khiển di chuyển mượt mà hơn nhiều và ít có sự rung lắc, giật cục hơn hẳn khi được điều khiển bằng BĐKM tối ưu.

Hình 10(e) và 10(f) cho thấy tổn thất năng lượng động năng tại thời điểm bắt đầu xuất phát tăng khá nhanh sau đó tăng đều đều trong quá trình di chuyển tới các điểm cần đi qua, tiếp theo đó lại có xu hướng tăng nhanh hơn khi vượt qua các điểm này. Điều này xảy ra là do tại điểm xuất phát và tại các điểm mà rô bốt phải đi qua rô bốt cần tăng vận tốc dài và vận tốc góc để nhanh chóng di chuyển và chuyển hướng tới các điểm tiếp theo và tới điểm đích.

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả mới chỉ lựa chọn một tiêu chí tối ưu là "tổn thất năng lượng động năng" của rô bốt, việc này nhằm đơn giản hóa quá trình xây dựng hàm mục tiêu mà không làm mất đi tính tổng quát của nội dung phương pháp đề xuất. Tuy nhiên, để sát với thực tế thì cần có sự cân bằng giữa nhiều yếu tố như năng lượng, độ chính xác bám quỹ đạo, thời gian và độ ổn định... Do vậy, trong nghiên cứu tiếp theo nhóm tác giả sẽ tiến hành nghiên cứu xây dựng một hàm đa mục tiêu để tối ưu và cân bằng giữa các chỉ tiêu điều khiển khác nhau của rô bốt.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đề xuất một giải pháp mới để thiết kế BĐKM cho RBBXVS theo tiêu chuẩn tổn thất năng lượng động năng nhỏ nhất. Phương pháp thiết kế này đã rút ngắn được thời gian thiết kế, không phải dò tìm các thông số của BĐKM một cách thủ công, không phải phụ thuộc vào kinh nghiệm và kiến thức của các chuyên gia như phương pháp thiết kế truyền thống. Kết quả mô phỏng cho thấy với BĐKM thiết kế được, RBBXVS được điều khiển di chuyển mượt mà từ điểm xuất phát, đi qua tất cả các điểm phải qua để đến đích với tổn thất năng lượng động năng là nhỏ nhất trong khi các chỉ tiêu chất lượng điều khiển khác vẫn được đảm bảo tốt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Yi J., N. Yubazaki, "Stabilization fuzzy control of inverted pendulum systems," *Artificial Intelligence in Engineering*, 14(2), 153-163, 2000.

[2]. Margaliot M., G. Langholz, "A new approach to fuzzy modeling and control of discrete-time systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 11(4), 486-494, 2003.

[3]. Li Z., C. Xu, "Adaptive fuzzy logic control of dynamic balance and motion for wheeled inverted pendulums," *Fuzzy Sets and Systems*, 160(12), 1787-1803, 2009.

[4]. Bui H. L., et al., "General design method of hedge-algebras-based fuzzy controllers and an application for structural active control," *Applied Intelligence*, 43(2), 251-275, 2015.

[5]. Ho N.C., W. Wechler, "Hedge algebras: an algebraic approach to structure of sets of linguistic truth values," *Fuzzy sets and systems*, 35(3), 281-293, 1990.

[6]. Ho N., H. Nam, "Towards an algebraic foundation for a Zadeh fuzzy logic," *Fuzzy Set and System*, 129, 229-254, 2002.

[7]. Ho N.C., "A topological completion of refined hedge algebras and a model of fuzziness of linguistic terms and hedges," *Fuzzy Sets and Systems*, 158(4), 436-451, 2007.

[8]. Ho N.C., V.N. Lan, L.X. Viet, "Optimal hedge-algebras-based controller: Design and application," *Fuzzy Sets and Systems*, 159(8), 968-989, 2008.

[9]. Anh N.D., et al., "Application of hedge algebra-based fuzzy controller to active control of a structure against earthquake," *Structural Control and Health Monitoring*, 20(4), 483-495, 2013.

[10]. Nguyen C.H., et al., "Hedge algebras, linguistic-value logic and their application to fuzzy reasoning," *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 7(04), 347-361, 1999.

[11]. Nguyen C.H., et al., "A genetic design of linguistic terms for fuzzy rule based classifiers," *International Journal of Approximate Reasoning*, 54(1), 1-21, 2013

[12]. Nguyen C.H., T.S. Tran, D.P. Pham, "Modeling of a semantics core of linguistic terms based on an extension of hedge algebra semantics and its application," *Knowledge-Based Systems*, 67, 244-262, 2014.

[13]. Nguyen C. H., W. Pedrycz, "A construction of sound semantic linguistic scales using 4-tuple representation of term semantics," *International Journal of Approximate Reasoning*, 55(3), 763-786, 2014.

[14]. Varsek A., T. Urbancic, B. Filipic, "Genetic algorithms in controller design and tuning," *IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(5), 1330-1339, 1993.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Tri¹, Bui Thi Duyen², Pham Van Thuan³

¹Control Automation in Production and Improvement of Technology Institute, Academy of Military Science and Technology, Vietnam

²Faculty of Control and Automation engineering, Electric Power University, Vietnam

³Department of Missile and Gunship, Vietnam Naval Academy, Vietnam