

KHẢO SÁT HỆ LUẬT CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN ĐẠI SỐ GIA TỬ TRONG ĐIỀU KHIỂN ROBOT DI ĐỘNG

INVESTIGATION OF CONTROL SYSTEMS BASED ON HEDGE ALGEBRAS IN MOBILE ROBOT CONTROL

Nguyễn Sỹ Tài^{1,2,*}DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.126>

TÓM TẮT

Robot di động ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực: dân dụng, quân sự, y tế, giao thông, nông nghiệp và đang là hướng nghiên cứu của các nhà khoa học quan tâm. Mục đích của nghiên cứu này là khảo sát sự ảnh hưởng của việc thay đổi các hệ luật sử dụng bộ điều khiển dựa trên lý thuyết Đại số gia tử (HAC) nhằm xác định được hiệu quả điều khiển của robot di động về quãng đường di chuyển ngắn nhất, đến được mục tiêu và tránh được vật cản. Mô hình khảo sát trong bài báo này được kế thừa từ một tài liệu tham khảo, dựa trên hệ luật ban đầu và phân tích các luật định tính trong hệ luật, một số thay đổi được đưa ra sau đó tối ưu và so sánh kết quả để tìm ra hệ luật tối ưu nhất. Từ kết quả mô phỏng, đã tìm ra được hệ luật cho thấy hiệu quả điều khiển của HAC cao hơn so với cùng bộ điều khiển dựa trên lý thuyết tập mờ (FC) của bài báo gốc cả về quãng đường di chuyển của robot di động và thời gian tính toán (CPU time). Từ kết quả này cho thấy HAC có khả năng áp dụng để điều khiển chuyển động cho các mô hình robot phức tạp hơn, các hệ luật phức tạp hơn, nhiều đầu vào hơn.

Từ khóa: Robot di động, Điều khiển dựa trên đại số gia tử (HAC), tối ưu hoá.

ABSTRACT

Mobile robots are increasingly widely applied in various fields, including civilian, military, medical, transportation, and agriculture, and are the focus of research for interested scientists. This study aims to investigate the impact of changing control system laws based on the Hedge Algebra-based Controller (HAC) to determine its control efficiency for mobile robots in terms of the shortest travelling distance, reaching the goal, and avoiding obstacles. The investigated model in this paper is inherited from a reference document. Several optimal rule bases are proposed based on the original control rule base and analysis of qualitative rule bases in the control system. The results are compared to find the most appropriate optimal control rule base for the mobile robot. The simulation results show that the HAC has higher efficiency than the Fuzzy set theory-based controller (FC) in the reference document regarding the mobile robot's travelling distance and computation time (CPU time). These results also indicate that HAC can be applied to control motion for more complex robot models with more complex control rule bases and multiple inputs.

Keywords: Mobile Robots, Hedge Algebra-based Controller (HAC), optimization.

¹Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

²Viện Khoa học An toàn và Vệ sinh lao động, Tổng Liên đoàn Lao động Việt Nam

*Email: tuantaibhld@gmail.com

Ngày nhận bài: 22/02/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/3/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2024

1. GIỚI THIỆU

Có thể thấy các bộ điều khiển dựa trên lý thuyết tập mờ (FC - Fuzzy control) của Zahde đang đóng vai trò quan trọng và ứng dụng rộng rãi trong điều khiển robot. Nghiên cứu điều khiển mờ cho robot di động để thực hiện nhiệm vụ theo dõi quỹ đạo trong vận chuyển nông sản [1], hay nghiên cứu điều khiển chuyển động của hệ thống neo sử dụng phương pháp điều khiển mờ để hạn chế chuyển động của tàu neo đậu [2]. Ngoài ra, điều khiển robot di động có bánh xe thông qua điều khiển mờ cho kết quả tốt khi hiện tượng rung lắc được giảm thiểu [3]. Điều khiển mờ để lập kế hoạch đường dẫn điều hướng cho robot thông qua các cảm biến [4], thiết kế bộ điều khiển mờ để điều khiển robot dẫn động bằng điện dựa trên điều khiển điện áp [5]. Từ các nghiên cứu trên có thể thấy lý thuyết tập mờ là phổ biến, được ứng dụng nhiều, có hiệu quả trong robot di động và có nhiều hướng phát triển ở các đối tượng khác nhau.

Lý thuyết đại số gia tử (Hedge algebras - HA), ra đời từ năm 1990, nó cho phép mô tả các giá trị ngôn ngữ của các biến bằng các độ đo tính mờ định lượng dưới dạng các số thực dựa trên các lập luận toán học hết sức chặt chẽ với độ lớn của chúng phù hợp với ngữ nghĩa tự nhiên của các giá trị ngôn ngữ. Với cách trình bày như vậy, đã làm đơn giản hoá các bước tính toán của HA so với FC, vì vậy HA được áp dụng trong nhiều lĩnh vực: Sử dụng lý thuyết đại số gia tử để dự báo chuỗi thời gian mờ, mà cụ thể là dự báo số lượng sinh viên nhập học của Đại học Alabama [6]; Tiếp cận đại số gia tử trong xây dựng thang điểm ngôn ngữ dùng trong đánh giá [7]; Ứng dụng logic mờ và đại số gia tử điều khiển đèn tín hiệu giao thông [8]. Lý thuyết đại số gia tử được ứng dụng phổ biến nhất trong điều khiển các mô hình cơ học, để xuất tiếp cận để tối ưu hóa ứng dụng và bộ điều khiển dựa trên đại số gia tử trong các bài toán dao động kết cấu [9]. Sử dụng lý thuyết đại số gia tử để kiểm soát chủ động của các tòa nhà bị kích thích địa chấn với bộ giảm chấn cột chất lỏng được điều chỉnh [10]. Sử dụng HA để thiết kế các quỹ đạo của robot delta, kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng bộ điều khiển dựa trên lý thuyết đại số gia tử (HAC) trong điều khiển quỹ đạo cho robot tối ưu hơn so với sử dụng bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) hoặc bộ điều khiển mờ FC [11]. Ở một nghiên cứu khác đã trình bày về chiến lược giám sát con người cho robot di động trong môi trường hỗn hợp

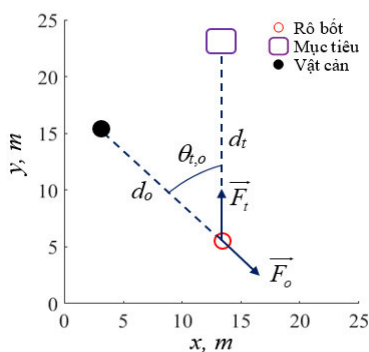
dựa trên HA, kết quả cho thấy robot hoạt động giám sát một cách trơn tru và chính xác [12]. Nghiên cứu, điều khiển chuyển động của robot di động sử dụng bộ điều khiển HAC [13] với hệ 9 luật, kết quả này được so sánh với kết quả FC [14], đã chứng minh HAC cho kết quả tốt hơn về quãng đường di chuyển của robot di động so với FC và tốt hơn cả thời gian tính toán của hệ thống (CPU time). Ngoài ra, việc nghiên cứu về sử dụng HA điều khiển robot gần đây cũng cho kết quả tốt: Sử dụng HAC để điều khiển robot đội hình cho kết quả chính xác và vượt trội về khoảng cách di chuyển, lần vượt trội cả về thời gian tính toán CPU time so với bộ điều khiển mờ FC [15]; Ứng dụng thuật toán đại số gia tử cho bộ điều khiển robot di động thông qua cử chỉ tay và giao thức không dây [16].

Từ các kết quả nghiên cứu trong các công bố trên cho thấy HAC có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với FC như: thiết lập tường minh hơn, tối ưu đơn giản hơn, hoạt động hiệu quả hơn, và đặc biệt là thời gian tính toán nhanh hơn nhiều.

Vì vậy trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng HAC với nhiều trường hợp của hệ 9 luật, hệ 15 luật, hệ 25 luật được đề xuất áp dụng cho bài toán điều khiển chuyển động của một robot di động. Mục đích chính là tìm đường đi ngắn nhất cho robot khi tránh vật cản để đi tới mục tiêu, và thời gian tính toán hệ thống là tối ưu nhất, các kết quả này được đối chiếu so sánh với kết quả khi robot hoạt động dựa trên nguyên lý của bộ điều khiển mờ FC với các tọa độ vị trí khảo sát khác so với bài báo ban đầu [14].

2. MÔ HÌNH ROBOT TRÁNH VẬT CẢN

Mô hình khảo sát sự chuyển động của robot di động được thể hiện ở hình 1 [14]. Không gian hoạt động của robot di động là một hình vuông có chiều dài các cạnh là 25m, giả thiết rằng: vật cản, mục tiêu, robot có dạng hình tròn với bán kính là 0,5m, trong đó hình dạng mục tiêu được hiển thị khác hình tròn để dễ quan sát. Robot di chuyển thông qua hai lực \vec{F}_t (hướng từ vị trí hiện tại của robot đến vị trí của mục tiêu) và \vec{F}_o (có hướng từ vị trí hiện tại của robot và ngược hướng so vị trí của vật cản). Sự kết hợp của 2 lực trên qua trọng số w sẽ tạo ra lực điều khiển chung \vec{F} được xác định thông qua ràng buộc (1), để đưa robot đến vị trí mục tiêu và đồng thời giúp nó tránh được vật cản.



Hình 1. Mô hình khảo sát

$$\vec{F} = w\vec{F}_o + (1-w)\vec{F}_t, 0 \leq w \leq 1 \tag{1}$$

Hướng của robot so với trục X được giới hạn trong khoảng $[-\pi/4, \pi/4]$ với mỗi vòng lặp điều khiển nhằm tránh các thay đổi đột ngột về hướng của robot trong quá trình di chuyển, hướng của robot $\theta_r(k+1)$ ở vòng lặp điều khiển thứ $k+1$ được tính thông qua $\theta_r(k)$ ở vòng lặp thứ k là:

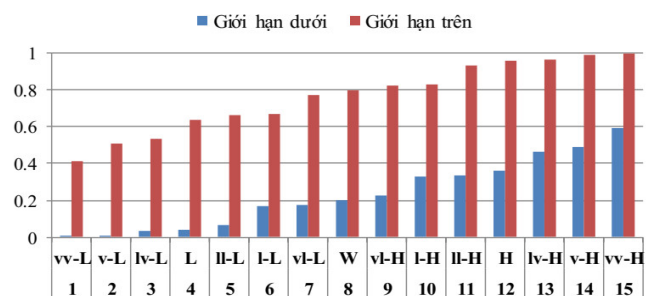
$$\theta_r(k+1) = \theta_r(k) + \min\left(\max\left(\theta - \theta_r(k), \frac{\pi}{4}\right), -\frac{\pi}{4}\right); \theta = \angle \vec{F} \tag{2}$$

Gọi d_o là khoảng cách từ robot đến vật cản, d_t là khoảng cách từ robot đến mục tiêu, $\alpha = d_o/d_t$ là tỉ lệ giữa khoảng cách từ robot đến vật cản (d_o) và khoảng cách từ robot đến mục tiêu (d_t); $\theta_{t,o}$ là góc giữa các hướng từ robot đến mục tiêu và vật cản (hình 1).

Nhằm đơn giản hoá bài toán khảo sát, giả thiết đặt ra là robot khi di chuyển có vận tốc không đổi, robot đã biết trước vị trí hiện tại và vị trí vật cản. Để robot tránh được vật cản thì giá trị α và $\theta_{t,o}$ phải nhỏ để trọng số w đạt giá trị cao, còn robot di chuyển nhanh chóng đến được mục tiêu thì w phải có giá trị thấp đối với các trường hợp còn lại. Trọng số w sẽ được xác định thông qua các hệ luật của bộ điều khiển HAC ở phần tiếp theo.

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN ĐẠI SỐ GIA TỬ - HAC

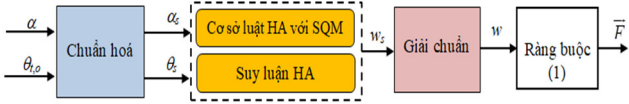
Trong HA, các giá trị ngôn ngữ (GTNN) của biến ngôn ngữ có thể tạo thành một cấu trúc đại số gia tử đầy đủ, các thứ tự ngữ nghĩa của các giá trị ngôn ngữ này được đảm bảo. Gọi $fm(c)$ và $\mu(h)$ thứ tự là độ đo tính mờ của các phần tử sinh và các gia tử, độ đo tính mờ này nằm trong khoảng từ 0 đến 1 và theo định lý trong HA sẽ xác định độ đo tính mờ (trong khoảng từ 0 đến 1) của tất cả các giá trị ngôn ngữ dựa trên giá trị của $fm(c)$ và $\mu(h)$ [17, 18]. Giả thiết, $(Low, High) = (c, c^+)$, biểu thị bởi (L, H) ; gia tử, ví dụ $(little, very) = (h^-, h^+)$, biểu thị bởi (L, V) ; $C = \{0, W, 1\}$ tập các hằng, để chỉ các phần tử có nghĩa nhỏ nhất, phần tử trung hoà và phần tử có nghĩa lớn nhất. Các giá trị ngôn ngữ sẽ được hình thành dựa trên sự kết hợp giữa các phần tử sinh và gia tử theo thứ tự ngữ nghĩa tự nhiên của các giá trị ngôn ngữ này, ví dụ: $L, vv-L, v-L, lv-L, L, ll-L, l-L, vl-L, W, vl-H, l-H, ll-H, H, lv-H, v-H, vv-H, H$ [17, 18]. Xét trường hợp $fm(c)$ và $\mu(h)$ thay đổi trong khoảng từ 0.2 đến 0.8, khoảng giá trị độ đo tính mờ của một số giá trị ngôn ngữ điển hình được thể hiện thông qua ánh xạ ngữ nghĩa định lượng (SQM- Semantically Quantifying Mapping) của chúng ở hình 2.



Hình 2. Giá trị SQM của một số giá trị ngôn ngữ điển hình

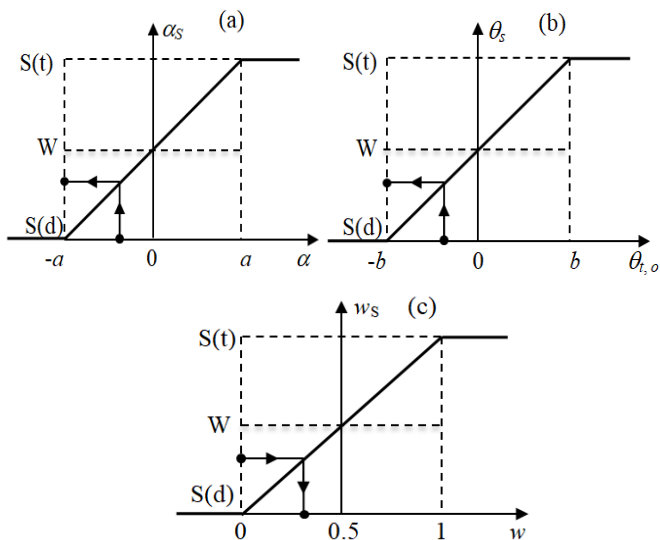
(Trong đó: Số từ 1 đến 15 là các chỉ số GTNN tương ứng với 15 GTNN là $w-L, v-L, lv-L, L, ll-L, l-L, vl-L, W, vl-H, l-H, ll-H, H, lv-H, v-H, vv-H$)

Từ hình 2 có thể thấy rằng, các khoảng giá trị có biên độ khá rộng khi $fm(c)$ và $\mu(h)$ thay đổi, điều này rất thuận lợi cho việc tối ưu các bài toán HAC, quá trình tối ưu này được sử dụng bằng phương pháp thử sai ngẫu nhiên để chọn ra hệ luật tốt nhất và sẽ được giới thiệu ở phần tiếp theo.



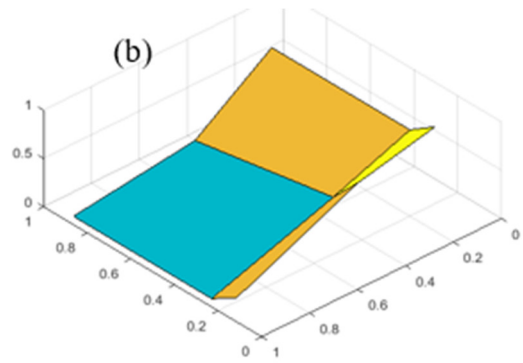
Hình 3. Sơ đồ điều khiển HAC của robot tránh vật cản

Bước chuẩn hoá để chuyển các giá trị thực của các biến α và $\theta_{t,o}$ sang giá trị độ đo tính mờ S của chúng được thể hiện trên hình 4(a) với $S(t)$, $S(d)$ lần lượt là giới hạn trên và giới hạn dưới của các GTNN. Ký hiệu α_s và θ_s là biểu diễn của α và $\theta_{t,o}$ trong miền ngữ nghĩa, a và b thể hiện khoảng xác định trong miền thực của các biến α và $\theta_{t,o}$. Theo quy tắc của HA để xác định trọng số w được đề xuất như trên hình 4(b). Các hệ luật tương ứng với chỉ số giá trị ngôn ngữ của các biến sẽ được tham chiếu với giá trị SQM thông qua một phép nội suy đơn giản để xác định giá trị của w_s (thể hiện của w trong miền ngữ nghĩa), quá trình này có thể được coi là bước suy luận của HAC. Cuối cùng, bước giải chuẩn trên hình 4(c) để chuyển giá trị của w từ miền ngữ nghĩa sang miền thực. Để cụ thể hơn, trong bài báo này trình bày cơ sở luật HAC với SQM và mặt luật của một trường hợp điển hình (trường hợp 5 của hệ 9 luật, ký hiệu T9_5 trong bảng 1) được thể hiện ở hình 5.



Hình 4. Sơ đồ chuẩn hoá và giải chuẩn của HAC

α	$\theta_{t,o}$		
	L	W	vv-H
L	H	W	L
W	W	L	vv-L
vv-H	v-L	vv-L	vv-L



Hình 5. Cơ sở luật HAC với SQM trường hợp T9_5 (a) và Mặt luật HAC trường hợp T9_5 (b)

Như vậy, có thể kết luận nguyên lý hoạt động của HAC hoàn toàn giống với một bộ điều khiển mờ FC truyền thống, việc các khối chức năng của HAC chỉ dùng các phép nội suy tuyến tính nên chúng tưởng minh hơn và hoạt động đơn giản hơn so với FC.

Trong bài toán này, để nâng cao hiệu quả hoạt động của robot di động, bộ điều khiển HAC của các trường hợp sẽ được đề xuất tối ưu, bài toán tối ưu được thể hiện như sau:

- Hàm mục tiêu [13, 14]:

Quãng đường di chuyển của Robot di động => nhỏ nhất (3)

- Các biến thiết kế: $fm(c)$ và $\mu(h)$ của α , $\theta_{t,o}$, w, a và b. Như vậy, tổng số biến thiết kế là 8.

- Các ràng buộc [13, 14]:

Va chạm giữa robot và vật cản = 0 (4)

Robot gặp mục tiêu = 1 (5)

- Dữ liệu khảo sát 4 kịch bản đặt ra lần lượt ứng với là: Vị trí và hướng của robot là [15, 2, $\pi/2$], [14, 2, $\pi/2$], [10, 20, $-\pi/2$], [19, 19, $-\pi$]; Vị trí của mục tiêu là [15, 22], [13, 22], [20, 5], [6, 6] và các vị trí của vật cản là [5, 15], [15, 18], [12, 12], [8, 10].

4. KẾT QUẢ SỐ

Các biến α , $\theta_{t,o}$ và biến w có các GTNN của tương ứng với các trường hợp được thể hiện trên bảng 1, giá trị tối ưu của các biến thiết kế của các bộ điều khiển HAC với các trường hợp để xuất được thể hiện trên bảng 2. Đưa các giá trị trong bảng 2 vào hệ luật trong hình 4(a, b) để thu được sơ đồ suy luận của HA tối ưu, như được thể hiện trong hình 4(c). Các kịch bản quá trình mô phỏng được thể hiện trong bảng 3.

Trong phần này, các kết quả mô phỏng số được trình bày với trường hợp vận tốc của robot bằng 0,5m/s và thời gian mẫu = 0,1s. Kết quả mô phỏng cho được là các trường hợp của bộ điều khiển HAC được đề xuất tương ứng với hệ 9 luật (5 trường hợp: T9_1, T9_2, T9_3, T9_4, T9_5), hệ 15 luật (5 trường hợp: T15_1, T15_2, T15_3, T15_4, T15_5) và hệ 25 luật (5 trường hợp: T25_1, T25_2, T25_3, T25_4, T25_5). Kết quả mô phỏng này được so sánh với kết quả ở FC và được thể hiện ở bảng 4, nhằm tìm ra được kết quả tối ưu nhất về thời gian di chuyển tới mục tiêu của robot di động cũng như thời gian tính toán của hệ thống.

Bảng 1. Chỉ số giá trị ngôn ngữ của các biến

Ký hiệu	α	θ_{t_0}	w (Hệ luật)
T9_1	4 8 15	4 8 15	14 12 10; 8 4 2; 1 1 1
T9_2			15 12 12; 12 8 4; 4 1 1
T9_3			14 12 12; 9 6 1; 4 1 1
T9_4			15 12 12; 8 4 4; 4 1 1
T9_5			12 8 4; 8 4 1; 2 1 1
T15_1	1 4 8 10 12	4 10 15	15 14 13 12 12; 8 7 6 4 4; 4 3 2 1 1
T15_2			15 14 12 10 10; 15 12 10 8 6; 14 10 8 6 4
T15_3			15 14 10 10 12; 8 6 4 2 2; 4 4 2 1 1
T15_4			15 13 9 9 7; 13 12 10 6 4; 10 8 4 2 1
T15_5			14 12 8 8 6; 10 6 4 2 2; 10 8 4 2 1
T25_1	1 4 8 12 15	1 4 8 12 15	15 15 15 14 13; 15 14 13 12 11; 13 12 11 10 8; 11 10 8 7 4; 8 4 2 1 1
T25_2			12 12 10 6 4; 12 10 8 8 6; 10 10 6 2 2; 14 10 8 6 4
T25_3			15 12 12 8 4; 12 10 8 6 4; 14 10 8 6 4; 12 10 8 6 4; 10 10 8 4 4
T25_4			14 12 12 8 8; 14 12 8 6 8; 12 10 8 6 4; 14 12 8 6 4; 12 8 10 4 2
T25_5			15 14 12 10 1; 1 12 8 6 15; 14 10 8 6 1; 15 12 8 6 2; 12 8 10 4 1

Bảng 2. Giá trị tối ưu của các biến thiết kế.

Trường hợp	fm(c) của α	$\mu(h)$ của α	fm(c) của θ_{t_0}	$\mu(h)$ của θ_{t_0}	fm(c) của w	$\mu(h)$ của w	a	b
T9_1	0,2	0,570	0,266	0,524	0,800	0,707	0,200	2,26
T9_2	0,474	0,674	0,248	0,461	0,466	0,570	1,129	1,081
T9_3	0,577	0,800	0,200	0,633	0,710	0,260	0,884	1,436
T9_4	0,200	0,342	0,498	0,588	0,777	0,673	1,693	1,143
T9_5	0,710	0,423	0,220	0,205	0,555	0,561	0,688	2,909
T15_1	0,326	0,595	0,490	0,331	0,221	0,243	1,115	0,970
T15_2	0,315	0,200	0,210	0,637	0,200	0,800	0,887	0,721
T15_3	0,781	0,687	0,300	0,466	0,221	0,299	1,124	1,186
T15_4	0,442	0,623	0,226	0,681	0,711	0,311	0,687	0,360
T15_5	0,402	0,720	0,244	0,689	0,667	0,705	0,843	1,745
T25_1	0,314	0,249	0,258	0,598	0,244	0,709	0,966	1,086
T25_2	0,647	0,240	0,557	0,205	0,205	0,712	1,336	0,538
T25_3	0,343	0,304	0,232	0,332	0,269	0,794	0,884	1,170

T25_4	0,340	0,267	0,699	0,751	0,201	0,252	0,780	0,978
T25_5	0,550	0,425	0,624	0,338	0,210	0,262	0,654	0,275

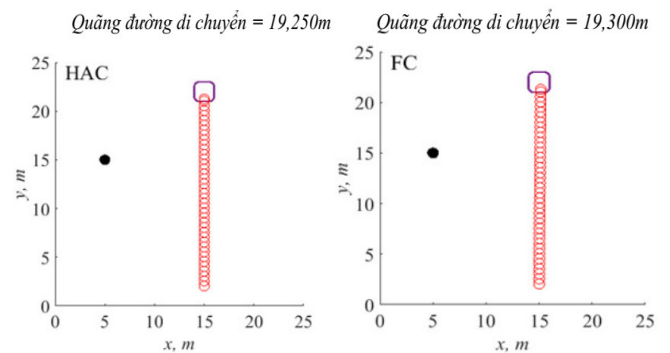
Bảng 3. Các kịch bản mô phỏng

Kịch bản	Robot	Mục tiêu	Vận cân
1	[15, 2, $\pi/2$]	[15, 22]	[5, 15]
2	[14, 2, $\pi/2$]	[13, 22]	[15, 18]
3	[10, 20, $-\pi/2$]	[20, 5]	[12, 12]
4	[19, 19, $-\pi$]	[6, 6]	[8, 10]

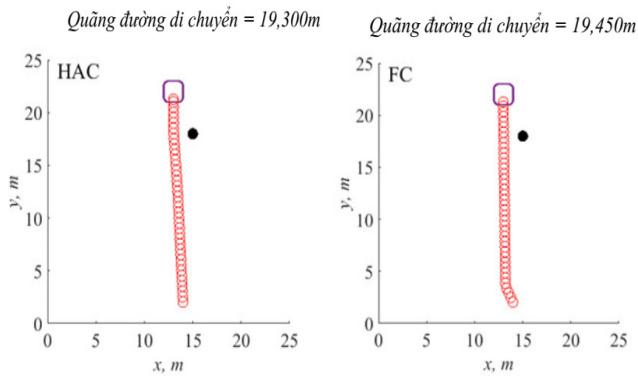
Bảng 4. Tổng hợp kết quả quãng đường di chuyển robot của các bộ điều khiển

Trường hợp	Kịch bản 1	Kịch bản 2	Kịch bản 3	Kịch bản 4	Trung bình	
FC	19,300	19,450	17,450	17,800	18,500	
HAC	T9_1	19,350	19,450	17,300	17,800	18,475
	T9_2	19,300	19,400	17,450	17,750	18,475
	T9_3	19,300	19,350	17,450	17,700	18,450
	T9_4	19,300	19,400	17,300	17,750	18,438
	T9_5	19,250	19,300	17,300	17,650	18,375
	T15_1	19,300	19,500	17,300	17,800	18,475
	T15_2	19,400	19,350	17,400	17,750	18,475
	T15_3	19,300	19,500	17,300	17,850	18,488
	T15_4	19,300	19,500	17,350	17,850	18,500
	T15_5	19,250	19,350	17,450	17,750	18,450
	T25_1	19,300	19,350	17,450	17,700	18,450
	T25_2	19,750	19,350	17,350	17,700	18,538
	T25_3	19,550	19,400	17,350	17,750	18,513
	T25_4	20,500	19,400	17,350	17,750	18,750
	T25_5	19,250	19,350	17,350	17,700	18,413

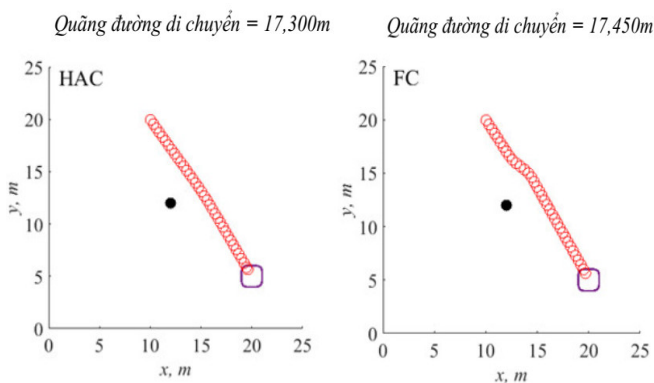
Với kết quả tổng hợp quãng đường di chuyển của robot (mét) ở các hệ luật của HAC ở bảng 4, hệ 9 luật (3x3) cho kết quả tốt nhất, điều này chứng tỏ cần tối ưu hệ luật của tất cả các dạng hệ luật (3x3, 5x3, 5x5), đây cũng là hướng cần được nghiên cứu thêm của bài báo. Theo Bảng 4 có thể nhận thấy trường hợp 5 của hệ 9 luật (ký hiệu T9_5) là trường hợp có kết quả tốt nhất và được chọn để so sánh với kết quả quãng đường robot di chuyển với FC được trình bày trong các hình 6 - 9.



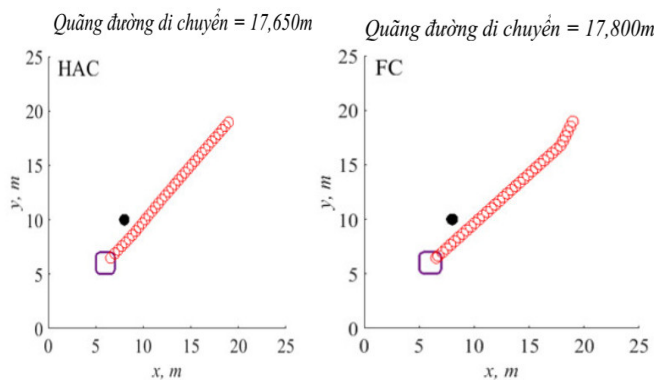
Hình 6. Kịch bản 1



Hình 7. Kịch bản 2



Hình 8. Kịch bản 3



Hình 9. Kịch bản 4

Các kết quả trên hình 6 - 9 cho thấy, mục tiêu điều khiển luôn đạt được, đó là robot đến được mục tiêu và tránh được vật cản. Quỹ đạo di chuyển của robot khi sử dụng HAC và FC là tương đồng nhau, trong đó khi thay đổi hệ luật của bộ điều khiển HAC thì sẽ có sự thay đổi về quãng đường di chuyển. Cụ thể ở trường hợp 1, mặc dù quãng đường di chuyển từ robot đến mục tiêu với HAC và FC đều là một đường thẳng, nhưng kết quả cho thấy FC chưa tốt bằng HAC là do hệ luật FC chỉ có 5 luật nên rất sơ sài, ngoài ra hầu hết các trường hợp cho thấy kết quả của HAC cho kết quả tốt hơn FC. Quãng đường dịch chuyển của robot khi sử dụng HAC nhỏ hơn tương đối so với khi sử dụng FC, ngoài ra thời gian tính toán (CPU time) của các bộ điều khiển cũng được đo và liệt kê như trên Bảng 5. Có thể thấy rằng, CPU time của HAC giảm đáng kể so với FC và đây là một lợi thế của HAC khi ứng dụng trong điều khiển thời gian thực. Các kết quả

CPU time cũng được đo trên một máy tính với cấu hình CPU i7, 1165G7, 2.8GHz, 8.0 GB RAM, sử dụng phần mềm Matlab và hệ điều hành Windows 10.

Bảng 5. Thời gian tính toán hệ thống (CPU time).

Bộ điều khiển	HAC	FC	Tỉ lệ giảm (%)
Thời gian CPU	~0,362	~0,58	~38

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, các bộ điều khiển được đề xuất dựa trên lý thuyết đại số gia tử áp dụng cho bài toán điều khiển chuyển động của một robot di động tránh vật cản. Hướng tiếp cận của bài báo là khảo sát nhiều hệ luật (3x3; 5x3; 5x5) và kết quả cho thấy các bộ điều khiển HAC hoạt động tốt, trong đó hệ luật 3x3 cho được kết quả tốt nhất ở tất cả các trường hợp so với kết quả ở bộ điều khiển FC. Các bộ điều khiển được đề xuất cho thấy có kết quả vượt trội so với bộ điều khiển dựa trên lý thuyết tập mờ về thời gian di chuyển đến mục tiêu, và thời gian tính toán hệ thống. Hạn chế của bài báo là việc lựa chọn hệ luật theo bảng 1 bằng phương pháp thử sai, hướng phát triển tiếp theo là sửa dụng thuật toán tối ưu để lựa chọn hệ luật điều khiển tối ưu. Các ưu điểm này của HAC cho phép phát triển và ứng dụng HAC trong các bài toán phức tạp hơn của lĩnh vực điều hướng các hệ robot di động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sun Z., et al., "Fuzzy adaptive recursive terminal sliding mode control for an agricultural omnidirectional mobile robot," *Computers and Electrical Engineering*, 105, 108529, 2023.
- [2]. Ding S., et al., "Motion-inhibition control of a multi-robot mooring system using an actuating force fuzzy control method," *Ocean Engineering*, 267, 113236, 2023.
- [3]. Damani A.Y., et al., "Formation control of nonholonomic wheeled mobile robots via fuzzy fractional-order integral sliding mode control," *International Journal of Dynamics and Control*, 11(1). 1-12, 2023.
- [4]. Gustami H., H. Mawengkang, E. Budhiarti, "Non-Holonomic Robot Navigation Path Planning Using Fuzzy-Steepest Ascent Hill Climb," *Sinkron*, 8(1), 526-532, 2023.
- [5]. Fateh S., M. Fateh, "Superior Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control of Electrically Driven Robot Manipulators," *Iran J Sci Technol Trans Electr Eng.* 47, 491-502, 2023.
- [6]. Ho N.C., et al., "The application of hedge algebras in fuzzy time series forecasting," *Journal of Science and Technology*. 54(2), 161-177, 2016.
- [7]. N.C. Ho, Son T.T., "Approach basing on Hedge algebra used in case assessment scale," *Journal of Computer Science and Cybernetics*, 28(3), 260-273, 2012.
- [8]. Pham T.H., et al., "Application of fuzzy logic and hedge algebra to control traffic lights," *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, 32(2), 2016.
- [9]. Bui H.L., "An Approach for Optimizing the Hedge-Algebras-Based Controller and Application in Structural Vibration Control," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, Springer, 2022.

- [10]. Bui H. L., N. A. Tran, H. Q. Cao, "Active control based on hedge-algebras theory of seismic-excited buildings with upgraded tuned liquid column damper," *Journal of Engineering Mechanics*, 149(1), 04022091, 2023.
- [11]. Bui T. L., T.H. Nguyen, X. T. Nguyen, A Controller for Delta Parallel Robot Based on Hedge Algebras Method. *Journal of Robotics*, 2023.
- [12]. Van Toan N., et al., "The human-following strategy for mobile robots in mixed environments," *Robotics and Autonomous Systems*, 160, 104317, 2023.
- [13]. Nguyen S. T., T. T. Mac, H. L. Bui, "Motion Control of a Mobile Robot Using the Hedge–Algebras-Based Controller," *Journal of Robotics*, 2023.
- [14]. <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/tune-fuzzy-systems-using-custom-cost-function.html>. *Tune Fuzzy Robot Obstacle Avoidance System Using Custom Cost Function*. Accessed 2022/05/30.
- [15]. Mac T. T., et al., "A novel hedge algebra formation control for mobile robots," *Robotics and Autonomous Systems*, 172, 104607, 2024.
- [16]. Nguyen A.T., et al., "Application of hedge algebras algorithm for mobile robot controller via hand gestures and wireless protocol," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 46(1), 1201-1212, 2024.
- [17]. Bui H. L., et al., "General design method of hedge-algebras-based fuzzy controllers and an application for structural active control," *Applied Intelligence* 42(1), 251-275, 2015.
- [18]. Bui H. L., T. A. Le, V. B. Bui, "Explicit [formula of hedge-algebras-based fuzzy controller and applications in structural vibration control," *Applied Soft Computing*, 60, 150-166, 2017.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Sy Tai^{1,2}

¹School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

²National Institute of Occupational Safety and Health, Vietnam General Confederation of Labor, Vietnam