ỨNG DỤNG LOGIC MỜ CHO CÁC HỆ ĐIỀU KHIỂN Ô TÔ

Nguyễn Tuấn Anh, Đặng Ngọc Duyên
Trường Đại học Thủy lợi, email: anhngtu@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học và kỹ thuật, ô tô ngoài việc đáp ứng các mục tiêu về vận chuyển còn cần phải đáp ứng các yêu cầu về an toàn cũng như sự tiện nghi cho hành khách. Các dòng xe đời cũ thường chỉ có các hệ thống cơ khí trong khi các mẫu xe hiện đại đã được trang bị nhiều các hệ thống chủ động có khả năng tự động điều khiển. Bản chất của các hệ thống cơ điện tử trên ô tô là sử dụng các thuật toán điều khiển để giúp hệ thống có thể đáp ứng một cách linh hoạt với các điều kiện chuyển động khác nhau.

Có nhiều phương pháp được sử dụng để điều khiển các hệ thống cơ điện tử trên ô tô, chẳng hạn như điều khiển PID cho hệ tuyến tính SISO, điều khiển LQR cho hệ tuyến tính MIMO hay điều khiển SMC cho hệ phi tuyến,… Tuy nhiên, các thuật toán kể trên đều cần phải xác định trước mô hình toán học của đối tượng trong khi hiệu năng của chúng chỉ có thể đảm bảo cao nhất trong một số các điều kiện cụ thể. Trong một số tình huống, các thuật toán điều khiển kinh điển cũng như điều khiển hiện đại khó có thể đáp ứng được đầy đủ các yêu cầu cần thiết cho hệ ổn định. Để giải quyết những vấn đề nêu trên, một số thuật toán điều khiển thông minh (điển hình là điều khiển logic mờ) đã và đang được áp dụng cho các hệ thống cơ điện tử trên ô tô.

Logic mờ đã trải qua quá trình phát triển trong suốt nhiều thập kỷ nay. Lý thuyết tập mờ đã được Lofti A. Zadeh đưa ra từ những năm 65 của thế kỷ trước [1]. Khác với logic kinh điển chỉ có hai trạng thái đúng và sai (đóng và mở), logic mờ còn bao gồm nhiều trạng thái trung gian giữa hai giới hạn này. Lý thuyết mờ được ứng dụng cho nhiều ngành kỹ thuật ở các quốc gia phát triển trên thế giới từ khi ra đời. Cho đến đầu thế kỷ XXI, lĩnh vực điều khiển mờ trở nên phát triển mạnh mẽ và được áp dụng cho nhiều ngành công nghiệp khác, bao gồm cả kỹ thuật ô tô.

Theo định nghĩa, một tập mờ B xác định trên tập kinh điển M là một tập mà một phần tử của nó được biểu diễn bởi một cặp giá trị $(x, \mu_B(x))$. Trong đó, $x \in M$ và $\mu_B(x)$ là một ánh xạ hay còn được gọi là hàm liên thuộc của tập mờ B [2].

$$\mu_B(x): M \to [a,b], \forall x \in M \qquad (1)$$

Có nhiều dạng hàm liên thuộc được sử dụng trong điều khiển, chẳng hạn như hàm tam giác, hàm hình thang, hàm hình chuông, hàm Gauss, hàm sigmoid,… Mỗi kiểu hàm liên thuộc có những đặc tính riêng biệt và phạm vi áp dụng cụ thể cho từng đối tượng. Tùy theo cách thu nhận các hàm liên thuộc và phương pháp thực hiện phép hợp thành, chúng ta có các luật hợp thành khác nhau, như là: luật hợp thành MAX-MIN, MAX-PROD, SUM-MIN, SUM-PROD.

Từ các mệnh đề mờ và luật hợp thành, ta thu được kết quả là một tập mờ với hàm liên thuộc $\mu_R(x_0, y)$ phụ thuộc vào đầu vào x_0 và đầu ra y. Việc xác định rõ một giá trị y' từ hàm liên thuộc được biết đến là quá trình giải mờ. Hiện nay, có 3 phương pháp chủ yếu được sử dụng để giải mờ, bao gồm: phương pháp cực đại, phương pháp điểm trọng tâm và phương pháp đường tích phân.

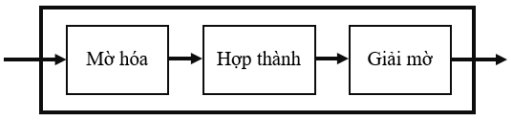
+ Khối mờ hóa: chuyển các giá trị rõ của biến đầu vào thành vector μ (số phần tử tương ứng với số lượng đầu vào).

+ Khối hợp thành: thực hiện luật hợp thành R được thiết kế trên cơ sở luật điều khiển.

+ Khối giải mờ: chuyển tập mờ đầu ra thành giá trị rõ y'.

Trên thực tế, luật điều khiển mờ thường được thiết kế dựa trên ý tưởng và kinh nghiệm của các nhà nghiên cứu. Điều khiển mờ có thể áp dụng cho nhiều hệ thống trên ô tô ngày nay mà không phụ thuộc vào đối tượng.

Một bộ điều khiển mờ thường bao gồm 3 thành phần cơ bản (Hình 1):



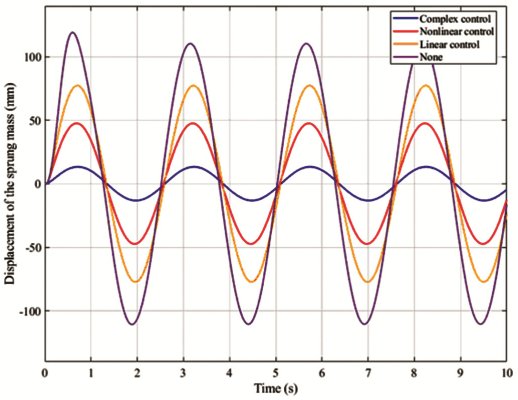
Hình 1. *Bộ điều khiển mờ*

2. ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN MỜ

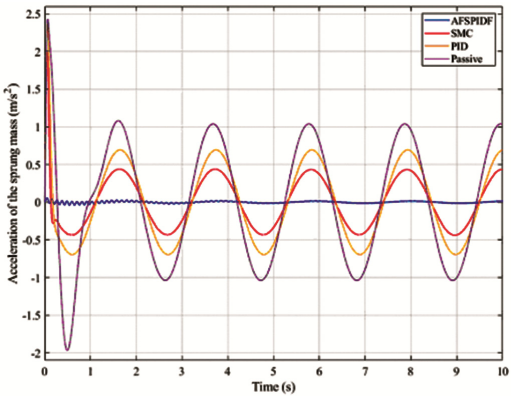
Giải thuật mờ được sử dụng phổ biến để điều khiển các hệ thống cơ điện tử hiện đại trên ô tô. Trong [3], Le đã trình bày về việc thiết kế một bộ điều khiển mờ cho hệ thống phanh ABS trên ô tô. Trong nghiên cứu này, Le đã kết hợp giữa thuật toán mờ loại 2 với thuật toán mạng nơ ron nhân tạo và thuật toán bầy đàn PSO. Một phương pháp điều khiển mờ khác sử dụng hàm liên thuộc có dạng tam giác và dạng hình thang được trình bày trong bài báo của Aksjonov et al. với mục tiêu kiểm soát độ trượt của hệ thống phanh ô tô [4]. Kết quả của [4] cho thấy việc áp dụng thuật toán mờ cho hệ thống phanh ABS có thể giúp đảm bảo hiệu quả chống trượt một cách tối ưu.

Thuật toán mờ được áp dụng cho các hệ thống lái điện trên ô tô. Trong [5], Lin et al. kết hợp thuật toán điều khiển SMC và giải thuật mờ nơ ron để nâng cao độ ổn định cho hệ thống lái. Các phương trình toán được sử dụng trong [5] có độ phức tạp cao. Một giải thuật mờ khác được áp dụng cho hệ thống lái ô tô và mang lại hiệu quả cao được chỉ ra trong [6]. Theo Mirzaei và Mirzaeinejad [6], thuật toán này có thể áp dụng cho đồng thời cả hệ thống lái và hệ thống phanh một cách tối ưu. Tuy nhiên, các tác giả trên chỉ sử dụng các hàm liên thuộc đơn giản với ba mức độ: thấp, trung bình và cao.

Trong thời gian qua, tác giả đã thực hiện việc ứng dụng lý thuyết mờ để điều khiển hệ thống treo và chống lật chủ động trên ô tô. Trong [7], tác giả đã thiết kế một thuật toán mờ với hai đầu vào (chuyển vị và gia tốc) để điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID hệ thống treo. Việc điều chỉnh này giúp nâng cao khả năng thích nghi của hệ thống trước những sự thay đổi từ bên ngoài. Kết quả trong [7] cho thấy chuyển vị thân xe đã giảm đáng kể khi áp dụng thuật toán mờ PID-SMC (Hình 2). Trong các nghiên cứu sau đó, tác giả đã đề xuất sử dụng các bộ điều khiển mờ tích hợp cho hệ thống treo với hai vai trò: bộ điều khiển thành phần của hệ thống [8] và chỉnh định các tham số của bộ điều khiển khác [9]. Theo kết quả trên Hình 3, gia tốc thân xe được đảm bảo trong ngưỡng ổn định khi áp dụng thuật toán mờ tích hợp để điều khiển hệ thống treo ô tô.

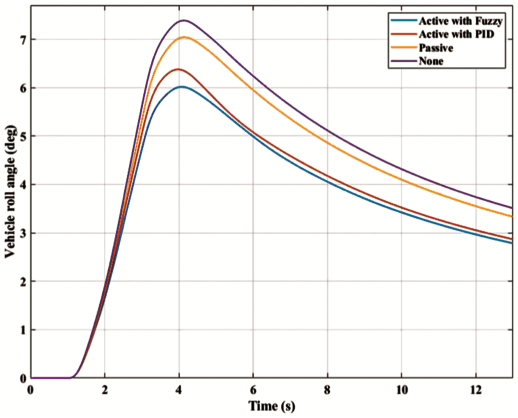


Hình 2. *Chuyển vị thân xe [7]*



Hình 3. *Gia tốc thân xe [9]*

Một ứng dụng của tập mờ trong điều khiển hệ thống chống lật được chỉ ra trong [10] bởi Pi et al. Họ đã giới thiệu việc sử dụng thuật toán mờ để hiệu chỉnh các tham số của bộ điều khiển PID cho mô hình thanh chống lật thủy lực. Một giải pháp điều khiển mờ trực tiếp khác [11] được tác giả thực hiện dựa trên các quan điểm của Pi et al. Kết quả [10, 11] cho thấy góc nghiêng của thân xe được giảm xuống một khi áp dụng các thuật toán mờ cho hệ thống (Hình 4).



Hình 4. *Góc nghiêng thân xe [11]*

3. KẾT LUẬN

Điều khiển mờ là một thuật toán thông minh được sử dụng cho nhiều các hệ thống cơ điện tử trên ô tô. Một bộ điều khiển mờ thông thường có ba thành phần tương ứng với ba chức năng cụ thể. Luật mờ thường được xây dựng dựa trên kinh nghiệm và kiến thức của người thiết kế.

Các thuật toán điều khiển logic mờ có thể giúp nâng cao hiệu năng của hệ thống mà không cần phải xác định trước đối tượng. Tuy nhiên, việc lựa chọn các hàm liên thuộc và luật mờ tối ưu là một thách thức rất khó cho các nhà nghiên cứu. Trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ tiếp tục cải thiện và phát triển các bộ điều khiển mờ thích nghi để nâng cao chất lượng của hệ thống phi tuyến.

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Duy Anh. 2016. Lý thuyết điều khiển hiện đại. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

[2] Nguyễn Hoài Nam, Nguyễn Thu Hà. 2021. Điều khiển mờ và mạng nơ ron. Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội.

[3] T. L. Le. 2019. Intelligent fuzzy controller design for antilock braking systems. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems.

[4] A. Aksjonov, et al. 2021. Hardware-in-the-Loop Test of an Open-Loop Fuzzy Control Method for Decoupled Electrohydraulic Antilock Braking System. IEEE Transactions on Fuzzy Systems.

[5] F. J. Lin, et al. 2017. Intelligent Sliding-Mode Position Control Using Recurrent Wavelet Fuzzy Neural Network for Electrical Power Steering System. International Journal of Fuzzy Systems.

[6] M. Mirzaei and H. Mirzaeinejad. 2017. Fuzzy Scheduled Optimal Control of Integrated Vehicle Braking and Steering Systems. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics.

[7] T. A. Nguyen. 2023. Research on the Sliding Mode - PID control algorithm tuned by fuzzy method for vehicle active suspension. Forces in Mechanics.

[8] T. A. Nguyen. 2023. A novel approach with a fuzzy sliding mode proportional integral control algorithm tuned by fuzzy method (FSMPIF). Scientific Reports.

[9] T. A. Nguyen. 2023. Proposing an original control algorithm for the active suspension system to improve vehicle vibration: Adaptive fuzzy sliding mode proportional-integral-derivative tuned by the fuzzy (AFSPIDF). Heliyon.

[10] P. Dawei, et al. 2018. Design and experimental validation of control algorithm for vehicle hydraulic active stabilizer bar system. Part D: Journal of Automobile Engineering.

[11] T. A. Nguyen. 2023. Establishing a novel adaptive fuzzy control algorithm for an active stabilizer bar with complex automotive dynamics model. Ain Shams Engineering Journal.