

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ CHẨN ĐOÁN TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT CỦA HỆ THỐNG NHIÊN LIỆU TRÊN ĐỘNG CƠ XE LU HAMM

APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR FAULT DIAGNOSIS OF THE ENGINE FUEL SYSTEM OF HAMM ROLLER

Phạm Quốc Thái*, Huỳnh Đức Trí

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; *pqthai@dut.udn.vn, hdttri@dut.udn.vn

Tóm tắt - Logic mờ được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như: Kỹ thuật, y học, điều khiển học, kinh tế. Ứng dụng điều khiển mờ trong điều khiển và chẩn đoán các hệ thống trên ô tô và máy chuyên dụng đang dần được quan tâm trong những năm gần đây. Bài báo trình bày nghiên cứu xây dựng logic mờ trong việc chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu trên động cơ lắp trên xe Lu Hamm. Hệ mờ chẩn đoán được xây dựng bao gồm các bước: Chọn thông số vào-ra, xây dựng đặc trưng thông số, xây dựng tập luật với quy tắc mờ Mamdani được chọn và giải mờ bằng phương pháp trọng tâm. Mô phỏng hệ thống được thực hiện bằng công cụ Fuzzy Logic Designer trong phần mềm Matlab. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ mờ chẩn đoán được thực hiện rất thuận lợi, nhanh chóng và hiệu quả với kết quả chính xác và tin cậy.

Từ khóa - Logic mờ; hệ thống cung cấp nhiên liệu; động cơ diesel; chẩn đoán kỹ thuật; xe Lu Hamm

1. Đặt vấn đề

Xe Lu nói riêng và máy chuyên dụng nói chung là những thiết bị có giá trị kinh tế lớn. Lại thường xuyên làm việc trong môi trường khắc nghiệt nên rất dễ gặp sự cố kỹ thuật. Việc chẩn đoán hư hỏng, bảo dưỡng và sửa chữa các phương tiện này lại đòi hỏi nhiều chi phí và thời gian.

Hệ thống cung cấp nhiên liệu là thành phần rất quan trọng của động cơ diesel trang bị trên các máy chuyên dùng. Trạng thái làm việc của hệ thống nhiên liệu ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất làm việc của động cơ. Tuy nhiên, trong quá trình hoạt động, các tính năng kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu thay đổi dần theo hướng xấu đi. Do đó, việc chẩn đoán, xác định đúng trạng thái kỹ thuật của hệ thống, giúp dự báo chính xác các sự cố có thể xảy ra là rất cần thiết.

Công tác chẩn đoán, xác định trạng thái kỹ thuật trên các máy chuyên dụng trên thực tế phụ thuộc chủ yếu vào kinh nghiệm và kiến thức của cán bộ kỹ thuật (chuyên gia) tại hiện trường. Trong khi đó, các chuyên gia thường có những đánh giá chủ quan dựa vào trực giác, dẫn đến kết quả phân tích chẩn đoán thường ước lượng và thiếu chính xác. Ngoài ra, máy chuyên dụng là đối tượng có nhiều tính chất đặc thù, chưa có bộ thông số hoàn chỉnh để mô tả tình trạng hư hỏng của các chi tiết trong hệ thống một cách rõ ràng. Bên cạnh đó, trong quá trình sử dụng, trạng thái kỹ thuật của máy thay đổi dần khó biết trước được. Cần phải có giải pháp phương pháp chẩn đoán hiệu quả trên máy chuyên dụng [1]. Trong những năm qua có nhiều nhà khoa học trên thế giới đã đề xuất nhiều giải pháp chẩn đoán trạng thái của hệ thống trên động cơ ô tô. Sabeh và các cộng sự đã áp dụng giả thuyết cấu trúc vào chẩn đoán hệ thống cung cấp nhiên liệu [2]. Phương pháp phổ rung động được Marcin và cộng sự giới thiệu [3]. Trong khi đó, thuật toán IFOA-VMD và HDE được sử dụng như phương pháp chẩn

Abstract - Fuzzy logic is widely studied and applied in many fields, such as engineering, medicine, cybernetics, and economics. The application of fuzzy logic in controlling and diagnosing systems of automobiles and specialized machines has attracted increasing interest in recent years. This paper presents research on fuzzy logic in the fault diagnosis of the engine fuel system of Hamm roller. The fuzzy diagnostic system is built up including the following steps: Selecting the input and output parameters, setting the parameter characteristics, developing a rule set with Mamdani fuzzy rule, and defuzzification with the centroid method. The simulation of the designed fuzzy system is performed with the toolbox of Fuzzy Logic Designer in Matlab software. The results show that the diagnostic fuzzy system has performed smoothly and effectively with accurate and reliable results.

Key words - Fuzzy logic; fuel system; diesel engine; technical diagnostics; Hamm roller.

đoán lỗi trong công trình nghiên cứu của Song và nhóm nghiên cứu [4].

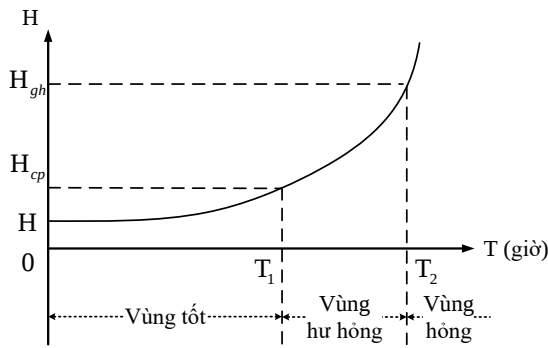
Logic mờ (fuzzy logic) hay còn gọi là hệ chuyên gia có thể mô tả đầy đủ và trực quan trạng thái kỹ thuật của các chi tiết trong hệ thống. Ngoài ra, logic mờ còn có thể tổ hợp tri thức của nhiều chuyên gia và hệ thống để mang lại kết quả chẩn đoán chính xác. Do đó, logic mờ được nghiên cứu và ứng dụng trong chẩn đoán kỹ thuật trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: Điều khiển học, y học, cơ khí động lực, ... Trong những năm qua, có nhiều nghiên cứu liên quan đến logic mờ được đề xuất. Baban và các cộng sự đã ước lượng trạng thái của đĩa phanh bằng công cụ mờ [5]. Chẩn đoán lỗi trên hệ thống phanh bằng hệ thống mờ đã được Murphey trình bày trong bài báo của mình [6]. Modi đề cập đến điều khiển mờ trên hệ thống phanh chống bó cứng bánh xe [7].

Nghiên cứu này sẽ xây dựng mô hình chẩn đoán cho hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ diesel trên xe Lu Hamm bằng logic mờ. Biến vào ra của hệ chẩn đoán mờ được lựa chọn dựa vào hiện tượng biểu hiện trên động cơ và nguyên nhân sai hỏng tương ứng.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Thông số chẩn đoán và thông số kết cấu

Thông số chẩn đoán, ký hiệu C, là các thông số phản ánh trạng thái của đối tượng. Các biến này được nhận biết, xác định bởi các thiết bị đo và con người. Thông số kết cấu, ký hiệu H, là các thông số đánh giá tình trạng kỹ thuật của đối tượng. Trong quá trình làm việc, giá trị thông số kết cấu thay đổi từ giá trị ban đầu H_0 đến giá trị giới hạn H_{gh} , là hàm số tương quan với thời gian làm việc. Đồ thị mô tả tính tương quan của thông số kết cấu theo thời gian làm việc được biểu diễn ở Hình 1.



Hình 1. Biểu diễn mối quan hệ giữa thông số kết cấu và thời gian làm việc của đối tượng

2.2. Tập hợp mờ

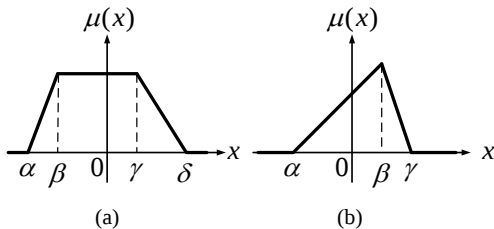
Hệ chuyên gia mờ dùng các thông số chẩn đoán là các biến “Vào”, biến “Ra” là các thông số kết cấu. Từ đó, xác định mối quan hệ giữa các biến “Vào” và các biến “Ra”.

Tập mờ $\tilde{A}$ xác định trên tập cơ sở X là một tập hợp mà mỗi phần tử của nó là một cặp giá trị $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$, trong đó $x \in X$ và $\mu_{\tilde{A}}(x)$ là ánh xạ.

$$\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$$

Ánh xạ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ là hàm liên thuộc của tập mờ $\tilde{A}$.

Dạng hàm liên thuộc phổ biến nhất là dạng hình thang - Trapmf (Hình 2a), dạng hình tam giác - Trimf (Hình 2b), dưới đây.



Hình 2. Các dạng hàm liên thuộc phổ biến

2.3. Quy tắc mờ

Quy tắc mờ là phát biểu **nếu-thì**. Trong đó, mệnh đề điều kiện và mệnh đề kết luận là các mệnh đề mờ. Xét quy tắc sau đây:

Nếu x_1 là $\tilde{A}_1$ và x_2 là $\tilde{A}_2$ thì y là $\tilde{B}$ (1)

Trong đó, các tập mờ $\tilde{A}_1$, $\tilde{A}_2$ và $\tilde{B}$ tương ứng được xác định bởi các hàm liên thuộc $\mu_{\tilde{A}_1}(x_1)$, $\mu_{\tilde{A}_2}(x_2)$ và $\mu_{\tilde{B}}(y)$.

Đặt: $\tilde{P}_1 : x_1$ là $\tilde{A}_1$ $\tilde{P}_2 : x_2$ là $\tilde{A}_2$

$\tilde{Q} : y$ là $\tilde{B}$

Ta có thể viết lại quy tắc (1) như sau:

$$(\tilde{P}_1 \wedge \tilde{P}_2) \rightarrow \tilde{Q}$$

Lại có $T(\tilde{P} \wedge \tilde{Q}) = \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x)$

và $T(\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}) = I(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y))$

với $I : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

Ta tính được giá trị thật của quy tắc (1) là:

$$T((\tilde{P}_1 \wedge \tilde{P}_2) \rightarrow \tilde{Q}) = I(T(\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \mu_{\tilde{A}_2}(x_2)), \mu_{\tilde{B}}(y)) \quad (2)$$

Trong đó, T là toán tử thực hiện phép giao và I là toán tử thực hiện phép kéo theo. Phép giao dùng toán tử T biểu diễn liên từ **và** (AND), phép kéo theo dùng toán tử I biểu diễn sự suy luận, liên từ **nếu-thì**.

Như vậy, quy tắc mờ có thể được biểu diễn bởi quan hệ mờ. Hàm liên thuộc của quan hệ mờ $\tilde{R}$ biểu diễn quy tắc (1) được cho bởi:

$$\mu_{\tilde{R}}(x_1, x_2, y) = I(T(\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \mu_{\tilde{A}_2}(x_2)), \mu_{\tilde{B}}(y)) \quad (3)$$

Do đó, quan hệ mờ $\tilde{R}$ biểu diễn quy tắc trên có thể viết dưới dạng sau:

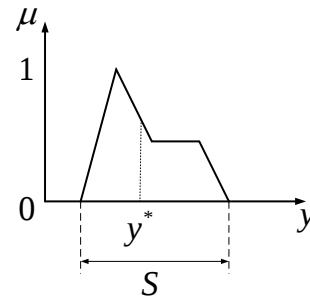
$$\tilde{R} = I(T(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2), \tilde{B}) \quad (4)$$

2.4. Giải mờ

Giải mờ là xác định một giá trị rõ ở đầu ra theo hàm liên thuộc hợp thành đã tìm được từ các luật hợp thành và điều kiện đầu vào. Trong nghiên cứu này, phương pháp trọng tâm để giải mờ, được mô tả như sau:

$$y^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(y) \cdot y dy}{\int \mu_{\tilde{C}}(y) dy} \quad (5)$$

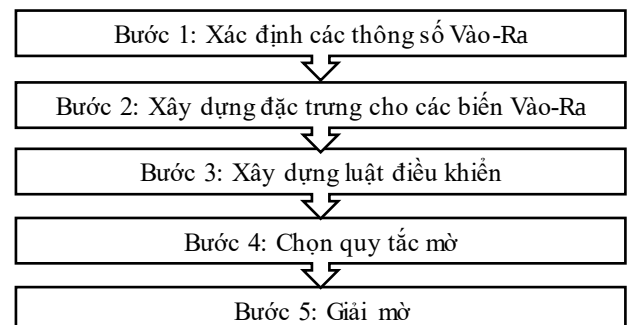
Về mặt hình học, phương pháp trọng tâm gán giá trị rõ cho biến ở ngõ ra là giá trị mà tại đó hàm liên thuộc được chia làm hai phần có diện tích bằng nhau. Phương pháp được mô tả trực quan ở Hình 3.



Hình 3. Phương pháp trọng tâm

3. Xây dựng hệ mờ chẩn đoán hư hỏng hệ thống cung cấp nhiên liệu cho động cơ diesel trên xe lu Hamm

Quy trình xây dựng hệ mờ chẩn đoán hư hỏng hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel trên xe lu Hamm được mô tả như trên sơ đồ Hình 4.



Hình 4. Quy trình xây dựng hệ mờ chẩn đoán

3.1. Xác định các thông số Vào-Ra

Đối tượng chẩn đoán là hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel trên xe lu Hamm. Việc chọn các thông số chẩn đoán – biến Vào, các thông số kết cấu – biến Ra, dựa trên tình trạng làm việc, những thay đổi do hệ thống cung cấp nhiên liệu gây ra trên động cơ và ý kiến của các chuyên gia. Nghiên cứu này lấy cơ sở lựa chọn theo các phương pháp được giới thiệu ở [8] - [9].

Hệ thống nhiên liệu động cơ trên xe Lu Hamm là một cụm chi tiết rất phức tạp. Do đó, bài toán phân tích và chẩn đoán tất cả các cụm chi tiết trong toàn bộ hệ thống sẽ trở nên công kênh và phức tạp. Trong khi đó, có những chi tiết ít ảnh hưởng đáng kể đến tình trạng kỹ thuật của động cơ. Bài báo này tập trung phân tích sự thay đổi tình trạng kỹ thuật của các bộ phận chính như: Bơm cao áp, bơm thấp áp, bầu lọc, vòi phun. Theo đó, thông số Vào gồm 3 biến: Giảm công suất động cơ, màu sắc khí thải, rung động động cơ. Thông số Ra là các hư hỏng thường gặp trên các đối tượng gồm 4 biến: hỏng bơm cao áp, hỏng bơm thấp áp, hỏng bầu lọc, hỏng vòi phun.

Các biến mờ được chọn để chẩn đoán tình trạng hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel được mô tả trong Bảng 1 sau đây.

Bảng 1. Thông số Vào-Ra

STT	Tên biến ngôn ngữ (ký hiệu)	Tên viết tắt	Kiểu biến	Đơn vị
1	Giảm công suất động cơ (c_1)	CSDC	Vào	%
2	Màu sắc khí thải (c_2)	MSKT	Vào	%
3	Rung động động cơ (c_3)	RDDC	Vào	%
4	Hỏng bơm cao áp (h_1)	BCA	Ra	%
5	Hỏng bơm thấp áp (h_2)	BTA	Ra	%
6	Hỏng bầu lọc (h_3)	BLNL	Ra	%
7	Hỏng vòi phun (h_4)	VPCA	Ra	%

3.2. Xây dựng đặc trưng cho các thông số Vào-Ra

Các biến trên được định nghĩa rõ ràng thông qua các khái niệm với các giá trị cụ thể. Các thông số của hàm liên thuộc chọn theo dạng hình thang và hình tam giác với các điểm đặc trưng $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. Mỗi biến vào được chọn với 4 tập mờ con, biến ra được chọn với 4 tập mờ con.

Bảng 2. Tập mờ của biến “Vào”

Đặc trưng	Tập mờ biến “Vào”			
Ký hiệu ($i = 1 \div 3$)	C_i	C_i	C_i	C_i
Thông số (%)	0-0-20-40	20-40-60	40-60-80	60-80-100-100
Ngôn ngữ	Tốt	Khá	Trung bình	Yếu
Miền xác định (%)	0-40	20-60	40-80	60-100

Bảng 3. Tập mờ của biến “Ra”

Đặc trưng	Tập mờ biến “Ra”			
Ký hiệu ($i = 1 \div 4$)	h_i	h_i	h_i	h_i
Thông số (%)	0-0-20-40	20-40-60	40-60-80	60-80-100-100

Đặc trưng	Tập mờ biến “Ra”			
Ngôn ngữ	Tốt	Khá	Trung bình	Yếu
Miền xác định (%)	0-40	20-60	40-80	60-100

3.3. Xây dựng luật điều khiển

Luật điều khiển của hệ mờ được xây dựng trên cơ sở khảo sát hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel trên xe Lu Hamm. Kỹ thuật bảo dưỡng và sửa chữa hệ thống nhiên liệu diesel [10] và ý kiến chuyên gia [11]. Tập luật được xây dựng gồm 20 luật được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Tập luật của bộ chẩn đoán mờ hệ thống cung cấp nhiên liệu diesel trên động cơ xe Lu Hamm

STT	C_1	C_2	C_3	h_1	h_2	h_3	h_4
1	T	T	T	T	T	T	T
2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
3	K	T	K	T	K	K	T
4	K	K	K	K	K	T	K
5	TB	TB	K	K	TB	K	K
6	TB	Y	TB	K	TB	T	Y
7	TB	K	TB	TB	Y	Y	K
8	Y	Y	Y	Y	Y	TB	Y
9	Y	K	Y	Y	TB	Y	K
10	Y	TB	Y	TB	Y	TB	Y
11	Y	TB	TB	TB	TB	K	TB
12	TB	K	Y	TB	Y	TB	K
13	TB	K	K	TB	TB	TB	K
14	Y	TB	K	K	TB	K	Y
15	TB	TB	K	K	TB	T	Y
16	TB	Y	Y	TB	Y	TB	Y
17	TB	TB	Y	TB	TB	TB	Y
18	TB	Y	K	TB	K	T	Y
19	TB	Y	TB	K	Y	TB	Y
20	Y	K	TB	TB	K	TB	K

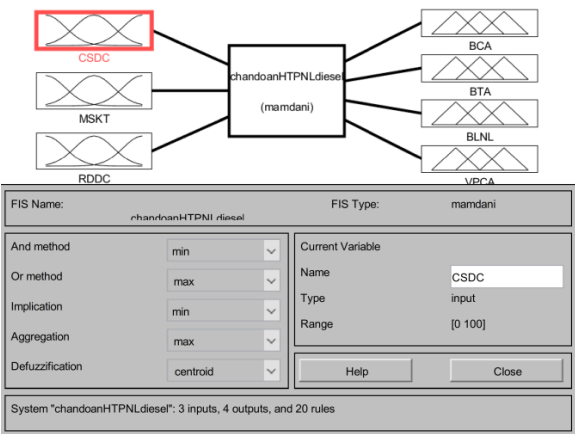
Chọn quy tắc mờ Mamdani để biểu diễn hệ tri thức trong bài toán này và phương pháp trọng tâm để giải mờ trong nghiên cứu này.

4. Kết quả mô phỏng

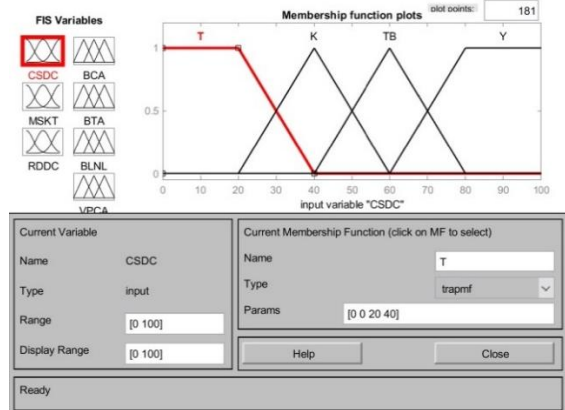
Mô hình chẩn đoán hư hỏng cho hệ thống cung cấp nhiên liệu xe Lu Hamm được xây dựng trên phần mềm Matlab.

Giao diện mô hình được thể hiện trực quan cấu trúc mô hình gồm 3 biến vào, quy tắc mờ Mamdani và 4 biến ở ngõ ra, được mô tả như trên Hình 5. Đặc trưng các biến Vào-Ra được thể hiện trên Hình 6 và Hình 7. Mỗi biến Vào-Ra gồm 4 tập mờ con với hàm liên thuộc tương ứng.

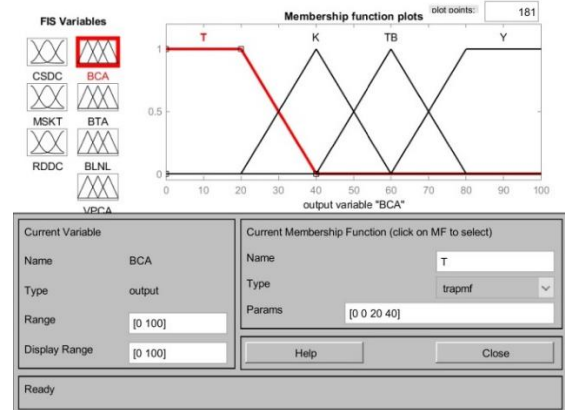
Hình 8 là giao diện xây dựng tập luật của hệ mờ gồm 20 luật điều khiển trong khối quy tắc mờ Mamdani.



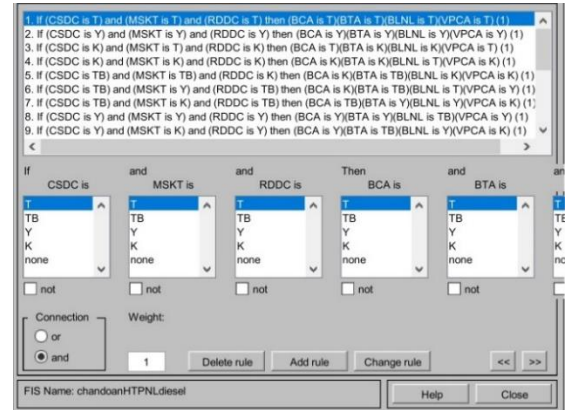
Hình 5. Giao diện chính của mô hình chẩn đoán



Hình 6. Đặc trưng thông số Vào



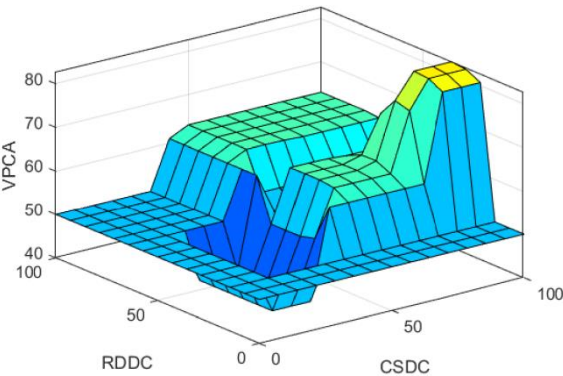
Hình 7. Đặc trưng thông số Ra



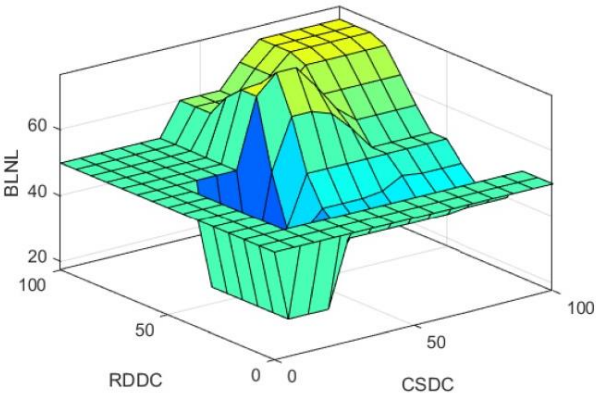
Hình 8. Tập luật điều khiển trong khối quy tắc Mamdani

Hình 9 và 10 thể hiện kết quả mô phỏng hệ mờ chẩn đoán hệ thống nhiên liệu trên động cơ diesel dưới dạng ba chiều.

Kết quả mô phỏng trên Hình 9 cho thấy xu hướng hư hỏng của vòi phun tăng khi độ rung động của động cơ và độ giảm công suất của động cơ tăng. Xu hướng tương tự cũng được phản ánh trên Hình 10. Độ rung động và độ giảm công suất của động cơ tăng là dấu hiệu nhận biết mức độ hư hỏng của bộ lọc nhiên liệu.



Hình 9. Quan hệ giữa độ giảm công suất động cơ và rung động động cơ với hư hỏng vòi phun cao áp



Hình 10. Quan hệ giữa độ giảm công suất động cơ và rung động động cơ với hư hỏng bộ lọc nhiên liệu

5. Kết luận và hướng phát triển

Trong nghiên cứu này, hệ mờ chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của hệ thống cung cấp nhiên liệu động cơ diesel trên xe lu Hamm được xây dựng và mô phỏng bằng công cụ Fuzzy Logic Designer. Kết quả mô phỏng cho thấy, hệ mờ được xây dựng thực hiện việc chẩn đoán rất hiệu quả với kết quả chính xác và tin cậy cao. Điều này cho thấy tính khả thi của phương pháp ứng dụng logic mờ trong chẩn đoán kỹ thuật cho các đối tượng khác trên các phương tiện giao thông và máy chuyên dụng.

Hệ mờ được xây dựng có ưu điểm là có tính mở. Do đó, có thể tiếp tục cập nhật tri thức, kinh nghiệm của các chuyên gia vào hệ thống để tăng độ chính xác, đáp ứng tốt công tác chẩn đoán hệ thống nhiên liệu trên động cơ tại hiện trường.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số T2020-02-04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Yi Lu, Tie Qi Chen and B. Hamilton, "A fuzzy system for automotive fault diagnosis: fast rule generation and self-tuning", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2000, vol. 49, no. 2, pp. 651-660.
- [2] Zahi Sabeh, José Ragot, Frédéric Kratz, "Structured hypothesis test-based diagnosis: application to a common rail diesel injection system", *International Mediterranean Modeling Multiconference*, 2004.
- [3] M. Kluczyk and A. Grządziela, "Vibration diagnostics of common rail injectors", *Journal of Marine Engineering & Technology*, 2017, vol. 16, no. 4, pp. 177-184.
- [4] E. Song, Y. Ke, C. Yao, Q. Dong and L. Yang, "Fault Diagnosis Method for High-Pressure Common Rail Injector Based on IFOA-VMD and Hierarchical Dispersion Entropy", *Entropy*, 2019, vol. 21, no. 10, p. 923.
- [5] M. Baban, C. Baban, C. Bungau, G. Dragomir and R. Pancu, "Estimation of the Technical State of Automotive Disc Brakes Using Fuzzy Logic", *International Journal of Computers Communications & Control*, 2014, vol. 9, no. 5, pp. 531.
- [6] Y. L. Murphey, Abul Masrur, ZhiHang Chen and BaiFang Zhang, "A fuzzy system for fault diagnostics in power electronics based brake-by-wire system", *NAFIPS 2005 - 2005 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, Detroit, MI, USA, 2005, pp. 326-331.
- [7] D. Modi, Z. Padia and K. Patel, "Fuzzy Logic Anti Lock Brake System", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2012, pp. 1-8.
- [8] Nguyễn Tiến Hán, Ngô Xuân Tuấn, Ngô Quang Tạo and Nguyễn Thế Anh, "Nghiên cứu chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của hệ thống nhiên liệu động cơ D4DB bằng lý thuyết tập mờ", *VCME* 2018.
- [9] Nguyễn Khắc Trai. *Kỹ thuật chẩn đoán ô tô*. Trường Đại học Giao thông Vận tải: Giao thông vận tải, 2007.
- [10] Lê Hoài Đức. *Chẩn đoán và bảo dưỡng kỹ thuật động cơ đốt trong*. trường Đại học Giao thông vận tải: Giao thông vận tải, 2008.
- [11] Nguyễn Xuân Tuấn. "Ứng dụng lý thuyết tập mờ trong chẩn đoán trạng thái kỹ thuật của hệ thống cung cấp nhiên liệu động cơ Diesel." *Luận văn thạc sĩ kỹ thuật*, 2009.

(BBT nhận bài: 02/4/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 04/5/2020)