

TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ

LÊ BÁ DŨNG⁽¹⁾, NGUYỄN VIỆT HUONG⁽²⁾

Abstract. The basic fuzzy set theory, fuzzy processes and fuzzy model are described in this paper. Following this, the brief of the fuzzy logic control system with different approaches is presented. Finally we discuss the future development of the fuzzy system.

1. LỜI NÓI ĐẦU

Trong mấy chục năm trở lại đây, cùng với sự phát triển không ngừng của khoa học về máy tính, trí tuệ nhân tạo, các phương pháp mới của điều khiển học ngày càng được nghiên cứu và phát triển và đạt được những thành tựu đáng kể. Chúng ta đều biết trong nghiên cứu khoa học, cũng như trong một số lĩnh vực khác luôn tồn tại hai giá trị logic đúng-sai, nó khẳng định điều đặt ra là đúng hay điều đặt ra là sai. Thế giới thực tại không tồn tại một nghĩa chắc chắn như vậy, cụ thể là trong xã hội loài người, các suy nghĩ và tư duy của họ không bao giờ mang một khái niệm nhất định, hay nói cách khác quá trình định lượng trong các ngành khoa học mà ta vẫn dùng không sử dụng để mô tả được các suy nghĩ và tư duy. Ở đây có thể thấy điều chung nhất của con người là có thể trao đổi suy nghĩ và tư duy thông qua ngôn ngữ, ví dụ như trời sẽ mưa, tôi sẽ đến...

2. TẬP MỜ VÀ LOGIC MỜ

Từ buổi sơ khai của quá trình phát triển, Zadeh đã chỉ ra rằng: con người có khả năng phân tích những vấn đề không rõ ràng, không cụ thể. Trong ngôn ngữ của mình, những suy nghĩ và tư duy được thể hiện thật đầy đủ. Lý thuyết tập mờ ra đời phần nào đã mô tả được (số hóa) các suy nghĩ và tư duy, để trên cơ sở đó nhiều công trình đã nghiên cứu và đưa ra những kết quả của việc mô tả các suy nghĩ và tư duy của con người vào các ngành khoa học kỹ thuật. Trong bài báo này tác giả xin giới thiệu phương pháp mô tả trí thức của con người trong ngành điều khiển học thông qua lý thuyết tập mờ.

2.1. Tập mờ và các thuật ngữ

Cho X là một tập hợp các đối tượng được suy ra theo một đặc tính chung bởi x , X có thể là liên tục hoặc rời rạc. X được gọi là không gian tham chiếu (vũ trụ) (universe of discourse), x là các phần tử của X .

Định nghĩa 1. Tập mờ F ở không gian tham chiếu X được đặc trưng bởi một hàm thuộc (membership function) μ_F , nhận các giá trị ở khoảng $[0, 1]$, kí hiệu là $\mu_F : X \rightarrow [0, 1]$. Tập mờ F ở x có thể nhận các đôi giá trị tương ứng có thể viết:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in X, \mu_F(x) : F \rightarrow [0, 1]\}, \quad (1)$$

$$F = \int_X \frac{\mu_F(x)}{x} \quad \text{nếu } X \text{ là liên tục,} \quad (2)$$

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_F(x_i)}{x_i} \quad \text{nếu } X \text{ là rời rạc.} \quad (3)$$

Định nghĩa 2. Giá đỡ, điểm vượt và tập mờ đơn điệu: Giá đỡ $\text{supp}(F)$ của tập mờ F là tập tất cả các điểm $x \in X$ với hàm thuộc có giá trị là $\mu_F(x) > 0$. Một điểm x mà tại đó hàm thuộc có giá trị là $\mu_F(x) = 0$, 5 thì điểm x được gọi là điểm vượt. Tập mờ F với giá đỡ tại điểm x có giá trị của hàm thuộc là một $\mu_F(x) = 1$ còn các giá trị khác của x có giá trị của hàm thuộc là 0 thì lúc đó tập mờ F được gọi là tập mờ đơn điệu.

2.2. Các phép toán của tập mờ

Định nghĩa 3. Hợp của hai tập mờ A, B được ký hiệu là $A \cup B$ với hàm thuộc $\mu_{A \cup B}$ được định nghĩa $\forall x \in X$:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (4)$$

Định nghĩa 4. Giao của hai tập mờ A, B được ký hiệu là $A \cap B$ với hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ được định nghĩa $\forall x \in X$:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (5)$$

Định nghĩa 5. Đảo của tập mờ A được ký hiệu là \bar{A} với hàm thuộc $\mu_{\bar{A}}(x)$ được định nghĩa $\forall x \in X$:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (6)$$

Định nghĩa 6. Tích Đề các: Nếu A_1, A_2, \dots, A_n là tập mờ ở X_1, X_2, \dots, X_n thì tích Đề các của các tập mờ A_1, A_2, \dots, A_n là một tập mờ trong không gian $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ với hàm thuộc của nó là:

$$\mu_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min(\mu_{A_1}, \mu_{A_2}, \dots, \mu_{A_n}) \quad (7)$$

hoặc:

$$\mu_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{A_1} \cdot \mu_{A_2} \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}. \quad (8)$$

Định nghĩa 7. Quan hệ mờ: Một quan hệ mờ n -chiều trong X_1, X_2, \dots, X_n được định nghĩa

$$R_{X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n} = \{(X_1, X_2, \dots, X_n), \mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n) | (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n\}. \quad (9)$$

2.3. Biến ngôn ngữ và tập mờ

Định nghĩa 8. Số mờ F trong không gian tham chiếu mà liên tục ở trên X (trực thực) là một tập mờ F trong X , là một tập mờ chuẩn và lồi:

$$\max_{x \in X} \mu_F(x) = 1$$

$$\mu_F(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_F(x_1), \mu_F(x_2)); x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0, 1]. \quad (11)$$

Định nghĩa 9. Biến ngôn ngữ được đặc trưng bởi các phần tử $(x, T(x), X, G, M)$ trong đó x là tên biến, $T(x)$ là giá trị ngôn ngữ của x được định nghĩa trên X , G là các luận cứ để có tên x và M là ngữ nghĩa của tên.

2.4. Logic mờ và lập luận xấp xỉ

Lập luận xấp xỉ trong logic mờ bao gồm hai dạng quan trọng của luật suy diễn:

- Dạng Generalised modus ponens (GMP)

Dạng GMP được viết

$$\frac{x \text{ is } A' \quad \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B}{y \text{ is } B'} \tag{11a}$$

Kết luận: $y \text{ is } B'$

Trong đó x, y là các biến ngôn ngữ, A, A', B, B' là các giá trị ngôn ngữ trong không gian tham chiếu U, V . Trong thực tế dạng modus ponens có thể viết một cách tổng quát như sau:

$$\frac{\text{Sự kiện } A \quad \text{Luật if } A \text{ then } B}{\text{Sự kiện } B}$$

Kết luận: Sự kiện B

Lấy ví dụ:

Tốc độ của xe là rất cao
 Nếu tốc độ của xe là cao thì người lái sẽ mệt
 Kết luận: Người lái sẽ rất mệt

Hoặc:

$$\frac{x \text{ is } A' \quad \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B}{y \text{ is } B'}$$

Kết luận: $y \text{ is } B'$

- Dạng modus tollens

Dạng modus tollens có thể biểu diễn như sau:

$$\frac{\text{Sự kiện } B \quad \text{Luật if } A \text{ then } B}{\text{Sự kiện } A} \tag{11b}$$

Kết luận: Sự kiện A

Lấy ví dụ:

Người lái sẽ rất mệt
 Nếu tốc độ của xe là cao thì người lái sẽ mệt
 Kết luận: Tốc độ của xe là rất cao

Hoặc:

$$\frac{y \text{ is } B' \quad \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B}{x \text{ is } B'}$$

Kết luận: $x \text{ is } B'$

Dạng GMB với $A = A'$, $B = B'$ có thể tương đương như lập luận tiến (forward data-driven inference) nó được sử dụng rộng rãi trong điều khiển logic mờ. Trong khi đó GMT với $B' = \text{not } B$, và $A' = \text{not } A$ có thể tương đương như lập luận lùi (backward goal-driven inference) nó được sử dụng rộng rãi trong các hệ chuyên gia, đặc biệt là trong các hệ chuẩn đoán bệnh.

Định nghĩa 10. Phép suy diễn hợp thành Max-Min: Cho A là tập mờ trên X , B là tập mờ trên Y , R là quan hệ mờ trên tích Đề các $X \times Y$ với

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) : A \rightarrow [0, 1]\}$$

$$B = \{(y, \mu_B(y)) | y \in Y, \mu_B(y) : B \rightarrow [0, 1]\}$$

và

$$R = \{(x, y, \mu_R(x, y)) | (x, y) \in X \times Y, \mu_R(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))\},$$

với A , R biết trước thì B sẽ được tính:

$$B = A \circ R = \max(\min(\mu_A(x), \mu_R(x, y))), \quad (12)$$

trong đó \circ là phép hợp thành.

2.5. Quá trình mờ

Các quá trình hay nói cách khác là các đối tượng điều khiển được chia ra làm hai dạng, đó là quá trình tiền định và quá trình ngẫu nhiên. Có rất nhiều phương pháp để miêu tả các quá trình trên.

Với hệ thống tiền định: là hệ thống mà ta đã xác định được đầy đủ các tính chất của nó, từ đó với công cụ toán học ta có thể miêu tả nó theo chuyển đổi Laplace hoặc chuyển đổi Z .

Với hệ thống bất định: Thế giới thực tại luôn luôn không phải là tiền định, các thông tin trong đó không được xác định rõ ràng trong khi các dữ liệu của hệ thống tồn tại một cách khách quan. Các phương pháp toán học dùng để mô hình hóa cho các đối tượng này có thể dùng các phương pháp thống kê hoặc lý thuyết có thể (posibility theory). Lý thuyết xác suất được dùng cho mô hình hóa các quá trình ngẫu nhiên.

Hệ thống mờ được xây dựng trên cơ sở logic mờ cho các đối tượng mang tính bất định các thông tin không có hoặc thiếu, dữ liệu của hệ khi thu nhận mang tính chủ quan, các nhiễu không phải là ngẫu nhiên (random) và ta không thể sử dụng các phương pháp xử lý của lý thuyết ngẫu nhiên được.

2.6. Mô hình mờ

Một mô hình động học là công cụ để phân tích và thiết kế hệ điều khiển cho các quá trình phức tạp. Ở đây tồn tại các bước để mô hình hóa, đó là: từ số liệu và các hiểu biết về đối tượng ta sẽ chọn các biến và cấu trúc của mô hình, sau đó phát triển và giải các phương trình của mô hình, cuối cùng là đánh giá các kết quả.

Thực tế trong rất nhiều trường hợp các phương pháp toán học khó có thể miêu tả một cách thỏa đáng các đối tượng điều khiển, trong khi đó người vận hành có khả năng mô tả một cách đầy đủ quá trình hoạt động của các đối tượng trên bằng lời giải thích. Với các trường hợp như vậy một mô hình mờ được xây dựng trên cơ sở lý thuyết tập mờ có

khả năng diễn đạt một cách thích đáng mô tả trên của người vận hành. Hơn thế nữa mô hình mờ trong đối dễ xây dựng, không cần phải có một công cụ toán học cao siêu, mà lại có thể mô tả được lập luận của con người và các tri thức về quá trình. Với mô hình mờ, trong đó quan hệ mờ có thể thay thế được các phương trình sai phân và vi phân trong các mô hình toán học truyền thống [10, 15]. Một mô hình mờ có thể định nghĩa như là tập của các quan hệ ngôn ngữ. Ma trận quan hệ và luật hợp thành của phép suy diễn đã thay thế các mô hình toán học truyền thống.

Ta có thể lấy ví dụ về các luật của một hệ thống nhất định theo dạng sau:

$$\begin{aligned} &\text{if } x = a_1 \text{ and } y = b_1 \text{ then } z = c_1 \text{ also} \\ &\text{if } x = a_2 \text{ and } y = b_2 \text{ then } z = c_2 \text{ also} \\ &\dots\dots\dots \\ &\text{if } x = a_n \text{ and } y = b_n \text{ then } z = c_n \end{aligned} \quad (13)$$

Trong đó x, y là các biến ngôn ngữ miêu tả trạng thái của hệ thống, z là đầu ra của hệ và a_i, b_i, c_i là các giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ.

Lấy ví dụ:

if temperature = high and level = low then flow = high

Có thể mô tả quá trình trên như sau:

$$A = \text{High} = \{(x, \mu_{\text{High}}(x)) | x \in X, \mu_{\text{High}}(x) : \text{High} \rightarrow [0, 1]\}$$

$$B = \text{Low} = \{(y, \mu_{\text{Low}}(y)) | y \in Y, \mu_{\text{Low}}(y) : \text{Low} \rightarrow [0, 1]\}$$

$$C = \text{High} = \{(z, \mu_{\text{High}}(z)) | z \in Z, \mu_{\text{High}}(z) : \text{High} \rightarrow [0, 1]\}$$

$$R : X \times Y \times Z$$

và theo (12) thì

$$Z' = (X' \times Y') \circ R, \quad (14)$$

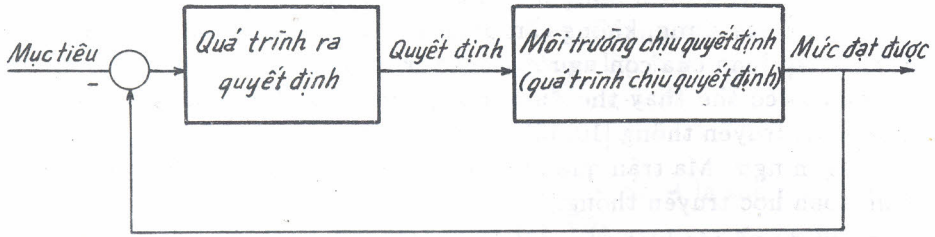
trong đó $(X' \times Y')$ là tích Đề các của không gian tham chiếu các trạng thái ở thời điểm quan sát, R là quan hệ mờ của X, Y và Z , \circ là phép hợp thành.

2.7. Hệ điều khiển mờ

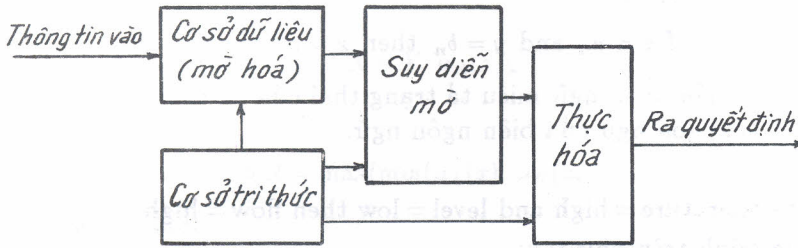
2.7.1. Phương pháp tiệm cận

Thông tin về các đối tượng điều khiển có thể không tồn tại, không chính xác, không đầy đủ. Trong các trường hợp chung nhất, ở các quá trình phức tạp, chúng ta không có những hiểu biết đầy đủ về quá trình đó, bởi vì các quá trình đó chứa nhiều bất định và rất khó có được một mô hình toán học chính xác. Do đó điều khiển các hệ phức tạp nêu trên được thực hiện trên cơ sở các kinh nghiệm, các suy nghĩ, và bằng các diễn giải theo tư duy của con người. Trong thực tế nếu chúng ta có suy nghĩ là thay thế hệ điều khiển trên bằng các bộ điều khiển tự động thì cần phải thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở lý thuyết tập mờ với mô hình mờ thông qua biến ngôn ngữ. Quá trình thiết kế bộ điều khiển mờ có thể coi như là quá trình ra quyết định. Hình 1 biểu diễn quá trình ra quyết định.

Từ hình 1 của quá trình ra quyết định của bộ điều khiển mờ, chúng ta có thể khái quát một bộ điều khiển mờ bao gồm các phần cơ bản như ở hình 2.



Hình 1. Quá trình ra quyết định



Hình 2. Các thành phần cơ bản của bộ điều khiển mờ

Theo hình 2, các thành phần cơ bản của bộ điều khiển mờ là: cơ sở tri thức, cơ sở dữ liệu, quá trình suy diễn và thực hóa với các chức năng sau:

- Cơ sở dữ liệu bao gồm các số liệu của quá trình đo, các sự kiện..., được thực hiện thông qua quá trình mờ hóa:
 - + Đo các giá trị của các biến vào.
 - + Thực hiện phép ánh xạ tỷ lệ, có nghĩa là xác định vùng giá trị đo trong không gian tham chiếu.
 - + Thực hiện phép chuyển đổi từ tín hiệu đo đến giá trị tương ứng.
- Cơ sở tri thức chứa đựng các tri thức của các chuyên gia ở lĩnh vực áp dụng, các yêu cầu về mục tiêu điều khiển. Cơ sở tri thức chứa các dữ liệu, các luật điều khiển:
 - + Các số liệu chứa trong luật điều khiển và các số liệu được sinh ra trong quá trình điều khiển.
 - + Các luật được sinh ra được đặc trưng bởi mục tiêu điều khiển và chiến lược điều khiển của các chuyên gia công nghệ và chuyên gia điều khiển.

Quá trình ra quyết định là phần cơ bản của hệ điều khiển mờ. Ở đây thực hiện khả năng mô phỏng quá trình ra quyết định của con người dựa trên cơ sở các luật của phép suy diễn trong logic mờ.

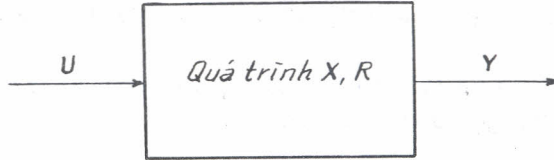
- Quá trình thực hóa có các chức năng sau:
 - + Xác định phép ánh xạ tỷ lệ trong vũ trụ của biến.
 - + Thực hiện phép thực hóa theo các phương pháp như MAX, COA, MOM [1, 2, 3].
- Từ những điểm trên có thể viết tác động điều khiển một cách tổng quát ở thời điểm

quan sát:

$$U(k) = (X(k) \times E(k)) \circ R_c, \quad (15)$$

$$X(k+1) = (X(k) \times U(k)) \circ R_p. \quad (16)$$

Trong đó $U(k)$ là tác động điều khiển ở thời điểm k ; $E(k)$ là sai lệch điều khiển ở thời điểm k ; $X(k)$, $X(k+1)$ là trạng thái của hệ ở thời điểm k , $k+1$; R_c là quan hệ mờ của bộ điều khiển và R_p là quan hệ mờ của quá trình điều khiển.



Hình 3. Sơ đồ khối hệ điều khiển

Từ (15), (16) có thể viết

$$X(k+1) = [X(k) \times (X(k) \times E(k) \circ R_c)] \circ R_p = (X(k) \times E(k)) \circ R, \quad (17)$$

trong đó $R = R_c \circ R_p$.

Từ các phương trình (15), (16), (17) có thể kể ra các cách thức thực hiện như sau:

- Lập bảng điều khiển [1, 15]. Đây là phương pháp đơn giản cho các bộ điều khiển mờ với các quá trình đơn giản.
- Rời rạc hóa tập mờ khi luật điều khiển đang ở thời điểm kích hoạt [1, 2, 3, 10].
- Phương pháp chuyển đổi hệ luật điều khiển vào phương trình để thực hiện

$$X(k+1) = (X(k) \times U(k)) \circ R. \quad (18)$$

Từ (18) có

$$U(k) = X(k+1) @ (X(k) \circ R)^{-1}. \quad (19)$$

Trong đó @ là phép đảo của phép hợp thành và mũ (-1) đảo của quan hệ X . Vấn đề đảo trong điều khiển mờ quả là một vấn đề phức tạp, có rất ít công trình đề cập đến.

- Sử dụng phương pháp PAM (Fuzzy associative memory) trong việc thiết kế hệ điều khiển. Đây là phương pháp tốt và dễ thực hiện.
- Sử dụng mạng neuron mờ để thiết kế hệ điều khiển mờ.

2.7.2. Phân tích hệ điều khiển mờ

Để có thể phân tích được hệ điều khiển mờ, trước tiên ta đi từ những vấn đề mang tính chất cơ bản của nó. Theo quan điểm toán học [10, 11] có thể viết:

Với hệ điều khiển một đầu vào và một đầu ra có:

$$X(k+1) = P(X(k), U(k)). \quad (20)$$

Trong đó $X(k)$ là trạng thái của hệ điều khiển ở thời điểm k , $U(k)$ là tín hiệu vào của hệ điều khiển ở thời điểm k và $X(k+1)$ là trạng thái của hệ thống ở thời điểm $k+1$, với $k = 0, 1, 2, \dots$. Điều kiện ban đầu của hệ điều khiển có thể cho là $X(0) = U(0) = 0$. Giả sử

rằng giá trị của $X(k)$, $U(k)$ luôn luôn được xác định trong một khoảng $I_1 = [-N_1, N_1]$ và $I_2 = [-M_2, M_2]$ với $N_i, M_j > 0$. Giả sử rằng với $i = 1, 2, \dots, n$; $i_k \in N_k$ và $j \in M$ và các tập mờ trên không gian tham chiếu R^n được định nghĩa

$$X_{i_1, i_2, \dots, i_n} = (X_{i_1}^1, X_{i_2}^2, \dots, X_{i_n}^n) \in X(k). \quad (21)$$

Và hàm thuộc của nó trong không gian tham chiếu n chiều $R^n \rightarrow I^n$ là:

$$\mu_{i_1, i_2, \dots, i_n}(x) = \mu_{i_1}^1(x^1), \mu_{i_2}^2(x^2), \dots, \mu_{i_n}^n(x^n) \in \mu(x). \quad (22)$$

Tương tự như trong (21) và (22) ta có các tập mờ trên không gian tham chiếu R là tác động điều khiển hay còn gọi là tín hiệu vào:

$$U = \{U_j\} \in U(k) \quad (23)$$

và

$$\mu(u) = \{\mu_j(u)\}. \quad (24)$$

Theo định nghĩa 10 và (14), một siêu khối hình thành với dạng luật sau

$$\text{if } (X_{i_1, i_2, \dots, i_n}) \text{ then } \{U\}. \quad (25)$$

Dạng luật (25) có thể viết một cách tổng quát như sau:

$$\text{if } (x^1 \text{ is } X_{i_1}^1) \text{ and } (x^2 \text{ is } X_{i_2}^2) \text{ and } \dots, (x_{i_n}^n \text{ is } X_{i_n}^n) \text{ then } u \text{ is } (U_j), \quad (26)$$

Dạng luật (21) cho ta một quan hệ mờ sau

$$R_{i_1, i_2, \dots, i_n} \quad (27)$$

Dạng (27) là dạng chung nhất trong điều khiển mờ, có thể sử dụng các cách thực hiện như đã nêu ở trên để thiết kế hệ điều khiển mờ. Tuy nhiên với dạng luật (26) thì việc tính toán quan hệ mờ thật là phức tạp và vô cùng nan giải. Việc phân tích hệ điều khiển mờ ở đây có thể thấy như sau.

Trong hệ luật (26) ta có thể viết dưới dạng một phương trình toán học

$$K_j(u(k)) = R_{i_1, i_2, \dots, i_n} [(K_{i_n}(x_{i_n}^n(k)), \dots, K_{i_2}(x_{i_2}^2(k)), K_{i_1}(x_{i_1}^1(k))]. \quad (28)$$

Từ (28) có thể thấy các bài toán cơ bản hình thành cho hệ điều khiển mờ.

2.7.3. Các hệ điều khiển tự chỉnh và thích nghi

a) Hệ điều khiển tự chỉnh qua thay đổi các hằng số tỷ lệ và quan hệ mờ

- Các thông số K_i , có thể được thay đổi trong quá trình điều khiển.

- Các hệ điều khiển tự chỉnh qua thay đổi quan hệ mờ, hay còn gọi là các hệ tự tổ chức.

Từ (26) có thể thấy quan hệ mờ mới được hình thành theo luật suy diễn sau [10]

$$R(k+1) = R(k) \text{ but not } R^*(k) \text{ else } R^{**}(k) \quad (29)$$

$$R(k + 1) = R^*(k) \text{ but not } R^*(k) \text{ else } R^{**}(k) \quad (30)$$

$$R(k + 1) = (R(k) \text{ or } (R^*(k) \text{ but not } R^*(k)) \text{ else } R^{**}(k) \quad (31)$$

Trong đó $R(k)$ là quan hệ mờ ở thời điểm $t = kT$

$R^*(k)$ là quan hệ mờ ở thời điểm $t = (k - n)T$

$R^{**}(k)$ là quan hệ mờ thay đổi ở thời điểm $t = (k - n)T$

b) Hệ điều khiển thích nghi

- Hệ điều khiển thích nghi thực hiện theo phương pháp sau. Trong bộ điều khiển theo logic mờ có dạng luật sau:

$$\text{if } e = E \text{ then if } c = C \text{ then } p = P$$

Trong phần chịu tác động của bộ điều khiển logic mờ có dạng luật sau

$$\text{if } e = E \text{ then if } c = C \text{ then } u = U$$

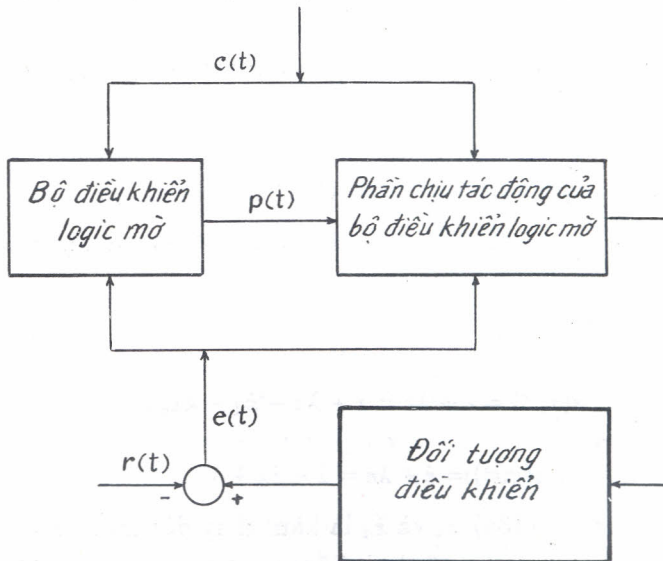
Tác động điều khiển sẽ có dạng luật sau

$$u'_i = p_i(t) \otimes U_i \quad (32)$$

Trong đó $e(t)$ là sai lệch điều khiển

$c(t)$ là sự thay đổi của sai lệch điều khiển

$p(t)$ là tín hiệu thay đổi điều khiển



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý điều khiển thích nghi

- Hệ điều khiển thích nghi với quá trình nhận dạng thông qua suy diễn mờ.

2.7.4. Mốt trượt trong hệ điều khiển mờ

• Thiết kế mặt trượt - Điều khiển trong chế độ trượt có thể hiểu là bộ điều khiển thay đổi cấu trúc của nó theo vị trí quỹ đạo trạng thái với việc chọn mặt trượt tương ứng. Mặt trượt phải được thiết kế sao cho hệ điều khiển thỏa mãn yêu cầu đặt ra là ổn định tiệm

cận có nghĩa là phải giữ trạng thái hệ điều khiển ở trên mặt trượt, ở đây có nhiều công trình đề cập đến quá trình thiết kế mặt trượt cho các hệ phi tuyến [14].

• Điều kiện đảm bảo cho trạng thái của hệ điều khiển bám tín hiệu chủ đạo. Nếu có trường hợp xảy ra là trạng thái hệ điều khiển lệch khỏi mặt trượt, thì luật điều khiển phải có tác động kéo trạng thái đó vào mặt trượt. Trong trường hợp này có một yêu cầu đặt ra là sao cho trạng thái khi bám không xảy ra quá trình bám nháy cóc (chattering) với tần số cao mà là bám theo một sai lệch cho phép. Đó chính là trạng thái của hệ thỏa mãn điều kiện điều khiển trong chế độ trượt ở một miền xác định cho trước. Lúc này mặt trượt coi như một lớp giới hạn, mà ở đó trạng thái của hệ thỏa mãn điều kiện ổn định của hệ thống.

Giả sử hệ điều khiển phi tuyến với bậc n

$$x^{(n)} = f(x) + b(x)u, \quad (33)$$

trong đó

$$f(x) = \overline{f(x)} + \Delta f(x)$$

và

$$|\Delta f(x)| \leq F(x)$$

$\overline{f(x)}$, $F(x)$ là biết trước. Nhiệm vụ của thuật điều khiển là tìm $u = u(x)$ sao cho bám trạng thái mong muốn có nghĩa là sai số tiến đến không

$$e = x_d - x = (e, \dots, e^{(n-1)})^T \rightarrow 0.$$

Trên cơ sở thiết kế mặt trượt ở điều khiển truyền thống ta chọn mặt trượt như sau:

$$s(x, t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^{n-1} e = e^{(n-1)} + a_1 e^{(n-2)} + \dots + a_{n-1} e. \quad (34)$$

Đạo hàm của nó là:

$$\dot{s}(x, t) = x^{(n)} - \dot{x}_d^{(n)} + a_1 e^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{e}. \quad (35)$$

λ là hằng số dương; a_1, a_2, \dots, a_{n-1} là hằng số và $s(x, t) = 0$ với hệ bậc hai ta có mặt trượt là đường thẳng.

Điều kiện tồn tại chế độ trượt

$$s \dot{s} < 0, \quad (36)$$

$$s(x, t) = \dot{e} + \lambda e = \dot{x} + \lambda x - \dot{x}_d - \lambda x_d, \quad (37)$$

và

$$s(x, t) = \dot{e} + \lambda e = \dot{x} - \dot{x}_d + \lambda e. \quad (38)$$

Trong mặt phẳng $x - \dot{x}$ và theo (13a) x_d và \dot{x}_d là hàm thay đổi theo thời gian, như vậy $s(t)$ cũng là hàm thay đổi theo thời gian. Ở thời điểm $t = 0$ thì $x(0) = x_d(0)$ và ta có $e(0) = 0$. Trong phương trình (35) cho thấy nếu trạng thái x nằm ở trên mặt trượt ta sẽ có $e(t) = 0$ với mọi $t \geq 0$, điều đó có nghĩa là phương trình vi phân tuyến tính (35) có một nghiệm duy nhất là $e(t) = 0$ để $s(t) = 0$, như vậy vấn đề đặt ra ở đây là điều khiển bám khi giữ cho $s(x, t) = 0$. Đó chính là điều kiện trong chế độ trượt (36). Nếu như trạng thái lệch khỏi $s(t)$ thì điều kiện (36) đảm bảo rằng $|s(x, t)|$ sẽ giảm và trạng thái $x(t)$ có xu hướng kéo về mặt trượt. Trong mặt trượt $x - \dot{x}$ cho hệ điều khiển mờ, quá trình mờ hóa được thực hiện với chiều hướng âm lên ở phía trên và dương lên ở phía dưới có nghĩa là mặt trượt được thiết kế kể từ mặt $s(t) = 0$ ở phía trên sẽ nhận các giá trị NZ, NS, NM, NB

và ở phía dưới của mặt $s(t)$ sẽ nhận các giá trị là PZ , PS , PM , PB và đường đặc tuyến $u = f(s)$ chỉ ra tác động điều khiển trong từng vùng của nó theo k_i và ϕ_i . Từ $u = f(s)$ [14] cho thấy u ngược với s , như vậy nếu trạng thái ra khỏi mặt trượt nó sẽ tác động quay lại mặt trượt với tốc độ $\dot{s}(t)$.

Giả sử rằng trong chúng, ta mờ hóa các giá trị k_i và ϕ_i với các tập mờ PB, \dots, NB ta sẽ có luật điều khiển tương ứng sau

1. if s is NB then u is PB
2. if s is NM then u is PM
3. if s is NS then u is PS
4. if s is NZ then u is PZ

Thực tế trong thiết kế quá trình điều khiển theo thuật toán đã nêu ở trên thì hệ điều khiển của ta được thiết kế với tín hiệu đầu vào là sai lệch điều khiển và sự thay đổi của sai lệch điều khiển ở một thời điểm nào đó với $e = (e, \dot{e})^T$ do đó theo (10) ta coi đầu ra chính là $K(x)$ và luật điều khiển lúc này được thực hiện thông qua sự phụ thuộc giữa e, \dot{e} và $K(x)$. Từ điều kiện (36), tồn tại và ổn định trong chế độ trượt với hệ bậc hai $n = 2$ là

$$\begin{aligned} s \left[\overline{f(x)} + b(x)u - \ddot{x}_d + \lambda \dot{e} \right] &\leq -\eta |s| \\ \left[\overline{f(x)} + b(x)u - \ddot{x}_d + \lambda \dot{e} \right] &\leq -\eta \operatorname{sgn}(s) \end{aligned} \quad (39)$$

Chọn
$$u_{\text{trượt}} = b(x)^{-1} \left[-\overline{f(x)} + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} \right] - b(x)^{-1} K(x) \operatorname{sgn}(s). \quad (39a)$$

Như vậy phương trình (39) có thể viết

$$\operatorname{sgn}(s) \left[f(x) - \overline{f(x)} - K(x) \operatorname{sgn}(s) \right] \leq -\eta \quad (40)$$

với
$$\begin{aligned} \operatorname{sgn}(s) &= 1 \text{ nếu } s > 0 \\ \operatorname{sgn}(s) &= -1 \text{ nếu } s < 0 \end{aligned}$$

Vậy
$$K(x) \geq -\eta + \operatorname{sgn}(s) [\Delta f(x)] \quad (41)$$

và $K(x)$ sẽ được chọn

$$K(x) = -\eta + F(x). \quad (42)$$

Từ phương trình (42) có thể mờ hóa các đầu vào $e = (e, \dot{e})^T$ và đầu ra $K(x)$ theo các vũ trụ mà ta định nghĩa E, C và KD . Từ đó có thể tính toán quá trình điều khiển theo (39a). Ở đây có thể nêu ra trên cơ sở [10] định lý sau

Định lý [10]. Nếu mặt trượt được chọn là $\Omega = \{x, |s(x, t)| < \Phi\}$, trong đó $\varepsilon = \phi/\lambda^{n-1}$ được gọi là độ rộng miền giới hạn Ω và điều kiện (36) được đảm bảo thì sau một thời gian nhất định ta sẽ có:

$$|e(t)| < \varepsilon \quad (43)$$

và tác động điều khiển sẽ cho:

$$u_{\text{trượt}} = b(x)^{-1} \left[-f(x) + \ddot{x}_d - \lambda \dot{e} \right] - b(x)^{-1} K(x) \operatorname{sat}(s/\Phi) \quad (44)$$

và $\operatorname{sat}(s/\Phi)$ sẽ được tính

$$\text{sat}(s/\Phi) = \begin{cases} -1 & \text{nếu } s/\Phi \leq -1 \\ s/\Phi & \text{nếu } -1 < s/\Phi \leq 1 \\ 1 & \text{nếu } s/\Phi > 1 \end{cases} \quad (45)$$

2.7.5. Điều khiển mờ như bộ xấp xỉ vạn năng

Trong rất nhiều các công trình, ví dụ như trong [9, 15] đã chỉ ra rằng: bộ điều khiển mờ với hệ luật tới hạn có thể xấp xỉ bất kỳ cho một hàm liên tục bất kỳ. Thực tế đã cho thấy bộ điều khiển mờ là vạn năng khi thỏa mãn điều kiện xấp xỉ (tâm điểm của hai luật kề liền) luôn không vượt quá một giới hạn $\varepsilon > 0$ đã cho có nghĩa là (theo 11a)

$$|y_i - y_{i+1}| < \frac{\varepsilon}{2p-1}, \quad (46)$$

trong đó p là giá trị xếp chồng (antecedents) của phần đầu luật và số luật sẽ là $(2p-1)$ thường chọn là 3 và

$$|\{R_i\}| \geq \frac{|X|}{\varepsilon}, \quad (47)$$

trong đó giá đỡ của luật là $\text{supp}(B_i) = X$ và dạng luật lúc đó là

$$R_i = \text{"if } x \in \{x_{jk}, x_{ik+1}\} \text{ then } y = b_j\text{"}. \quad (48)$$

2.7.6. Hệ điều khiển mờ nhiều mức

Thiết kế hệ điều khiển mờ hai hay nhiều mức là một thực tế khách quan và là các đòi hỏi của điều khiển các quá trình công nghiệp. Có thể kể ra hai cách tiếp cận:

– Thiết kế bộ điều khiển truyền thống với quá trình chính định qua hệ luật điều khiển mờ [3, 6, 7, 12].

– Thiết kế bộ điều khiển mờ với quá trình kiểm soát tính ổn định hệ thống ở mức cao.

Trong rất nhiều công trình đã công bố liên quan đến vấn đề này có thể thấy ở [15], hoặc kiểm soát tính ổn định theo thuật di truyền hoặc theo mẫu tín hiệu ra của hệ kín [10].

3. KẾT LUẬN

Bài báo nêu một số vấn đề cơ bản trong thiết kế hệ điều khiển mờ. Vấn đề là hết sức rộng lớn và đa dạng. Sự phát triển của khoa học kỹ thuật ngày càng phong phú, các thành tựu của nó đang được phát huy mạnh mẽ. Hội nghị khoa học về tập mờ và tập thô họp tại Nhật Bản năm 1996 đã chỉ ra rằng: tập mờ và tập thô sẽ là những vấn đề cơ bản của lập trình cho các thể hệ máy tính thế kỷ sau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Bá Dũng, Phạm Thượng Cát, Một số vấn đề cơ bản trong việc thiết kế hệ điều khiển trên cơ sở hệ luật, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* 8 (1) (1992).
- [2] Lê Bá Dũng, Thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh PID cho điều khiển Robot, Tuyển tập Hội nghị về Tự động hóa lần 1 tháng 4 năm 1993.

- [3] Lê Bá Dũng, Thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh PID trên cơ sở hệ luật, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **10** (1) (1994).
- [4] Lê Bá Dũng và các tác giả, Ứng dụng điều khiển theo tri thức chuyên gia vào hệ điều khiển tháp chưng cất tinh dầu DCC-01, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **33** (1) (1995).
- [5] Lê Bá Dũng, Mô hình toán học của bộ điều khiển mờ với quá trình bổ sung tri thức, *Tạp chí Tin học và Điều khiển* **12** (4) (1996).
- [6] Lê Bá Dũng, Thiết kế bộ điều khiển tự chỉnh PID, Tuyển tập Hội nghị về Tự động hóa lần 2, tháng 4 năm 1996.
- [7] Le Ba Dung, A kind of self-tuning PID controller, *Journal of Computer Sciences and Cybernetics* **11** (1) (1995).
- [8] Le Ba Dung, Program package in EMERIS system, Scientific report of KFKI - Hungarian Academy of Sciences, 1990.
- [9] Hunt K. J., Sbarbavo D., Zbikowski R., Gawthrop P. J., Neural networks for control systems, *Automatica* **28** (6) (1992) 1083-1112.
- [10] Lin C. T., Lee C. S. G., *Neural Fuzzy Systems*, Printice-Hall International, 1996.
- [11] Narendra K. S., Parthasara K., Identification and control of dynamical systems using neural networks, *IEEE Trans. Neural Networks* **1** (1) (1990) 4-26.
- [12] Proceedings of Fuzzy'96, Fuzzy Logic Engineering and Natural Sciences, Zittau, Germany, Sep. 25-27, 1996.
- [13] Proceedings of Robust Control - Hungary, 1996.
- [14] Rainer Palm. Robust control by fuzzy sliding mode, *Automatica* **30** (9) (1994) 1429-1437.
- [15] Wang L. X., A course in Fuzzy Systems and Control, Printice-Hall Internation, 1997.

Received: August 20, 1997

- (1) Viện Công nghệ thông tin, Trung tâm KHTN và CNQG.
- (2) Khoa Điện tử viễn thông, Đại học Bách khoa Hà Nội.