

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA TOÁN - CƠ - TIN HỌC



Phương pháp nghiên cứu khoa học

Mã lớp học phần: MAT2315 1

Ứng dụng Logic mờ trong tự động hóa

Nguyễn Long Vũ - 21000714

Mai Thanh Tùng - 21000711

Tạ Quang Tùng - 21000712

Hà Nội, 2023

Mục lục

Lời nói đầu	2
1 Các khái niệm cơ bản	3
1.1 Tập mờ	3
1.1.1 Định nghĩa	3
1.1.2 Các phép toán trên tập mờ	4
1.1.3 Ví dụ về tập mờ	5
1.2 Logic mờ	5
1.3 Biến ngôn ngữ	6
1.4 Luật mờ	6
2 Logic mờ trong tự động hóa	7
2.1 Điều khiển mờ	7
2.2 Cấu trúc bộ điều khiển mờ	7
2.2.1 Bộ mờ hóa	8
2.2.2 Cơ sở luật mờ	8
2.2.3 Bộ suy diễn mờ	8
2.2.4 Bộ giải mờ	9
2.3 Các bước thiết kế bộ điều khiển mờ	12
2.4 Ví dụ về bộ điều khiển mờ trong tự động hóa	12
2.5 Công cụ thực hiện logic mờ	15
2.6 Mô hình ứng dụng	15
3 Một số ứng dụng của Logic mờ trong tự động hóa	17
Lời kết	18
Tài liệu tham khảo	19

Lời nói đầu

Trong cuộc sống hằng ngày chúng ta luôn đối diện với những thông tin không rõ ràng, những gì chúng ta giải quyết hầu như không đầy đủ, chính xác, hay không có biên giới rõ ràng. Ví dụ như mực chất lỏng trong bình bao nhiêu là thấp để người điều khiển đóng mở van cho hợp lý, nếu nhiệt độ cao thì tăng công suất máy điều hòa,... Hệ thống nhị phân, trắng đen rõ ràng của máy tính không thể giúp giải quyết các vấn đề này.

Tập mờ và logic mờ dựa trên suy luận của con người về các thông tin “không chính xác” hoặc “không đầy đủ” về hệ thống để hiểu biết và điều khiển hệ thống một cách chính xác. Điều khiển mờ chính là bắt chước cách xử lý thông tin và điều khiển của con người đối với các đối tượng. Do vậy, bộ điều khiển mờ thích hợp để điều khiển những đối tượng phức tạp mà các phương pháp kinh điển không cho được kết quả mong muốn

Lý thuyết logic mờ đã có nhiều áp dụng thành công trong lĩnh vực điều khiển. Bộ điều khiển dựa trên lý thuyết logic mờ gọi là bộ điều khiển mờ. Trái với kỹ thuật điều khiển kinh điển, kỹ thuật điều khiển mờ thích hợp với các đối tượng phức tạp, không xác định mà người vận hành có thể điều khiển bằng kinh nghiệm. Đặc điểm của bộ điều khiển mờ là không cần biết mô hình toán học mô tả đặc tính động của hệ thống mà chỉ cần biết đặc tính của hệ thống dưới dạng các phát biểu ngôn ngữ. Chất lượng của bộ điều khiển mờ phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của người thiết kế.

Về nguyên tắc, hệ thống điều khiển mờ cũng không có gì khác so với hệ thống điều khiển tự động thông thường khác. Sự khác biệt ở đây là bộ điều khiển mờ làm việc có tư duy như “bộ não” dưới dạng trí tuệ nhân tạo. Nếu khẳng định với bộ điều khiển mờ có thể giải quyết mọi vấn đề từ trước đến nay chưa giải quyết được theo phương pháp kinh điển thì không hoàn toàn chính xác, vì hoạt động của bộ điều khiển phụ thuộc vào kinh nghiệm và phương pháp rút ra kết luận theo tư duy con người, sau đó được cài đặt vào máy tính dựa trên cơ sở logic mờ.

1. Các khái niệm cơ bản

1.1. Tập mờ

1.1.1. Định nghĩa

Tập mờ A xác định trên tập vũ trụ X là một tập mà mỗi phần tử của nó là một cặp các giá trị $(x, \mu_A(x))$, trong đó $x \in X$ và μ_A là ánh xạ:

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

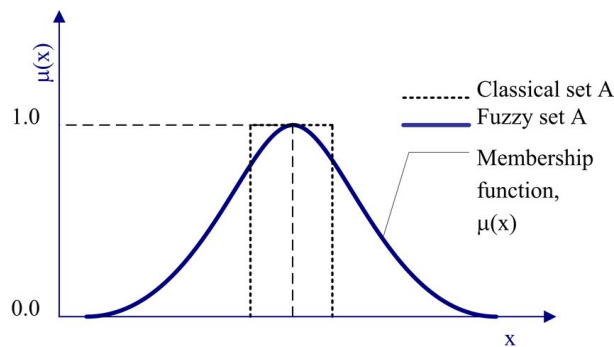
Ánh xạ μ_A được gọi là **hàm thuộc** hoặc hàm liên thuộc (hoặc hàm thành viên - membership function) của tập mờ A . Tập X được gọi là cơ sở của tập mờ A .

$\mu_A(x)$ là **độ phụ thuộc** của x vào tập mờ A , sử dụng hàm thuộc để tính độ phụ thuộc của một phần tử x nào đó, có hai cách:

- Tính trực tiếp nếu $\mu_A(x)$ ở dạng công thức tường minh.
- Tra bảng nếu $\mu_A(x)$ ở dạng bảng.

Kí hiệu:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$



Hình 1: Tập mờ - Hàm thuộc

Hàm thuộc $\mu_A(x)$ thỏa mãn các điều kiện sau:

$$\mu_A(x) \geq 0 \quad \forall x \in X$$

$$\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1$$

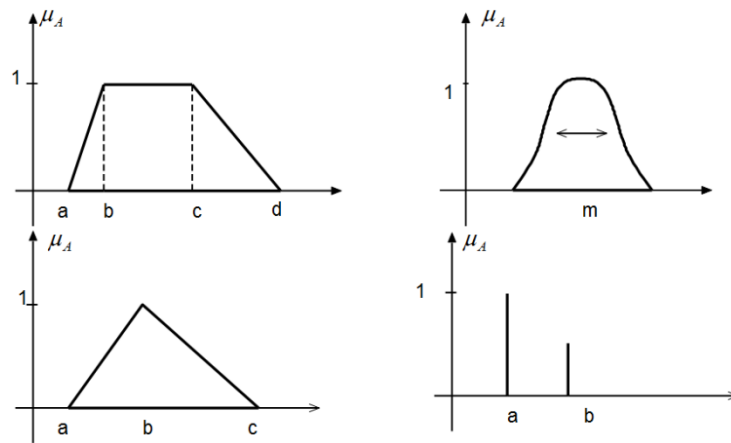
Miền tin cậy của tập mờ A trên tập nền X là một tập T là tập con của X thỏa mãn:

$$T = \{x \in X / \mu_A(x) = 1\}$$

Miền xác định của tập mờ F trên X là một tập S là tập con của X thỏa mãn:

$$S = \{x \in X / \mu_A(x) > 0\}$$

Hàm thuộc μ_A thường có dạng hình thang, hình chuông hay hình thẳng đứng như sau:



Hình 2: Các dạng hàm thuộc

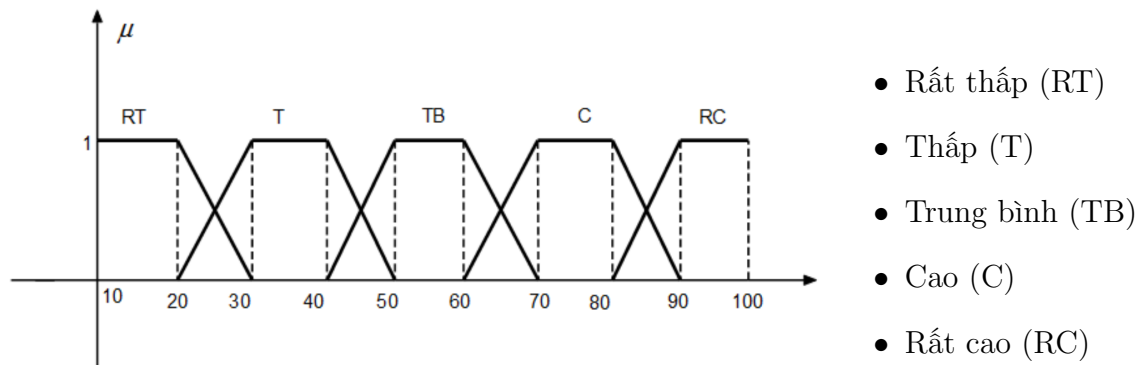
1.1.2. Các phép toán trên tập mờ

Cho A và B là hai tập mờ trên không gian nền X , có các hàm thuộc μ_A, μ_B

Phép toán trên tập mờ	Định nghĩa hàm thuộc
$A \subseteq B$	$\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
$A \cup B$	$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
$A \cap B$	$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
$\neg A$	$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$
$A \oplus B$	$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
X	$\mu_X(x) = 1$
\emptyset	$\mu_{\emptyset}(x) = 0$

1.1.3. Ví dụ về tập mờ

Nhiệt độ của một lò:



Hình 3: Nhiệt độ của một lò

- Hàm thuộc: $\mu_{RT}(x), \mu_T(x), \mu_{TB}(x), \mu_C(x), \mu_{RC}(x)$
- Giá trị ngôn ngữ: rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao
- Mỗi x là nhiệt độ ta có:

$$\mu(x) = \{\mu_{RT}(x), \mu_T(x), \mu_{TB}(x), \mu_C(x), \mu_{RC}(x)\}$$

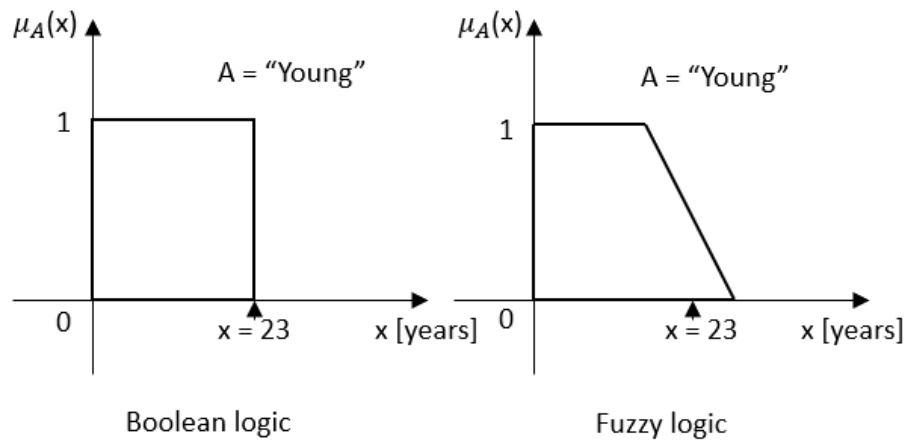
- Tại $x = 47.5^\circ C \rightarrow \mu(47.5) = \{0; 0.25; 0.75; 0; 0\}$

1.2. Logic mờ

Logic mờ (fuzzy logic) là một hệ thống logic dùng công cụ chính là lý thuyết tập mờ, nó tập trung trên biến ngôn ngữ trong ngôn ngữ tự nhiên nhằm cung cấp nền tảng cho lập luận xấp xỉ với những vấn đề không chính xác, nó phản ánh cả tính đúng đắn lẫn sự mơ hồ của ngôn ngữ tự nhiên trong lập luận theo cảm tính. Điều này có thể hữu ích trong nhiều tình huống thực tế khi các giá trị không chỉ là True (đúng) hoặc False (sai), mà có thể thuộc một phạm vi giá trị giữa hai trạng thái này.

Logic mờ cho phép độ liên thuộc có giá trị trong khoảng đóng 0 và 1, và ở hình thức ngôn từ, các khái niệm không chính xác như “hơi hơi”, “gần như”, “khá là” và “rất”. Cụ thể, nó cho phép quan hệ thành viên không đầy đủ giữa thành viên và tập hợp. Tính chất này có liên quan đến tập mờ và lý thuyết xác suất.

Ví dụ minh họa cho sự mềm dẻo của Logic mờ là việc xác định lứa tuổi:



Hình 4: Ví dụ về logic mờ

1.3. Biến ngôn ngữ

Khái niệm **biến ngôn ngữ** đã được Zadeh đưa ra năm 1975 như sau:

- Một biến ngôn ngữ được xác định bởi bộ (x, T, U, M)
Trong đó: x là tên biến. Ví dụ: “nhiệt độ”, “tốc độ”, “độ ẩm”, ...
- T là tập các từ là các giá trị ngôn ngữ tự nhiên mà x có thể nhận.
Ví dụ: x là “tốc độ” thì T có thể là “chậm”, “trung bình”, “nhanh”
- U là miền các giá trị vật lý mà x có thể nhận.
Ví dụ: x là “tốc độ” thì U có thể là 0km/h, 1km/h, ..., 150km/h
- M là quy tắc ngữ nghĩa, ứng mỗi từ trong T với một tập mờ A trong U .

1.4. Luật mờ

Một luật mờ là một biểu thức IF - THEN (Nếu - Thì) được phát biểu ở dạng ngôn ngữ tự nhiên thể hiện sự phụ thuộc nhân quả giữa các biến.

Ví dụ: IF **nhiệt độ** là *lạnh* và **giá dầu** là *rẻ* THEN **sưởi ấm** nhiều.

Trong đó:

- “Nhiệt độ”, “giá dầu” và “sưởi ấm” là các biến
- “lạnh”, “rẻ”, “nhiều” là các giá trị hay chính là các tập mờ.

2. Logic mờ trong tự động hóa

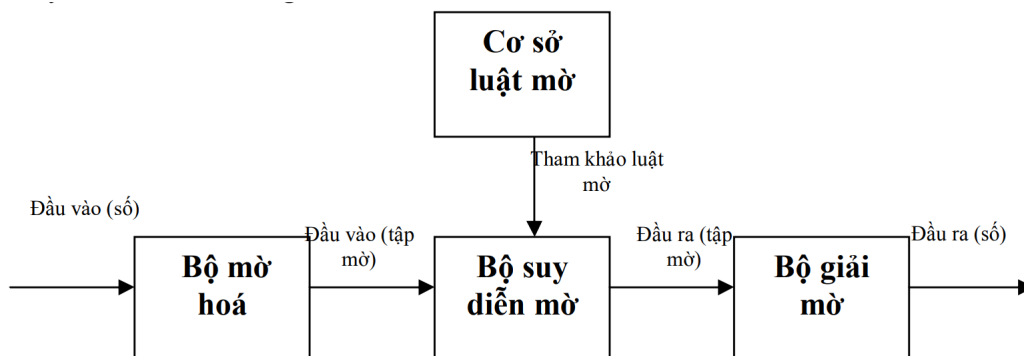
2.1. Điều khiển mờ

Kể từ thời điểm ra đời của lý thuyết tập mờ do nhà toán học người Mỹ Zadeh đưa ra nhằm thay thế và đơn giản hóa các khái niệm đầy tính lý thuyết của xác suất, của quá trình ngẫu nhiên. Cho tới ngày nay, điều khiển mờ đã có những bước phát triển vượt bậc, đóng góp không nhỏ vào sự tăng trưởng, hiện đại hóa cuộc sống con người. Những khái niệm của điều khiển mờ mà trước đây còn mang đầy tính trừu tượng thì nay nó đã được đưa vào ngôn ngữ cộng đồng như một sự đương nhiên ai cũng biết hoặc cũng được nghe nói đến một cách thường xuyên nhờ các phương tiện thông tin đại chúng. Các hệ thống điều khiển thông minh được xây dựng trên cơ sở trí tuệ nhân tạo đã giúp cho con người có khả năng chế ngự được những đối tượng mà trước kia tưởng chừng như không điều khiển được. Một trong những hệ thống điều khiển thông minh đó là hệ thống điều khiển mờ, hệ thống điều khiển được thiết kế dựa trên cơ sở toán học là logic mờ.

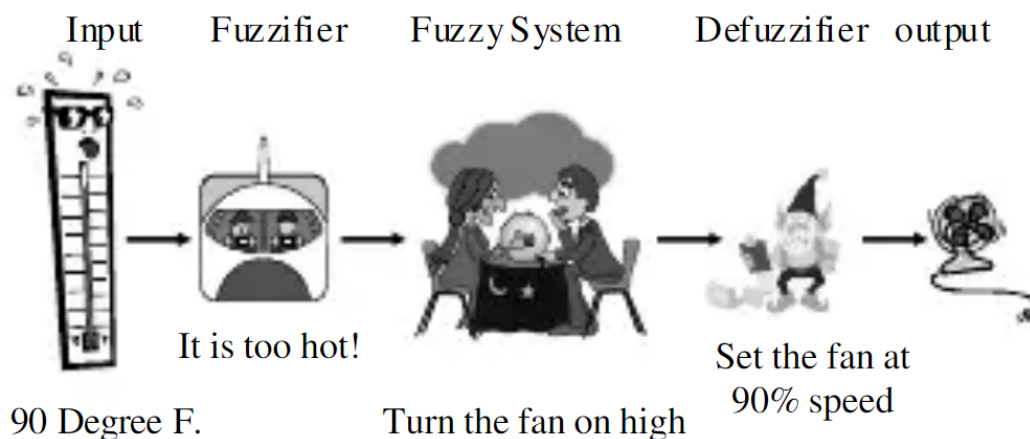
- Ứng dụng đầu tiên: điều khiển động cơ hơi nước (Mamdani, 1974).
- Hiện nay càng ngày có càng nhiều hệ thống điều khiển trong công nghiệp và dân dụng áp dụng phương pháp điều khiển mờ.

2.2. Cấu trúc bộ điều khiển mờ

Gồm 4 thành phần cơ bản: Bộ mờ hóa, cơ sở luật mờ, bộ suy diễn mờ, bộ giải mờ.



Hình 5: Cấu trúc bộ điều khiển mờ



Hình 6: Minh họa bộ điều khiển mờ

2.2.1. Bộ mờ hóa

Vì các luật cho dưới dạng dùng các biến ngôn ngữ với các từ thông thường. Như vậy với những giá trị (rõ) quan sát được, đo được cụ thể, để có thể tham gia vào quá trình điều khiển thì cần thiết phải mờ hóa. Có thể định nghĩa, mờ hóa là một ánh xạ từ không gian các giá trị quan sát được n vào không gian của các từ - tập mờ trên không gian nền của các biến ngôn ngữ đầu vào.

2.2.2. Cơ sở luật mờ

Có nhiều phương pháp để xác định các luật mờ để đưa vào cơ sở luật mờ. Các phương pháp thông dụng là nhờ các chuyên gia trong lĩnh vực áp dụng, hoặc từ quan sát, thực nghiệm thống kê để có được các tập dữ liệu mẫu đầu vào và ra tương ứng, từ đó dùng các kỹ thuật khai mở dữ liệu để rút ra các luật.

2.2.3. Bộ suy diễn mờ

Đây là phần cốt lõi nhất của bộ điều khiển mờ trong quá trình mô hình hóa các bài toán điều khiển và chọn quyết định của con người trong khuôn khổ vận dụng logic mờ và lập luận xấp xỉ.

Cho x_1, x_2, \dots, x_m là các biến vào của hệ thống, y là biến ra (thường là các biến ngôn ngữ). Các tập A_{ij}, B_j , với $i = 1, 2, \dots, m$ và $j = 1, 2, \dots, n$ là các tập mờ trong không gian nền tương ứng của các biến vào và biến ra đang sử dụng của hệ thống. Các R_j là các suy diễn mờ như sau:

R_1	Nếu x_1 là A_{11} và ...và x_m là A_{m1} thì y là B_1
R_2	Nếu x_1 là A_{12} và ...và x_m là A_{m2} thì y là B_2
\vdots	\vdots
R_n	Nếu x_1 là A_{1n} và ...và x_m là A_{mn} thì y là B_n
Cho	Nếu x_1 là A_{1*} và ...và x_m là A_{m*}
Tính	y là B_*

Trong đó A_{1*}, \dots, A_{m*} là các giá trị đầu vào có thể mờ hoặc rõ.

Theo suy diễn xấp xỉ, tập mờ B_* có thể suy diễn như sau:

- Đầu tiên tìm quan hệ thành phần R_i là quan hệ được định bởi:

$$R_i = (A_{1i} \cap \dots \cap A_{mi}) \Rightarrow B_i$$

- Sau đó xác định quan hệ tích hợp R từ các quan hệ thành phần R_i qua phép hợp:

$$R = \bigcup_{i=1 \div n} R_i$$

- Sau đó xác định tập mờ đầu ra B_* qua toán tử hợp thành:

$$B_* = [A_{1*} \cap \dots \cap A_{m*}] \circ R$$

Tập mờ B_* dùng trong bộ giải mờ.

2.2.4. Bộ giải mờ

Đây là khâu thực hiện quá trình xác định một giá trị rõ có thể chấp nhận được làm đầu ra từ hàm thuộc của giá trị mờ đầu ra. Có nhiều phương pháp giải mờ: phương pháp điểm cực đại và phương pháp điểm trọng tâm, phương pháp độ cao ...

Các phương pháp giải mờ

1. Phương pháp điểm cực đại

Phương pháp giải mờ điểm cực đại là tìm trong tập mờ có hàm thuộc $\mu_R(y)$, một phần tử y_0 với độ phụ thuộc lớn nhất, tức là:

$$y_0 = \arg \max \mu_R(y)$$

Việc giải mờ theo phương pháp điểm cực đại gồm hai bước:

- Xác định miền chứa giá trị rõ y_0 . Giá trị rõ y_0 là giá trị mà tại đó hàm thuộc đạt giá trị cực đại (bằng độ thỏa mãn đầu vào H), tức là miền:

$$G = \{y \in Y | \mu_R(y) = H\}$$

- Xác định y_0 có thể chấp nhận được từ G
 G là khoảng $[y_1, y_2]$ của tập nền R , ta có 2 cách tìm y_0 :

(a) Xác định điểm trung bình:

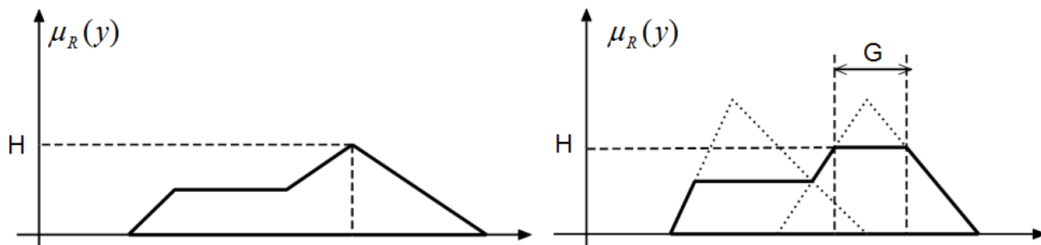
$$y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

Nếu các hàm thuộc đều có dạng hình tam giác hoặc hình thang thì điểm y_0 xác định theo phương pháp này sẽ không quá bị nhạy cảm với sự thay đổi của giá trị đầu vào rõ x_0 . Do đó rất thích hợp với các bài toán có nhiều biên độ nhỏ tại đầu vào.

(b) Xác định điểm cận trái hoặc phải

$$y_0 = \inf_{y \in G} (y) \text{ hoặc } y_0 = \sup_{y \in G} (y)$$

Nếu các hàm thuộc đều có dạng hình tam giác hoặc hình thang thì điểm y_0 sẽ phụ thuộc tuyến tính vào giá trị rõ x_0 tại đầu vào.



Hình 7: Giải mờ bằng phương pháp điểm cực đại

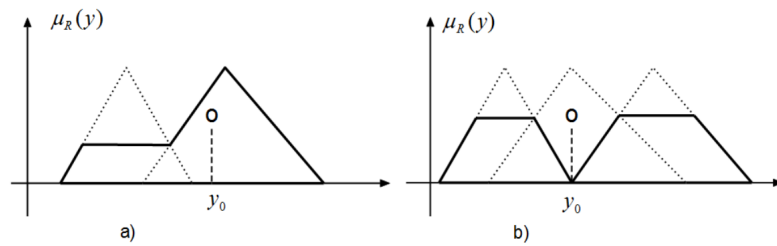
2. Phương pháp tìm điểm trọng tâm

Công thức để tính được giá trị y' được cung cấp như sau:

$$y_0 = \frac{\int_S y \mu_R(y) dy}{\int_S \mu_R(y) dy}$$

Với $S = \{y | \mu_R(y) \neq 0\}$ là miền xác định của tập mờ R .

Đây là phương pháp ưa được sử dụng nhất, cho phép ta xác định giá trị y_0 với sự tham gia của tất cả các tập mờ đầu ra của luật mờ một cách bình đẳng, chính xác. Tuy nhiên một trong những nhược điểm cơ bản của phương pháp này là giá trị y_0 xác định được lại có độ thuộc nhỏ nhất, thậm chí bằng 0.



Hình 8: Giải mờ bằng phương pháp điểm trọng tâm.

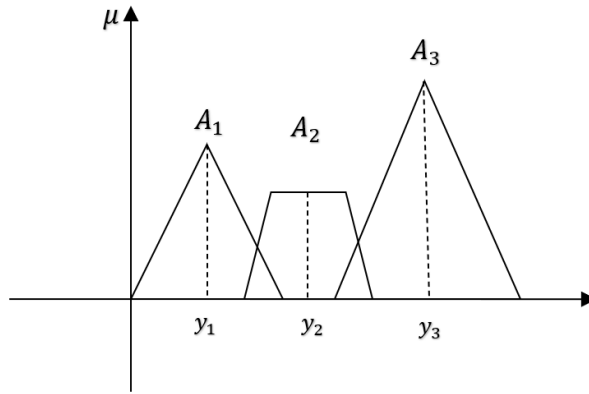
3. Phương pháp độ cao

Phương pháp độ cao được hình thành bằng cách tính trọng số của từng hàm ở đầu ra theo độ thuộc tối đa tương ứng của nó.

Phương pháp này có thể áp dụng cho các tập mờ có hàm thuộc đầu ra đối xứng và cho kết quả khá giống với phương pháp tìm điểm trọng tâm, tuy nhiên ít tính toán hơn. Độ thuộc tối đa được sử dụng để tính trọng số cho từng hàm thuộc.

Công thức:

$$y' = \frac{\sum \mu_{A_i}(y_i)(y_i)}{\sum \mu_{A_i}(y_i)}$$



Hình 9: Giải mờ bằng phương pháp độ cao

2.3. Các bước thiết kế bộ điều khiển mờ

- Bước 1: Định nghĩa tất cả các biến ngôn ngữ vào/ra, đó cũng chính là các tín hiệu vào/ra của bộ điều khiển.
- Bước 2: Xác định các tập mờ (giá trị ngôn ngữ) cho từng biến vào/ra, tức là thực hiện công việc mờ hóa:
 - + Miền giá trị vật lý của các biến ngôn ngữ.
 - + Xác định số lượng tập mờ.
 - + Xác định hàm thuộc.
 - + Rời rạc hóa tập mờ.
- Bước 3: Xây dựng luật điều khiển.
- Bước 4: Chọn cơ chế suy diễn mờ.
- Bước 5: Giải mờ.

2.4. Ví dụ về bộ điều khiển mờ trong tự động hóa

* Thiết kế điều khiển tự động máy điều hòa:

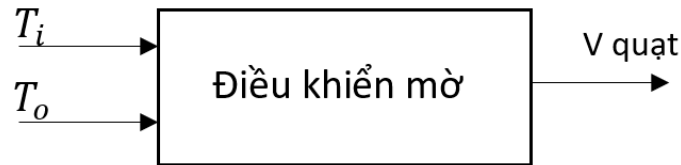
- 2 đầu vào: T_i đo nhiệt độ trong nhà, T_o đo nhiệt độ bên ngoài
- 1 đầu ra: Tốc độ quạt
- Thông số:
 - + Tầm nhiệt quan tâm: $[0^\circ C, 50^\circ C]$
 - + Tốc độ quạt: $[0, 600 \text{ vòng/phút}]$

- Tính tốc độ quạt với:

$$+ T_i = 27^\circ C$$

$$+ T_o = 32^\circ C$$

+ **Bước 1: Xác định biến ngôn ngữ Input/Output**



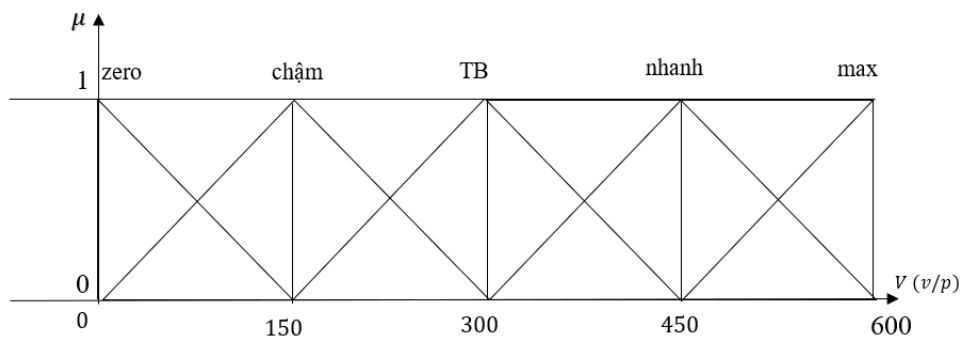
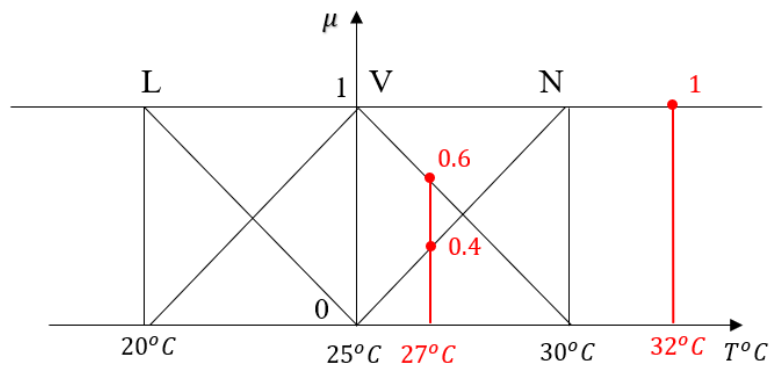
+ **Bước 2: Xác định tập mờ, hàm thuộc**

– T_i, T_o : Lạnh, vừa, nóng tương ứng $\{20^\circ C, 25^\circ C, 30^\circ C\}$

– V : {Zero, Chậm, Trung bình, Nhanh, Max} tương ứng $\{0, 150, 300, 450, 600\}$

* **Hàm thuộc**

– Chọn hàm thuộc tam giác



– Xét $T_i^* = 27^\circ C$ và $T_o^* = 32^\circ C$

- $\mu(T_i^*) = \mu(27^\circ C) = \{0; 0.6; 0.4\}$
- $\mu(T_o^*) = \mu(32^\circ C) = \{0; 0; 1\}$

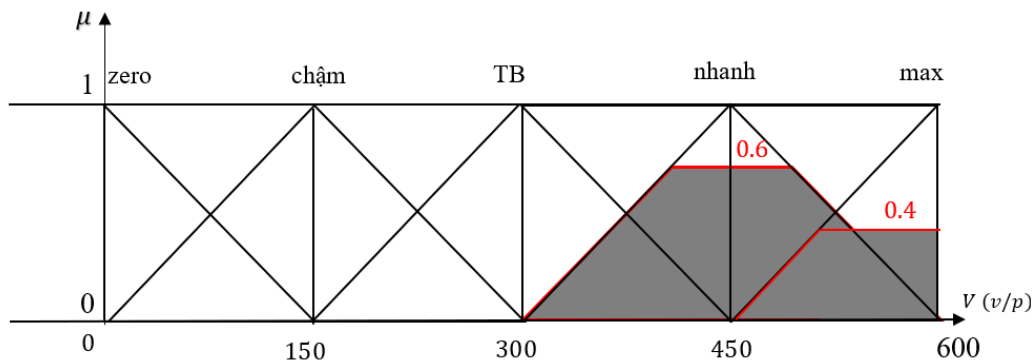
+ **Bước 3: Xây dựng luật điều khiển**

$T_i \backslash T_o$	Lạnh	Vừa	Nóng
Lạnh	Zero	Chậm	Trung bình
Vừa	Chậm	Trung bình	Nhanh
Nóng	Trung bình	Nhanh	Max

+ **Bước 4: Chọn cơ chế suy diễn mờ: \rightarrow MAX - MIN**

$T_i \backslash T_o$	Lạnh 0	Vừa 0.6	Nóng 0.4
Lạnh 0	Zero 0	Chậm 0	Trung bình 0
Vừa 0	Chậm 0	Trung bình 0	Nhanh 0
Nóng 1	Trung bình 0	Nhanh 0.6	Max 0.4

$\Rightarrow MAX : \mu_V = 0.6$



Hình 10: Tập mờ output sau khi suy diễn mờ

+ Bước 5: Giải mờ

Sử dụng phương pháp điểm trọng tâm để giải mờ:

$$y' = \frac{\int y \mu_R(y) dy}{\int \mu_R(y) dy} = 460.9(\text{vòng/phút})$$

2.5. Công cụ thực hiện logic mờ

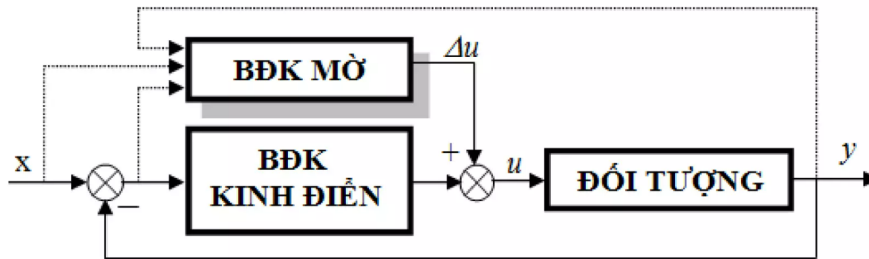
- Các công cụ: Matlab, FuzzyTech, Winfact, C++, Delphi, C#, Python ...
- Trước khi quyết định lựa chọn ngôn ngữ lập trình để giải quyết bài toán Logic mờ, chúng ta cần nắm được những nhiệm vụ cần giải quyết:
 - + Cài đặt Cấu trúc dữ liệu mô tả tập mờ và các phép toán trên tập mờ.
 - + Cài đặt Cấu trúc dữ liệu mô tả các luật suy diễn và các thao tác xử lý liên quan.
 - + Cài đặt và vận hành Motor suy diễn mờ.
 - + Cài đặt các công cụ đồ họa cho phép người dùng soạn thảo trực quan các tập mờ, các luật suy diễn.
 - + Ghép nối máy tính và thiết bị điều khiển.

2.6. Mô hình ứng dụng

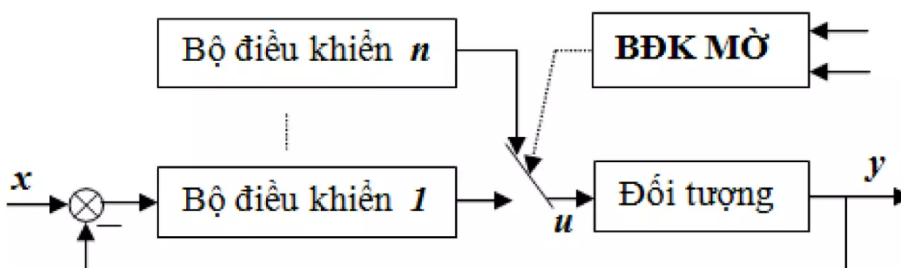
- Hệ mờ lai không thích nghi



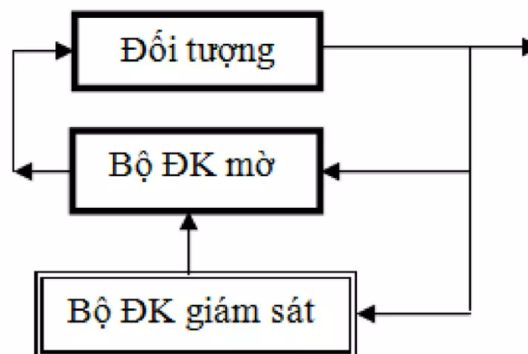
- Hệ mờ lai cascade



- Công tắc mờ



- Điều khiển mờ có hệ thống giám sát



3. Một số ứng dụng của Logic mờ trong tự động hóa

- Các hệ thống con của ô tô và các phương tiện giao thông khác, chẳng hạn các hệ thống con như ABS và quản lý hơi (ví dụ Tokyo monorail).
- Máy điều hòa nhiệt độ.
- Phần mềm MASSIVE dùng trong các tập phim Lord of the Rings, phần mềm đã giúp trình diễn những đội quân lớn, tạo các chuyển động một cách ngẫu nhiên nhưng vẫn có thứ tự.
- Camera
- Xử lý ảnh số (*Digital image processing*), chẳng hạn như phát hiện biên (*edge detection*)...

<https://viettelidc.com.vn/tin-tuc/cam-nang-ai-he-thong-logic-mo-fuz>

Kết Luận

Tài liệu tham khảo

Zadeh L.A. Fuzzy Sets, "Information and Control", vol.8, p338-353 (1965)

Guanrong Chen & Trung Tat Pham. "Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems" (2000)

Jager M. "Fuzzy Logic in Control" (1995)

Jan Jantzen. "Foundations of Fuzzy Control" (2007)

Snehashish Chakraverty, Deepti Moyi Sahoo, Nisha Rani Mahato. "Concepts of Soft Computing: Fuzzy and ANN with Programming" (2019)