

**BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KINH TẾ - KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP
KHOA ĐIỆN**

Nguyễn Đức Diễn, Hoàng Đình Cơ

**TÀI LIỆU HỌC TẬP
ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ MẠNG NƠN**

(Lưu hành nội bộ)

HÀ NỘI – 2019

LỜI NÓI ĐẦU

Sự phát triển không ngừng của khoa học công nghệ làm xuất hiện các đối tượng điều khiển có độ phức tạp ngày càng tăng. Yêu cầu thực tiễn đặt ra là phải điều khiển các hệ thống động ngày càng phức tạp, trong điều kiện yếu tố bất định ngày càng gia tăng với yêu cầu chất lượng điều khiển ngày càng cao. Các yêu cầu trên không thể đáp ứng được trọn vẹn nếu dùng lý thuyết điều khiển thông thường sẵn có. Đây chính là động lực cho ra đời một lĩnh vực nghiên cứu mới đó là điều khiển thông minh. Điểm khác biệt điều khiển thông minh và điều khiển thông thường là khi thiết kế về nguyên tắc là không cần mô hình toán học của đối tượng điều khiển. Các kỹ thuật điều khiển thông minh được sử dụng phổ biến hiện nay là điều khiển mờ, mạng nơ ron, thuật toán di chuyển.

Để cập nhật các kiến thức cơ bản về điều khiển thông minh và phù hợp với nội dung chương trình đào tạo hiện nay cho sinh viên ngành “Công nghệ Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa” của Khoa Điện trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp; chúng tôi biên soạn tài liệu “ Điều khiển mờ và mạng nơron”. Tài liệu gồm 5 chương, trình bày một cách cơ bản về cơ sở lý thuyết và ứng dụng của bộ điều khiển mờ, mạng nơron trong nhận dạng và điều khiển hệ thống.

Trong quá trình biên soạn, mặc dù các tác giả đã rất cố gắng, nhưng do trình độ và thời gian có hạn, tài liệu không tránh khỏi những sai sót. Chúng tôi mong nhận được góp ý và nhận xét của bạn đọc để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần tái bản sau..

Các tác giả

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	2
MỤC LỤC	3
CHƯƠNG 1. ĐIỀU KHIỂN MỜ	5
1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ.....	5
1.1.1. Giới thiệu.....	5
1.1.2. Khái niệm về tập mờ.....	6
1.1.3. Các phép toán trên tập mờ	11
1.1.4. Biến ngôn ngữ và giá trị của biến ngôn ngữ	14
1.1.5. Luật hợp thành mờ.....	15
1.1.6. Giải mờ.....	22
1.2. CẤU TRÚC CỦA BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ.....	25
1.3. PHÂN LOẠI BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ.....	26
1.4. CÁC BƯỚC TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ	28
1.5. VÍ DỤ ỨNG DỤNG.....	29
1.6. BÀI TẬP CHƯƠNG 1	33
CHƯƠNG 2. CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐIỀU	
KHIỂN	36
2.1. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TĨNH.....	36
2.1.1. Khái niệm	36
2.2.2. Thuật toán tổng hợp một bộ điều khiển mờ tĩnh.....	36
2.1.3. Tổng hợp bộ điều khiển mờ tuyến tính từng đoạn	37
2.2. BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ ĐỘNG	38
2.2.1. Bộ điều khiển mờ luật PI	38
2.2.2. Bộ điều khiển mờ luật PD.....	44
2.2.3. Bộ điều khiển mờ luật PID.....	46
2.3. HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI	47
2.3.1. Tổng quan hệ điều khiển mờ lai	47
2.3.2. Các hệ điều khiển mờ lai.....	48
2.4. CHỈNH ĐỊNH THAM SỐ MỜ PID.....	51
2.4.1. Bộ điều khiển PID mờ Madani.....	51
2.4.2. Bộ điều khiển PID mờ Sugeno.....	53
2.5. THIẾT KẾ HỆ ĐIỀU KHIỂN MỜ BẰNG PHẦN MỀM MATLAB	57

2.5.1. Giới thiệu hộp công cụ logic mờ	57
2.5.2. Ví dụ minh họa	60
2.6. BÀI TẬP CHƯƠNG 2	64
CHƯƠNG 3. MẠNG NƠON NHÂN TẠO	70
3.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠNG NƠON.....	70
3.1.1. Tế bào noron.....	71
3.1.2. Các loại mô hình cấu trúc mạng noron.....	75
3.1.3. Các tính chất của mạng noron.....	76
3.1.4. Các luật học	76
3.2. CÁC MẠNG NƠON TRUYỀN THĂNG SỬ DỤNG LUẬT HỌC GIÁM SÁT.....	80
3.2.1. Mạng Perceptron.....	80
3.2.2. Mạng Adaline	86
3.2.3. Mạng noron truyền thăng nhiều lớp	88
3.3. XÂY DỰNG MỘT SỐ MẠNG NƠON TRÊN MATLAB-SIMULINK	95
3.4. BÀI TẬP CHƯƠNG 4	101
CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG MẠNG NƠON TRONG NHẬN DẠNG VÀ ĐIỀU KHIỂN.....	105
4.1. ỨNG DỤNG MẠNG NƠON TRONG NHẬN DẠNG	105
4.1.1. Nhận dạng đối tượng	105
4.1.2. Mô hình nhận dạng dùng mạng noron.....	110
4.2. ỨNG DỤNG MẠNG NƠON TRONG ĐIỀU KHIỂN	117
4.2.1. Một số ứng dụng của mạng noron trong điều khiển	117
4.2.2. Một số ví dụ ứng dụng của mạng noron trong điều khiển.....	123
5.4. BÀI TẬP CHƯƠNG 4	127
CHƯƠNG 5. KẾT HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ MẠNG NƠON TRONG ĐIỀU KHIỂN	131
5.1. GIỚI THIỆU CHUNG.....	131
5.2. KẾT HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ VÀ MẠNG NƠON TRONG ĐIỀU KHIỂN	132
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	134

CHƯƠNG 1

ĐIỀU KHIỂN MỜ

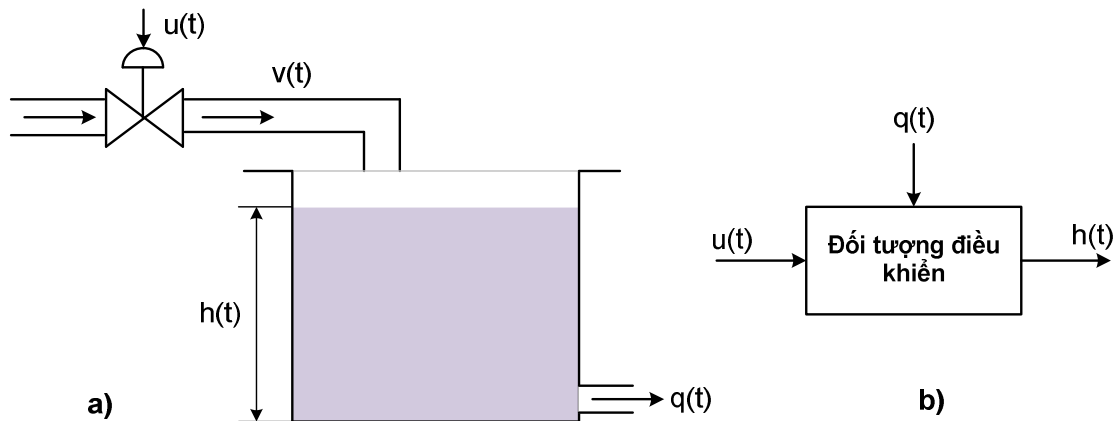
MỤC TIÊU CỦA CHƯƠNG

Cung cấp cho sinh viên những nội dung cơ bản về bộ điều khiển mờ: Khái niệm về tập mờ, các phép toán trên tập mờ, biến ngôn ngữ, luật hợp thành mờ và các phương pháp giải mờ, cấu trúc bộ điều khiển mờ cơ bản, phân loại bộ điều khiển mờ, phương pháp thiết kế bộ điều khiển mờ.

1.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN MỜ

1.1.1. Giới thiệu

Để hiểu điều khiển mờ là gì, trước tiên ta xét ví dụ ở hình 1.1a. Đối tượng điều khiển là một hệ thống lưu trữ năng lượng, biểu diễn như một bình đựng nước. Năng lượng có trong hệ, biểu diễn bằng độ cao của cột nước $h(t)$ có trong bình sẽ được cung cấp cho những hệ tiêu dùng, mô tả bởi lưu lượng nước chảy ra $q(t)$. Năng lượng trong bình luôn được bổ sung thông qua hệ thống cung cấp, mô tả bởi lưu lượng nước $v(t)$ cấp vào bình và được điều chỉnh bởi độ mở van $u(t)$. Nhiệm vụ điều khiển là phải điều chỉnh độ mở van $u(t)$ sao cho cột nước $h(t)$ có trong bình là một hằng số không đổi và điều này không phụ thuộc tải tiêu thụ $q(t)$.



Hình 1.1. Hệ bồn chứa nước

Như mô tả ở trên thì đối tượng điều khiển thì đối tượng điều khiển là một bình nước có một tín hiệu vào là $u(t)$ và một tín hiệu ra là $h(t)$, tín hiệu $q(t)$ được xem như thành phần nhiễu tác động vào hệ (hình 1.1b).

Phương pháp điều khiển ON-OFF theo logic kinh điển điều khiển van van theo chiến lược sau:

- Nếu nước chưa đầy bồn thì van mở
- Nếu nước đầy bồn thì van đóng.

Phương pháp điều khiển ON-OFF đơn giản, có thể lập trình dễ dàng dùng PLC. Tuy nhiên, do van chỉ có hai trạng thái “đóng” hoặc “mở” nên chất lượng điều khiển không cao, đáp ứng hệ thống có độ quá điều chỉnh, dao động.

Để nâng cao chất lượng điều khiển có thể thiết kế bộ điều khiển PID để điều khiển hệ thống, tuy nhiên cần phải biết mô hình toán học của bồn đối tượng.

Trong khi đó, người vận hành mặc dù không biết mô hình toán của hệ bồn chứa vẫn có thể điều khiển hệ thống đạt chất lượng tốt theo chiến lược sau:

- Nếu *mức nước* là *cao* thì *van* sẽ *đóng*.
- Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *không* thì *van* sẽ *đóng*.
- Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *ít* thì *van* sẽ *mở nhỏ*.
- Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *nhiều* thì *van* sẽ *mở to*.
- Nếu *mức nước* là *thấp* thì *van* sẽ *mở rất to*.

Trong chiến lược điều khiển như trên, đó là phương pháp điều khiển mờ (*Fuzzy Logic Controlle – FLC*). Phương pháp điều khiển mờ được xây dựng theo nguyên lý tư duy của con người. Nói cách khác, điều khiển mờ là điều khiển theo lời nói. Lúc này các tín hiệu vào, ra $u(t)$, $q(t)$ và $h(t)$ sẽ được gọi là *biến ngôn ngữ* lần lượt theo đúng thứ tự trên là *van*, *lượng nước ra* và *mức nước*. Các giá trị *cao*, *đủ*, *thấp* của $h(t)$ cũng như *nhiều*, *không*, *ít* của $q(t)$ và *đóng*, *mở nhỏ*, *mở to*, *mở rất to* của $u(t)$ được gọi là *các giá trị ngôn ngữ*.

Bộ điều khiển mờ được sử dụng trong các bài toán mà ở đó đối tượng điều khiển có mô hình toán quá phức tạp, công kênh, hoặc không thể có được một mô hình toán mô tả nó đủ chính xác.

1.1.2. Khái niệm về tập mờ

1.1.2.1. Tập hợp kinh điển

Trước tiên ta xét một tập hợp A (tập hợp theo định nghĩa của Cantor) của các phần tử x .

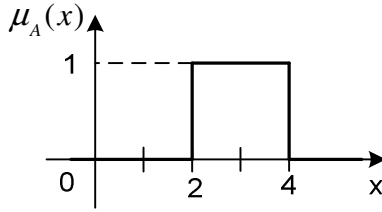
$$\text{Hàm } \mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x \in A \\ 0 & \text{khi } x \notin A \end{cases}$$

được gọi là hàm đặc tính của tập A . Nó chỉ có hai giá trị 0 và 1. Giá trị 1 của hàm $\mu_A(x)$ còn được gọi là giá trị đúng, ngược lại 0 là giá trị sai của $\mu_A(x)$. Nói cách khác, hàm đặc tính là ánh xạ: $\mu_A : A \rightarrow \{0,1\}$.

Một tập $X \supseteq A$ luôn có $\mu_X(x) = 1 \forall x$, được gọi là tập nền của A

Một tập A có dạng: $A = \{x \in X \mid x \text{ thỏa mãn tính chất nào đó}\}$ thì được nói là có tập nền X , hay được định nghĩa trên tập nền X . Ví dụ tập:

$A = \{x \in \mathbb{R} | 2 < x < 4\}$ có tập nền là tập các số thực $\mathbb{R}$.

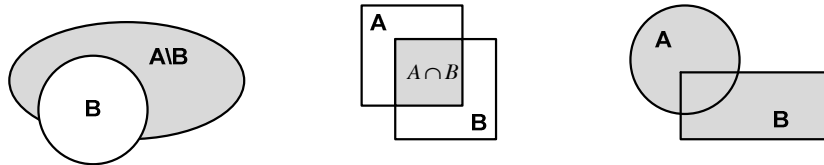


Hình 1.2. Hàm thuộc $\mu_A(x)$ của tập kinh điển A

Có thể dễ dàng thấy được rằng hai tập hợp A và B cùng nền X với hai hàm đặc tính tương ứng $\mu_A(x), \mu_B(x)$ thỏa mãn:

- $A \subseteq B$ khi và chỉ khi $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
- $x \in A \setminus B$ khi và chỉ khi $\mu_{A \setminus B}(x) = \mu_A(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
- $x \in A \cap B$ khi và chỉ khi $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
- $x \in A \cup B$ $x \in A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
- $x \in A^c$ khi và chỉ khi $\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$, A^c là tập bù của A .

và nhờ chúng, các phép tính trừ $A \setminus B$, phép hội (còn gọi là phép giao $A \cap B$), phép tuyển (phép hợp $A \cup B$), phép bù A^c giữa hai tập hợp Canor A và B cùng nền, được chuyển sang thành các phép tính logic giữa hai hàm đặc tính $\mu_A(x), \mu_B(x)$ tương ứng của chúng.



a) Hiệu của hai tập hợp b) Giao của hai tập hợp c) Hợp của hai tập hợp

Hình 1.3. Các phép toán trên tập hợp

Để thực hiện các phép tính tập hợp giữa nhiều tập hợp với nhau (chứ không phải giữa hai tập hợp) nhờ phép tính logic, ta sử dụng thêm các tính chất hiển nhiên sau:

- Tính giao hoán: $A \cap B = B \cap A$ và $A \cup B = B \cup A$
- Tính bắc cầu: Nếu $A \subseteq B$ thì $A \cap C \subseteq B \cap C$ và $A \cup C \subseteq B \cup C$ cũng như $A^c \supseteq B^c$.
- Tính kết hợp: $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ và $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
- Phân phối: $(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C)$
 $(A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$
- Lũy đẳng: $A \cup A = A \cap A = A$
- De Morgan: $(A \cup B)^c = A^c \cap B^c$ và $(A \cap B)^c = A^c \cup B^c$

1.1.2.2. Định nghĩa tập mờ

Quay lại ví dụ điều khiển bình nước đã nêu ở phần trước với những giá trị ngôn ngữ *cao, đủ, thấp* của $h(t)$ cũng như *nhiều, không, ít* của $q(t)$ và *đóng, mở nhỏ, mở to, mở rất to* của $u(t)$. Các giá trị đó sẽ gây không ít khó khăn cho người điều khiển đóng, mở van nếu chúng vẫn được hiểu theo nghĩa tập hợp kinh điển ở trên. Tại sao lại như vậy? Để trả lời ta giả sử lưu lượng nước ra $q(t)$ hiện nay là $2\text{m}^3/\text{s}$ và mực nước hiện có trong bình là *đủ*. Sẽ rất dễ xảy ra trường hợp hai người điều khiển đóng, mở van khác nhau có hai quan điểm khác nhau. Người thứ nhất thì cho rằng lưu lượng $2\text{m}^3/\text{s}$ là *ít* nên *mở nhỏ*, trong khi người thứ hai thì lại cho rằng lưu lượng $2\text{m}^3/\text{s}$ là *nhiều* nên *mở to* van.

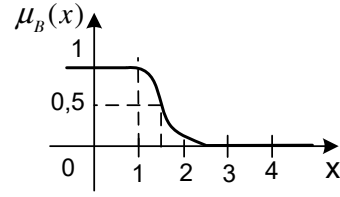
Nhằm thống nhất hai quan điểm trái ngược nhau đó, người ta đã đưa thêm vào giá trị rõ của lưu lượng $2\text{m}^3/\text{s}$ một giá trị thực trong khoảng từ 0 đến 1 để đánh giá độ chính xác của hai quan điểm trên. Chẳng hạn lưu lượng $2\text{m}^3/\text{s}$ sẽ được đánh giá là *ít* với độ chính xác 0,7 và là *nhiều* với độ chính xác 0,4 (xem hình 6). Nếu cả hai người cùng một quan điểm là lưu lượng $2\text{m}^3/\text{s}$ không thể được gọi là không có nước chảy ra thì khi đánh giá là *không*, nó sẽ có độ chính xác là 0.

Một cách tổng quát thì ba hàm đặc tính $\mu_{\text{nhiều}}(q)$, $\mu_{\text{không}}(q)$, $\mu_{\text{ít}}(q)$ của ba giá trị ngôn ngữ *nhiều, không, ít* của lưu lượng $q(t)$ có miền giá trị là một số thực chạy trong khoảng kín $[0,1]$ chứ không phải chỉ là tập hợp gồm hai giá trị $\{0,1\}$ như ở tập hợp kinh điển.

Định nghĩa tập mờ: Tập mờ A là một tập hợp mà mỗi phần tử cơ bản $x \in A$ của nó được gán thêm một giá trị $\mu_A : A \rightarrow [0,1]$ đánh giá độ phụ thuộc của phần tử đó vào tập đã cho. Khi đó hàm $\mu_A(x)$ sẽ được gọi là hàm liên thuộc. Nếu độ phụ thuộc bằng 0 thì phần tử cơ bản x sẽ hoàn toàn không thuộc tập đã cho, ngược lại với độ phụ thuộc bằng 1, phần tử cơ bản sẽ thuộc tập hợp với xác suất 100%.

Như vậy, khác với tập kinh điển, mà ở đó hàm đặc tính $\mu_A(x)$ chỉ là hàm biểu diễn lại tính chất của tập hợp, thì tập mờ A hàm liên thuộc $\mu_A(x)$ là một thành phần không thể thiếu, nó là một điều kiện trong định nghĩa về tập mờ. Nói cách khác, tập mờ là tập hợp của các cặp giá trị $(x, \mu_A(x))$.

Ví dụ tập B gồm những số thực nhỏ hơn nhiều so với 3: $B = \{x \in R | x < 3\}$, có hàm thuộc như hình 1.4. Với giá trị $x=1,5$ thì $\mu_A(x) = 0,5$ (giá trị này thuộc tập B với xác suất 50%), với giá trị $x=1$ thì $\mu_A(x) = 1$ (giá trị này thuộc tập B với xác suất 100%).



Hình 1.4. Hàm thuộc $\mu_B(x)$ của tập mờ B

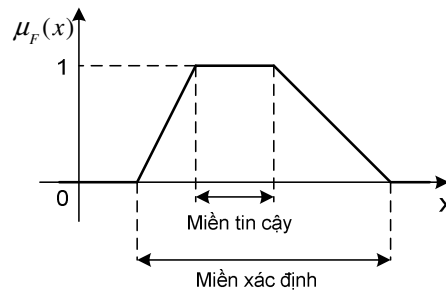
1.1.2.3. Độ cao, miền xác định và miền tin cậy của tập mờ

Trong những ví dụ trên các hàm thuộc đều có độ cao bằng 1. Điều đó nói rằng các tập mờ đó đều có ít nhất một phần tử với độ phụ thuộc bằng 1. Trong thực tế không phải tập mờ nào cũng có phần tử có độ phụ thuộc bằng 1, tương ứng với điều đó thì không phải mọi hàm thuộc đều có độ cao bằng 1.

Độ cao của tập mờ F (định nghĩa trên tập nền X) là giá trị:

$$h = \sup_{x \in X} \mu_F(x)$$

Ký hiệu $\sup_{x \in X} \mu_F(x)$ chỉ giá trị nhỏ nhất trong tất cả các giá trị chặn trên của hàm $\mu(x)$. Một tập mờ với ít nhất một phần tử có độ phụ thuộc bằng 1 được gọi là tập mờ chính tắc tức $h=1$, ngược lại một tập mờ F với $h < 1$ được gọi là tập mờ không chính tắc.



Hình 1.5. Minh họa về miền xác định và miền tin cậy của một tập mờ

Miền xác định của tập mờ F (định nghĩa trên tập nền X), được ký hiệu bởi S là tập con của M thỏa mãn:

$$S = \text{supp } \mu_F(x) = \{x \in X \mid \mu_F(x) > 0\}$$

là tập con trong X chứa các phần tử x mà tại đó hàm $\mu_F(x)$ có giá trị dương

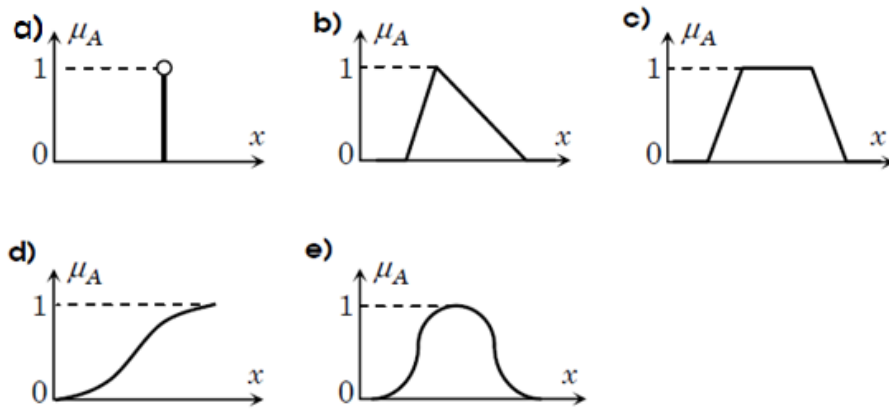
Miền tin cậy của tập mờ F (định nghĩa trên tập nền X), được ký hiệu bởi T là tập con của M thỏa mãn:

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

1.1.2.4. Các dạng hàm thuộc thường gặp

Mặc dù mọi hàm $\mu_A(x) \in [0,1]$ đều có thể được sử dụng là hàm thuộc cho tập mờ A, song trong điều khiển, với mục đích đơn giản, người ta thường chỉ quan tâm tới 4 dạng khác nhau là:

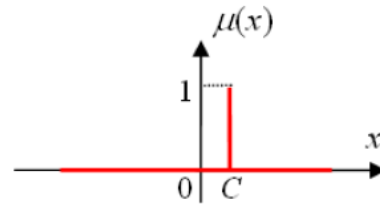
- Hàm thuộc dạng *singleton* (hình 1.6a)
- Hàm thuộc dạng *tam giác* (hình 1.6b)
- Hàm thuộc dạng *hình thang* (hình 1.6c)
- Hàm thuộc dạng *hình chuông* (hình 1.6d và hình 1.6e)



Hình 1.6. Các dạng hàm thuộc thường gặp

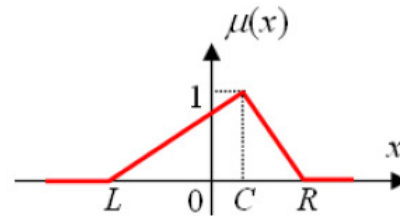
1. Dạng *singleton*

$$\mu(x, C) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x = C \\ 0 & \text{nếu } x \neq C \end{cases}$$



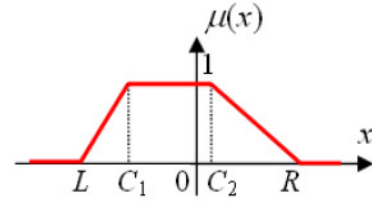
2. Dạng *tam giác*

$$\mu(x, L, C, R) = \begin{cases} \frac{x-L}{C-L} & \text{nếu } L \leq x \leq C \\ \frac{R-x}{R-C} & \text{nếu } C \leq x \leq R \\ 0 & \text{nếu } x < L \text{ và } x > R \end{cases}$$



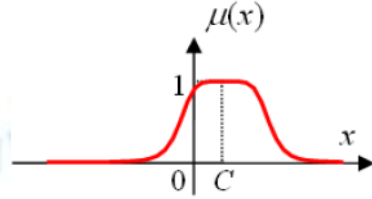
3. Dạng *hình thang*

$$\mu(x, L, C_1, C_2, R) = \begin{cases} \frac{x-L}{C_1-L} & \text{nếu } L \leq x \leq C_1 \\ \frac{R-x}{R-C_2} & \text{nếu } C_2 \leq x \leq R \\ 1 & \text{nếu } C_1 < x < C_2 \\ 0 & \text{nếu } x < L \text{ và } x > R \end{cases}$$



4. Dạng hình chuông

$$\mu(x, W, S, C) = 1 / \left(1 + \left| (x - C) / W \right|^{2S} \right)$$



1.1.3. Các phép toán trên tập mờ

Những phép toán cơ bản trên tập mờ là phép hợp, phép giao và phép bù. Giống như định nghĩa về tập mờ, các phép toán trên tập mờ cũng sẽ được định nghĩa thông qua các hàm thuộc, được xây dựng tương tự như các hàm thuộc của các phép giao, hợp, bù giữa hai tập hợp kinh điển. Nói cách khác, khái niệm xây dựng những phép toán trên tập mờ được hiểu là xác định các hàm thuộc cho phép hợp, tuyển, bù, ... từ những tập mờ.

1.1.3.1. Phép hợp hai tập mờ

Hợp của hai tập mờ A và B có cùng tập nền X là một tập mờ $A \cup B$ cũng xác định trên nền X có hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ thỏa mãn:

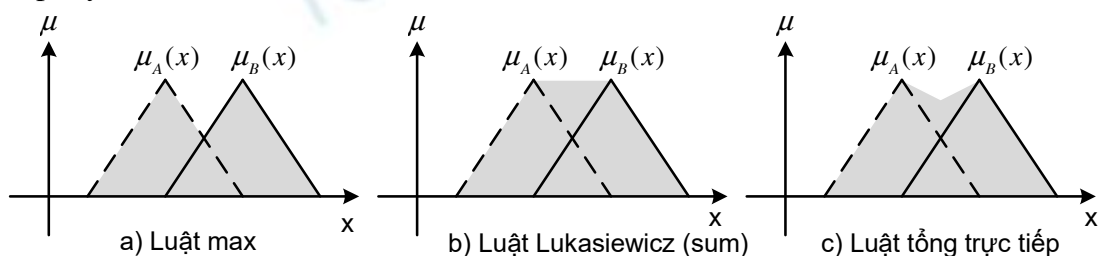
- $\mu_{A \cup B}(x)$ chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x)$ và $\mu_B(x)$
- Nếu có $\mu_A(x) = 0$, với mọi x thì cũng có $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_B(x)$
- $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_{B \cup A}(x)$, tức có tính chất giao hoán
- $\mu_{(A \cup B) \cup C}(x) = \mu_{A \cup (B \cup C)}(x)$, tức có tính chất kết hợp
- Nếu có $\mu_{A1}(x) \leq \mu_{A2}(x)$ thì cũng có $\mu_{A1 \cup B}(x) \leq \mu_{A2 \cup B}(x)$, tức là có tính không giảm

Ta có thể thấy được có nhiều công thức khác nhau được dùng để tính hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ cho hợp hai tập mờ. Chẳng hạn 5 công thức sau đều có thể sử dụng để định nghĩa hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ của phép hợp giữa hai tập mờ.

Bảng 1.1. Một số phép tuyển thường dùng

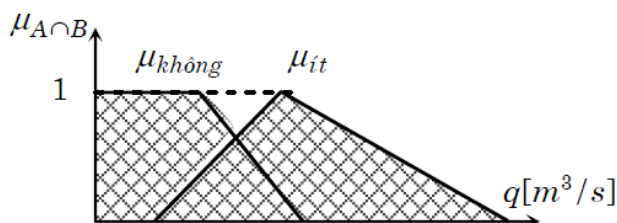
Số TT	Tên gọi	Công thức mô tả
1	Luật max	$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
2	Tổng trực tiếp	$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$
3	Tổng yếu	$\mu_{A \cup B}(x) = \begin{cases} \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} & \text{khi } \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = 0 \\ 1 & \text{khi } \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \neq 0 \end{cases}$
4	Lukasiewicz	$\mu_{A \cup B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$
5	Tổng Einstein	$\mu_{A \cup B}(x) = \frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 + \mu_A(x) + \mu_B(x)}$

Hình 1.7 là ví dụ minh họa hàm thuộc $\mu_{A \cup B}(x)$ của hợp hai tập mờ A, mô tả giá trị ngôn ngữ *không*, và B mô tả giá trị ngôn ngữ *ít*, của biến ngôn ngữ lưu lượng nước ra $Q = q(t), t \in R^+$ trong bài toán điều khiển bình nước, được xây dựng theo công thức phép tuyển theo luật max.



Hình 1.7. Hàm thuộc của hợp hai tập hợp có cùng không gian nền

Ví dụ và xác định hàm thuộc theo luật max cho phép hợp của hai tập mờ cho biến ngôn ngữ lưu lượng nước ra của bài toán điều khiển bình nước.



Hình 1.8. Ví dụ về xác định hàm thuộc theo luật max

1.1.3.2. Phép giao hai tập mờ

Giao của hai tập mờ A và B có cùng tập nền X là một tập mờ $A \cap B$ cũng xác định trên nền X có hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ thỏa mãn:

- f) $\mu_{A \cap B}(x)$ chỉ phụ thuộc vào $\mu_A(x)$ và $\mu_B(x)$
- g) Nếu có $\mu_B(x) = 1$, với mọi x thì cũng có $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)$
- h) $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_{B \cap A}(x)$, tức có tính chất giao hoán

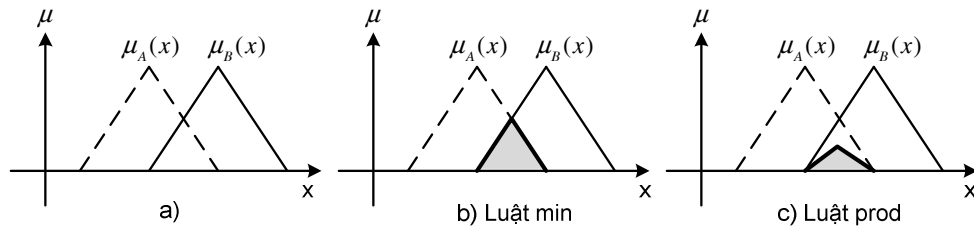
- i) $\mu_{(A \cap B) \cap C}(x) = \mu_{A \cap (B \cap C)}(x)$, tức có tính chất kết hợp
- j) Nếu có $\mu_{A1}(x) \leq \mu_{A2}(x)$ thì cũng có $\mu_{A1 \cap B}(x) \leq \mu_{A2 \cap B}(x)$, tức là có tính không giảm

Ta có thể thấy được có nhiều công thức khác nhau được dùng để tính hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ cho hợp hai tập mờ. Chẳng hạn 5 công thức sau đều có thể sử dụng để định nghĩa hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ của phép giao giữa hai tập mờ.

Bảng 1.2. Một số phép hội (phép giao mờ) thường dùng

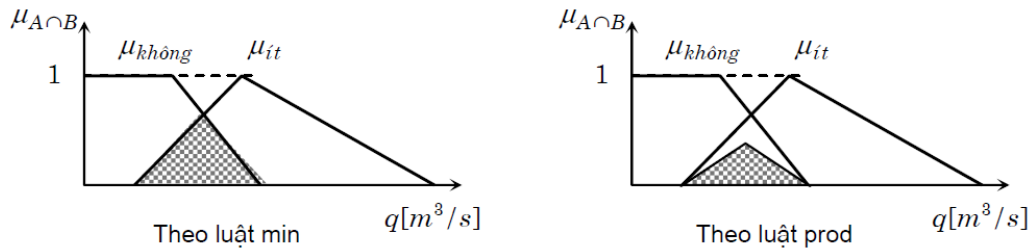
Số TT	Tên gọi	Công thức mô tả
1	Luật min	$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
2	prod (tích)	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x)$
3	Tích yếu	$\mu_{A \cap B}(x) = \begin{cases} \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} & \text{nếu } \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = 1 \\ 0 & \text{nếu } \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \neq 1 \end{cases}$
4	Lukasiewicz	$\mu_{A \cap B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$
5	Tích Einstein	$\mu_{A \cap B}(x) = \frac{\mu_A(x)\mu_B(x)}{2 - (\mu_A(x) + \mu_B(x)) - \mu_A(x)\mu_B(x)}$

Hình 1.9 là một ví dụ minh họa hàm thuộc $\mu_{A \cap B}(x)$ của của hợp hai tập mờ A, mô tả giá trị ngôn ngữ *không*, và B mô tả giá trị ngôn ngữ *ít*, của biến ngôn ngữ lưu lượng nước ra $Q = q(t), t \in R^+$ trong bài toán điều khiển bình nước, được xây dựng theo công thức phép hội khác nhau là min và prod.



Hình 1.9. Hàm thuộc của giao hai tập mờ có cùng không gian nền

Ví dụ và xác định hàm thuộc cho tập giao của hai tập mờ của biến ngôn ngữ lưu lượng nước ra của bài toán điều khiển bình nước như hình 1.10.



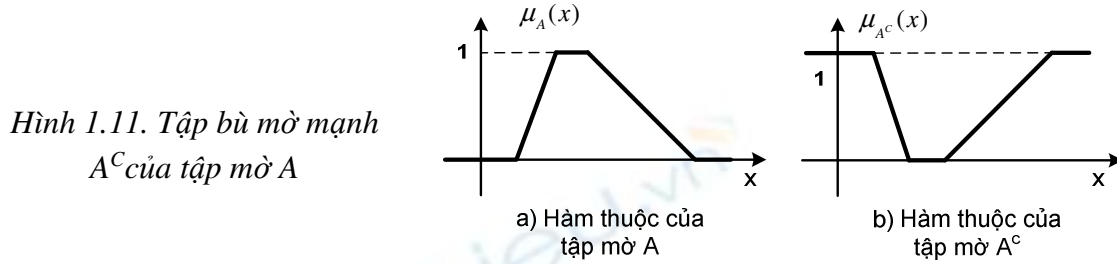
Hình 1.10. Ví dụ về xác định hàm thuộc cho tập giao của hai tập mờ

1.1.3.3. Phép bù của một tập mờ

Phép bù của một tập mờ A hay dùng trong điều khiển mờ là phép bù có tập mờ A^C với hàm thuộc:

$$\mu_{A^C}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

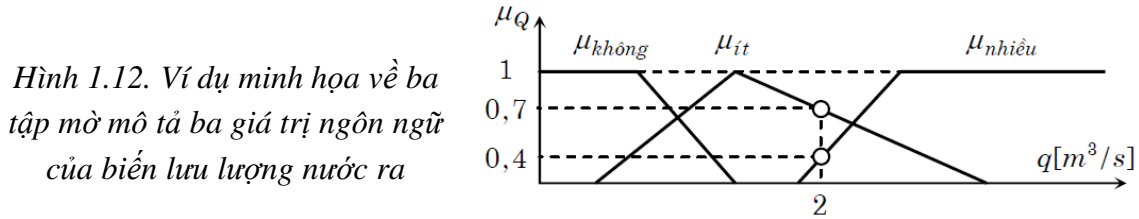
Nếu $\mu_A(x)$ là một hàm liên tục thì hàm thuộc $\mu_{A^C}(x)$ của tập bù A^C là một hàm phủ định mạnh. Hình 1.11 minh họa về hàm thuộc của phép phủ định mạnh.



1.1.4. Biến ngôn ngữ và giá trị của biến ngôn ngữ

Quay lại ví dụ điều khiển bồn nước, các tín hiệu vào, ra $u(t)$, $q(t)$ và $h(t)$ sẽ được gọi là *biến ngôn ngữ* lần lượt theo đúng thứ tự trên là *van*, *lượng nước ra* và *mức nước*. Các giá trị *cao*, *đủ*, *thấp* của $h(t)$ cũng như *nhiều*, *không*, *ít* của $q(t)$ và *đóng*, *mở nhỏ*, *mở to*, *mở rất to* của $u(t)$ được gọi là *các giá trị ngôn ngữ*.

Chẳng hạn biến ngôn ngữ lưu lượng nước ra $Q = q(t), t \in R^+$ có 3 giá trị ngôn ngữ *nhiều*, *không*, *ít* và tương ứng là 3 tập mờ với các hàm liên thuộc $\mu_{\text{nhiều}}(q)$, $\mu_{\text{không}}(q)$, $\mu_{\text{ít}}(q)$ có dạng hình tam giác và hình thang, cùng được định nghĩa trên một tập nền R là tập tất cả các giá trị vật lý $q[m^3/s]$, như mô tả ở hình 1.12.



Với một giá trị vật lý q thuộc miền xác định như trên hình 6 sẽ có được một vector μ gồm các độ phụ thuộc của q như sau:

$$q \mapsto \mu = \begin{pmatrix} \mu_{\text{không}}(q) \\ \mu_{\text{ít}}(q) \\ \mu_{\text{nhiều}}(q) \end{pmatrix}$$

Ánh xạ trên có tên gọi là quá trình mờ hóa (hay Fuzzy hóa) của giá trị rõ q . Ví dụ kết quả mờ hóa giá trị $q=2m^3/s$ (giá trị rõ) của biến lưu lượng nước ra sẽ là:

$$2m^3/s \mapsto \begin{pmatrix} \mu_{không}(q) \\ \mu_{ít}(q) \\ \mu_{nhiều}(q) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,7 \\ 0,4 \end{pmatrix}$$

1.1.5. Luật hợp thành mờ

1.1.5.1. Mệnh đề hợp thành

Ta biết rằng điều khiển mờ là nguyên lý điều khiển không cần đến mô hình toán học mô tả đối tượng điều khiển và được xây dựng theo kinh nghiệm điều khiển của con người, hay còn gọi là kinh nghiệm chuyên gia. Chúng được đúc kết lại dưới dạng luật hợp thành, bao gồm nhiều (n) mệnh đề hợp thành:

$$R_n: \text{Nếu } \chi_1=A_{n1} \text{ và } \dots \text{ và } \dots \chi_m=A_{nm} \text{ thì } \gamma=B_n \quad (1.1)$$

Trong đó:

- $\chi_m, m=1,2, \dots, n$ là các biến ngôn ngữ đầu vào.
- γ là biến ngôn ngữ đầu ra
- $A_{nm}, m=1,2, \dots, n$ là các giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ A_k
- B_n là các giá trị ngôn ngữ của biến ngôn ngữ γ
- $\chi_1=A_{n1}$ và $\dots$ và $\dots \chi_m=A_{nm}$ được gọi là phần điều kiện và $\gamma=B_n$ được gọi là phần kết luận của mệnh đề hợp thành R_i .

Các mệnh đề hợp thành với cấu trúc (1.1) có m biến ngôn ngữ đầu vào $\chi_1, \dots, \chi_m$ nhưng chỉ có một biến ngôn ngữ đầu ra γ nên được gọi là luật hợp thành MISO. Tương tự, luật hợp thành với m biến ngôn ngữ đầu vào và r biến ngôn ngữ đầu ra:

$$R_n: \text{Nếu } \chi_1=A_{n1} \text{ và } \dots \text{ và } \dots \chi_m=A_{nm} \text{ thì } \gamma_1=B_{n1} \text{ và } \dots \text{ và } \dots \gamma_r=A_{rn} \quad (1.2)$$

được gọi là luật hợp thành MIMO.

Như ví dụ điều khiển bình nước thì các mệnh đề hợp thành là:

- R1: Nếu *mức nước* là *cao* thì *van* sẽ *đóng*.
- R2: Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *không* thì *van* sẽ *đóng*.
- R3: Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *ít* thì *van* sẽ *mở nhỏ*.
- R4: Nếu *mức nước* là *đủ* và *lượng nước ra* là *nhiều* thì *van* sẽ *mở to*.
- R5: Nếu *mức nước* là *thấp* thì *van* sẽ *mở rất to*.

1.1.5.2. Phép suy diễn mờ

Khác với những phép tính tập hợp như phép hội, phép tuyển, phép bù ... thì phép suy diễn mờ chỉ ra đời và hình thành khi lý thuyết tập mờ được đưa vào ứng dụng trong điều khiển, mặc dù trước đó, ở logic kinh điển đã có phép tính kéo theo biểu diễn quan hệ $A \rightarrow B$ giữa hai tập hợp A và B, thực hiện trên các hàm đặc tính $\mu_A(x), \mu_B(x)$, với bảng giá trị chân lý như sau:

Bảng 1.3. Bảng chân lý của phép kéo theo

$\mu_A(x)$	$\mu_B(y)$	$\mu_{A \Rightarrow B}(y)$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Phép tính kéo theo này cũng được chuyển sang thành phép tính kéo theo của hai tập mờ không cần phải có chung tập nền. Tuy nhiên, nếu sử dụng phép kéo theo mờ đó một cách máy móc để thực hiện mệnh đề hợp thành (1.1) hoặc (1.2) dạng đơn giản:

R_k : Nếu $A=A_k$ thì $B=B_k$

trong đó A, B là hai biến ngôn ngữ và A_k, B_k là những giá trị ngôn ngữ (tập mờ) của chúng, ta sẽ gặp sự mâu thuẫn trong suy luận điều khiển. Để minh họa cho mâu thuẫn này ta lấy ví dụ cụ thể với mệnh đề “Nếu mực nước là cao thì van sẽ đóng” của bài toán điều khiển bình nước. Đặt:

Biến ngôn ngữ $A = \text{mực nước}$, $B = \text{van}$

Giá trị ngôn ngữ: $A_1 = \text{cao}$, $A_2 = \text{thấp}$ cũng như $B_1 = \text{đóng}$ và $B_2 = \text{mở}$ thì mệnh đề hợp thành “Nếu mực nước là cao thì van sẽ đóng” có dạng:

R_1 : Nếu $A=A_1$ thì $B=B_1$

Khi đó, ở trường hợp mực nước = thấp, tức là $\mu_{A_1}(x)=0$, phép tính kéo theo dựa vào bảng chân lý trên, không phụ thuộc vào giá trị của $\mu_{B_1}(x)$, sẽ luôn cho ra kết quả mâu thuẫn $\mu_{A \Rightarrow B}(y)=1$, tức là van luôn đóng và điều này hoàn toàn trái với suy luận điều khiển của con người

Từ nhận xét như vậy và cũng để phù hợp với suy luận rất thông thường của một mệnh đề hợp thành trong điều khiển. Mamdani đề xuất thêm: “phép suy diễn mờ phải là một phép kéo theo thỏa mãn $\mu_{A \Rightarrow B}(y) \leq \mu_A(x)$, tức là giá trị kết luận của mệnh đề hợp thành không được lớn hơn giá trị của phần điều kiện.

Kết hợp tính chất kéo theo theo kinh điển và đề xuất trên của Mamdani, ta đi đến **định nghĩa phép suy diễn mờ** như sau:

Phép suy diễn mờ với hai hàm thuộc $\mu_{A_k}(x)$, $\mu_{B_k}(y)$ của hai tập mờ A_k và B_k là một tập mờ cùng nền với giá trị ngôn ngữ B_k có hàm thuộc $\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y)$ thỏa mãn:

- $\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) \leq \mu_{A_k}(x)$
- Nếu có $\mu_{B_k}(y) = 0$ thì cũng có $\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) = 0$
- Nếu có $\mu_{A_k}(x) \leq \mu_{A_i}(x)$ thì cũng có $\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) \leq \mu_{A_i \Rightarrow B_k}(y)$, $\forall B_k$
- Nếu có $\mu_{B_k}(x) \leq \mu_{B_i}(x)$ thì cũng có $\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) \leq \mu_{A_k \Rightarrow B_i}(y)$, $\forall A_k$

Giống như các phép tính logic mờ trước đây, từ định nghĩa phép suy diễn ta có thể dựng nhiều công thức không tương đương nhau cùng mô tả hàm thuộc $\mu_{R_k}(y) = \mu_{A_k \rightarrow B_k}(y)$ cho mệnh đề hợp thành. Tuy nhiên trong điều khiển mờ người ta lại dùng nhiều nhất là hai phép suy diễn mờ cho trong bảng dưới đây và lựa chọn sử dụng công thức suy diễn nào là quyền của người thiết kế bộ điều khiển mờ.

Bảng 1.4. Một số phép suy diễn thường dùng

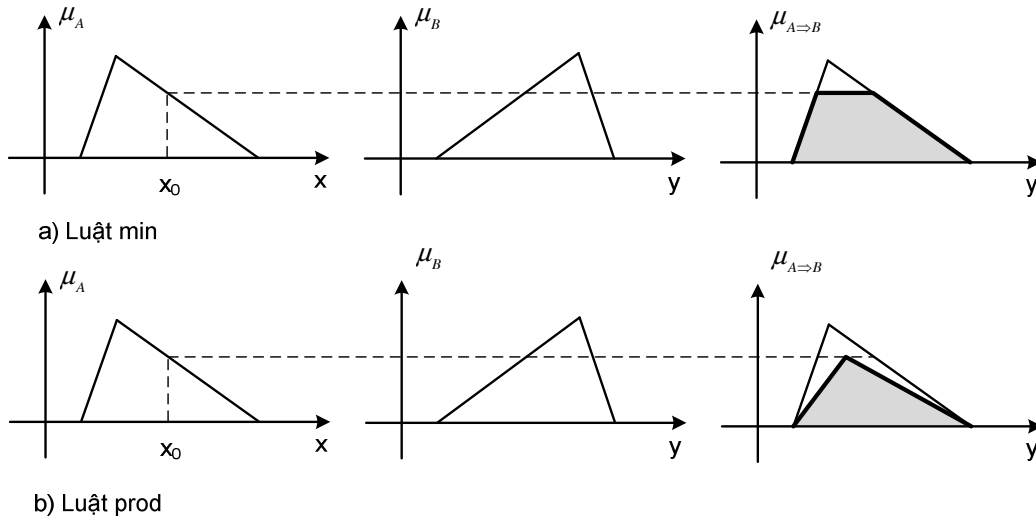
Số TT	Tên gọi	Công thức mô tả
1	Luật min	$\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) = \min\{\mu_{A_k}(x), \mu_{B_k}(y)\}$
2	Luật prod	$\mu_{A_k \Rightarrow B_k}(y) = \mu_{A_k}(x) \mu_{B_k}(y)$

Ngoài ra ta còn thấy thêm từ định nghĩa rằng phép suy diễn mờ $A \rightarrow B$ của hai tập mờ A trên nền X có hàm thuộc $\mu_A(x)$ và B trên nền Y có hàm thuộc $\mu_B(y)$, là một tập mờ trên cùng một nền Y với tập mờ B:

$$\mu_{A \Rightarrow B} : X \rightarrow [0,1] \text{ hay } \mu_{A \Rightarrow B} : x \rightarrow [0,1]$$

Như vậy $\mu_{A \Rightarrow B}$ là một ánh xạ từ X vào $[0,1]$, do đó có thể xác định được cụ thể giá trị hàm thuộc $\mu_{A \Rightarrow B}(y)$ nếu đã biết giá trị rõ $x \in X$. Hình 9 minh họa phép suy diễn mờ $A \Rightarrow B$ được thực hiện theo luật min giữa hai tập mờ A, B có các hàm thuộc là $\mu_A(x)$ và $\mu_B(y)$ tại $x=x_0$, tức là:

$$\mu_{A \Rightarrow B}(y) = \min\{\mu_A(x_0), \mu_B(y)\} = \min\{H, \mu_B(y)\}, \text{ trong đó } H = \mu_A(x_0)$$



Hình 1.13. Minh họa các phép suy diễn mờ

1.1.5.3. Luật hợp thành mờ

Luật hợp thành là tên chung gọi mô hình R biểu diễn một hay nhiều hàm thuộc, cho một hay nhiều mệnh đề hợp thành, nói cách khác luật hợp thành được hiểu là một

tập hợp của nhiều mệnh đề hợp thành. Một luật hợp thành chỉ có một mệnh đề hợp thành được gọi là luật hợp thành đơn. Ngược lại nếu nó có nhiều hơn một mệnh đề hợp thành, ta sẽ gọi nó là luật hợp thành kép. Phần lớn các hệ mờ trong thực tế đều có mô hình là luật hợp thành kép.

Xét ví dụ luật hợp thành R biểu diễn mô hình lái ô tô nước gồm 3 mệnh đề hợp thành R_1, R_2, R_3 cho biến ngôn ngữ tốc độ λ (chậm, trung bình và nhanh) và biến ga γ (giảm, giữ nguyên, tăng) như sau:

R_1 : Nếu λ chậm thì γ tăng hoặc

R_2 : Nếu λ trung bình thì γ giữ nguyên hoặc

R_3 : Nếu λ nhanh thì γ giảm.

Với mỗi giá trị vật lý x_0 của biến tốc độ đầu vào thì thông qua phép suy diễn mờ ta có ba tập mờ B_1', B_2' và B_3' từ ba mệnh đề hợp thành R_1, R_2, R_3 của luật hợp thành R. Lần lượt ta gọi các hàm thuộc của ba tập mờ kết quả đó là $\mu_{B_1'}(y), \mu_{B_2'}(y), \mu_{B_3'}(y)$.

Giá trị của luật hợp thành R ứng với x_0 được hiểu là tập mờ R' thu được qua ba phép hợp ba tập mờ B_1', B_2' và B_3' :

$$R' = B_1' \cup B_2' \cup B_3' \quad (1.3)$$

Nếu các hàm thuộc $\mu_{B_1'}(y), \mu_{B_2'}(y), \mu_{B_3'}(y)$ thu được theo quy tắc MIN và phép hợp (1.3) được thực hiện theo luật MAX thì R có tên gọi là luật hợp thành max - MIN.

Cũng như vậy R còn có những tên gọi khác như bảng dưới đây:

Bảng 1.5. Các luật hợp thành

Luật hợp thành	Phép tuyển mờ	Phép suy diễn mờ	Phép hội mờ
<i>max – min</i>	<i>Luật max</i>	<i>Luật min</i>	<i>Luật min</i>
<i>max - prod</i>	<i>Luật max</i>	<i>Luật prod</i>	<i>Luật min</i>
<i>sum - min</i>	<i>Tổng trực tiếp</i>	<i>Luật min</i>	<i>Luật min</i>
<i>sum - prod</i>	<i>Tổng trực tiếp</i>	<i>Luật prod</i>	<i>Luật min</i>

Với dạng mệnh đề hợp thành có d mệnh đề điều kiện:

NẾU $\chi_1=A_1$ VÀ $\chi_2=A_2$ VÀ ... VÀ $\chi_d=A_d$ THÌ $\gamma=B$

Bao gồm d biến ngôn ngữ đầu vào $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$ và một biến đầu ra γ , cũng được mô hình hóa giống như việc mô hình hóa mệnh đề hợp thành có một điều kiện, trong đó liên kết VÀ giữa các mệnh đề (hay giá trị mờ) được thực hiện bằng phép giao các tập mờ $A_1, A_2, \dots, A_n$ theo luật min. Kết quả của phép giao sẽ là độ cao thỏa mãn H:

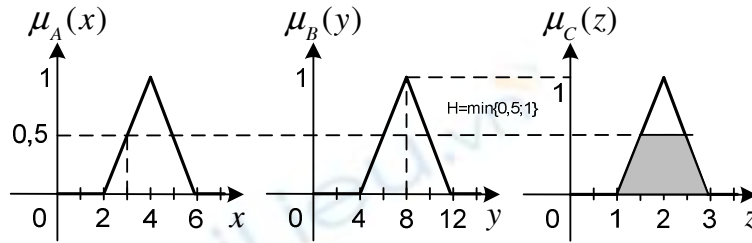
$$H = \min\{\mu_{A_1}(c_1), \mu_{A_2}(c_2), \dots, \mu_{A_d}(c_d)\}$$

Trong đó: $\underline{x} = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_d \end{pmatrix}$ là vector các điểm rõ đầu vào.

Xét ví dụ một mệnh đề với hai mệnh đề điều kiện

NẾU $\alpha=A$ VÀ $\beta=B$ THÌ $\gamma=C$

Hàm thuộc $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ và $\mu_C(x)$ như hình 1.14. Kết quả như hình 1.14 là với giá trị rõ ($x=3$, $y=8$) và luật hợp thành là MIN.



Hình 1.14. Minh họa cho luật hợp thành MISO với hai mệnh đề điều kiện

Thuật toán xây dựng luật hợp thành có nhiều mệnh đề hợp thành

Tổng quát hóa phương pháp mô hình hóa trên cho p mệnh đề hợp thành gồm:

R_1 : NẾU $\chi_1=A_1$ THÌ $\gamma=B_1$ hoặc

R_2 : NẾU $\chi_1=A_2$ THÌ $\gamma=B_2$ hoặc

$\vdots$

R_p : NẾU $\chi_p=A_p$ THÌ $\gamma=B_p$ hoặc

trong đó $A_1, A_2, \dots, A_p$ có cùng tập nền X và $B_1, B_2, \dots, B_p$ có cùng tập nền Y . Gọi hàm thuộc của A_k và B_k là $\mu_{A_k}(x)$ và $\mu_{B_k}(y)$ với $k=1, 2, \dots, p$. Thuật toán triển khai:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_p$$

sẽ như sau:

1. Rời rạc hóa X tại n điểm $x_1, x_2, \dots, x_n$ và Y tại m điểm $y_1, y_2, \dots, y_m$
2. Xác định các vector $\underline{\mu}_{A_k}(x)$ và $\underline{\mu}_{B_k}(y)$, $k=1, 2, \dots, p$ theo:

$$\underline{\mu}_{A_k}^T(x) = (\mu_{A_k}(x_1), \mu_{A_k}(x_2), \dots, \mu_{A_k}(x_n))$$

$$\underline{\mu}_{B_k}^T(y) = (\mu_{B_k}(y_1), \mu_{B_k}(y_2), \dots, \mu_{B_k}(y_m))$$

tức là Fuzzy hóa các điểm rời rạc của X và Y .

3. Xác định mô hình cho luật điều khiển

a) $R_k = \underline{\mu}_{A_k} \cdot \underline{\mu}_{B_k}^T = (r_{ij}^k), i = 1, \dots, n \text{ và } j = 1, \dots, n$

b) Trong đó phép nhân được thay bằng phép tính lấy cực tiểu min khi sử dụng nguyên tắc max – min.

4. Xác định luật hợp thành

- Luật hợp thành max – min: $R = \max \{r_{ij}^k | k = 1, 2, \dots, p\}$

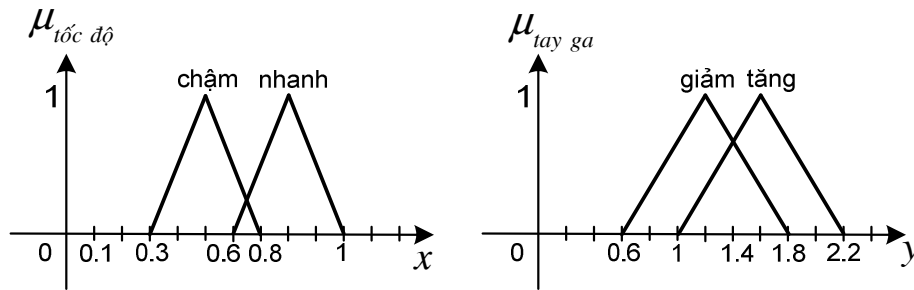
- Luật hợp thành max – prod: $R = \min \left\{ 1, \sum_{k=1}^p R_k \right\}$

Ví dụ sau mô tả việc triển khai R theo quy tắc max-min cho hai luật điều khiển là hai mệnh đề hợp thành:

R₁: NẾU $\chi = \text{chậm}$ THÌ $\gamma = \text{tăng}$ hoặc

R₂: NẾU $\chi = \text{nhanh}$ THÌ $\gamma = \text{giảm}$ hoặc

Trong đó biến ngôn ngữ χ chỉ tốc độ xe và γ chỉ sự tác động vào tay ga xe. Hàm thuộc của giá trị mờ chậm, nhanh cho biến tốc độ và tăng, giảm cho biến tay ga được mô tả như hình 1.15.



Hình 1.15. Hàm thuộc của các giá trị nhanh, chậm cho biến tốc độ và tăng, giảm cho biến tay ga.

- Rời rạc hóa X và Y

$$X = \{0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 ; 1,0\}$$

$$Y = \{0,6 ; 0,8 ; 1,0 ; 1,2 ; 1,4 ; 1,6 ; 1,8 ; 2,0 ; 2,2\}$$

- Fuzzy hóa các điểm rời rạc trên thành 4 vector