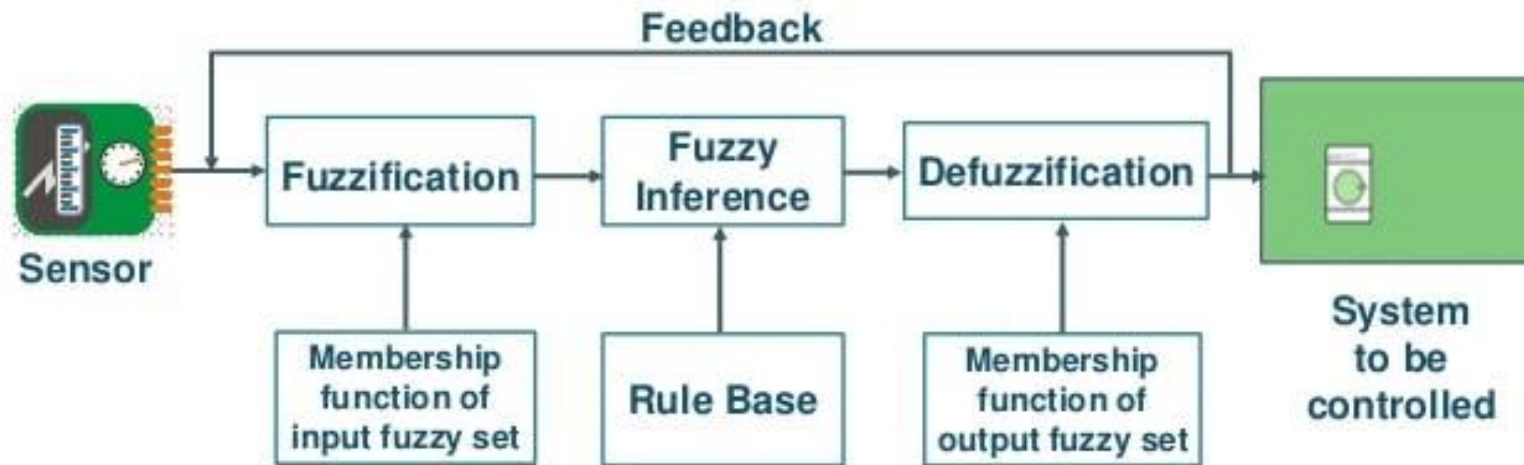


Hệ mở

TS. NGUYỄN ĐÌNH HÓA

Giới thiệu chung

Fuzzy Logic Controller



Định nghĩa hệ Mờ

Hệ mờ gồm một tập hợp các quy tắc (luật) mờ cùng các hàm thành viên để suy luận từ dữ liệu

Hệ mờ sử dụng các luật logic mờ chứ không sử dụng logic Boolean.

Logic mờ là một loại logic thể hiện sự mờ, không hoàn toàn rõ ràng. Logic mờ được sử dụng để mô hình hóa tư duy con người về khả năng dùng từ, đưa ra quyết định, và biểu diễn kiến thức căn bản.

Logic mờ được giới thiệu lần đầu tiên năm 1930 bởi Jan Lukasiewicz, một nhà triết học Ba Lan (trong việc phát triển các ý nghĩa thông tin nằm giữa 0 và 1).

Năm 1937, Max Black cho ra đời tập mờ đầu tiên.

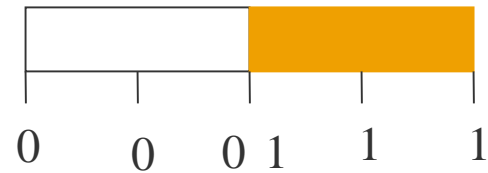
Năm 1965, Lotif Zadeh tiếp tục nghiên cứu về “sự mờ”.

Logic mờ

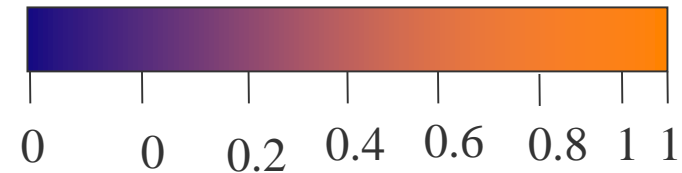
Logic mờ là một tập hợp các nguyên lý toán học để biểu diễn tri thức dựa trên nhiều mức độ thành viên

Logic tổ là một cách biểu diễn hàm thành viên nhị phân để phân loại dữ liệu.

Logic tổ chỉ có hai giá trị, logic mờ có nhiều giá trị



Boolean Logic



Multivalued Logic

Tập tử - Tập mờ

Tập tử: Là tập hợp được xác định bởi đường bao rõ ràng. Một phần tử chỉ có thể thuộc tập A hoặc không thuộc tập A

Hàm đặc tính, $f_A(x)$, của tập tử chỉ có 2 giá trị đầu ra

Tập mờ: là tập hợp được xác định bởi đường bao mờ

Hàm thành viên, $\mu_A(x)$, của tập mờ gồm nhiều giá trị đầu ra.

$$f_A(x) : X \rightarrow 0,1$$

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \in A \\ 0, & \text{if } x \notin A \end{cases}$$

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

$$\mu_A(x) = 1 \quad \text{Nếu } x \text{ hoàn toàn thuộc } A$$

$$\mu_A(x) = 0 \quad \text{Nếu } x \text{ không thuộc } A$$

$$0 < \mu_A(x) < 1 \quad \text{Nếu } x \text{ thuộc } A \text{ một phần}$$

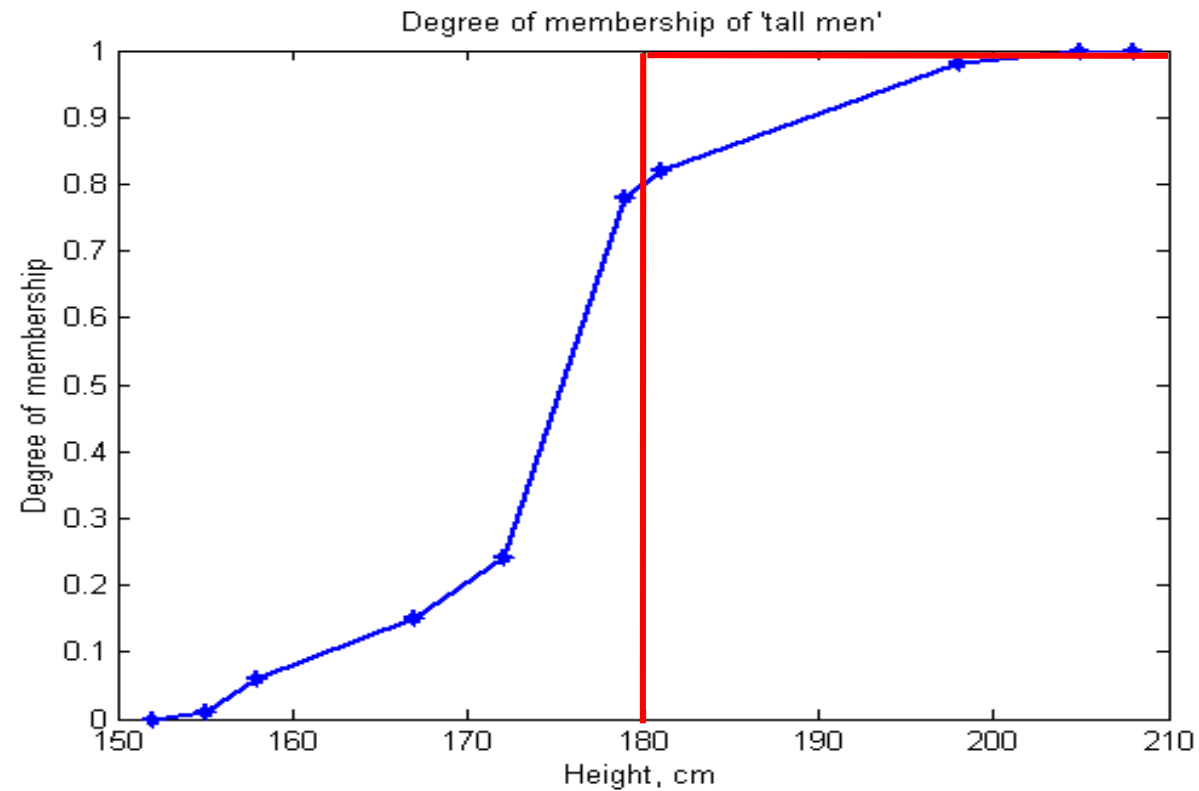
Ví dụ

Xác định mức độ thành viên của “người cao”

Tên	Chiều cao (cm)	Mức độ thành viên	
		Tập Tổ	Tập Mờ
Rahim	208	1	1.00
Karim	205	1	1.00
Ram	198	1	.98
Sam	181	1	.82
Jodu	179	0	.78
Modu	172	0	0.24
Abdul	167	0	0.15
Anis	158	0	0.06
Montu	155	0	0.01
Robin	152	0	0.00

Ví dụ

Đường màu đỏ biểu diễn tập Tỏ, còn đường màu xanh biểu diễn tập Mờ xác định người cao.



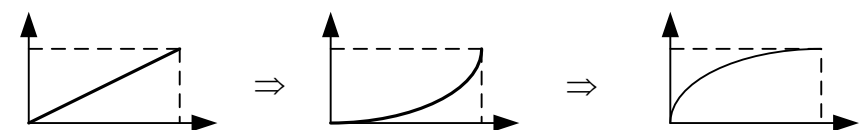
Hàm thành viên của tập mờ

Hàm thành viên được xác định bằng kiến thức chuyên gia.

Hàm thành viên được xác định dựa trên dữ liệu thu thập: xác định cấu trúc hàm thành viên và tính chỉnh nó.

Có 3 dạng hàm thành viên cơ bản:

- Dạng tăng

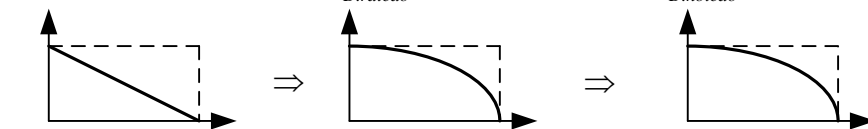


$$\mu_{B.cao} = ax + b$$

$$\mu_{B.ratcao} = (ax + b)^2$$

$$\mu_{B.hoicao} = \sqrt{ax + b}$$

- Dạng giảm

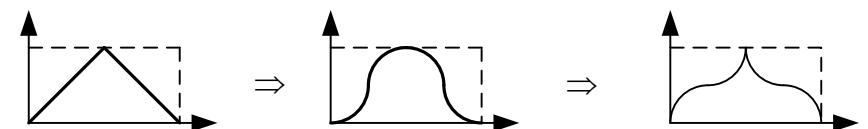


$$\mu_{B.can} = 1 - \mu_{B.cao}$$

$$\mu_{B.ratcan} = 1 - \mu_{B.ratcao}$$

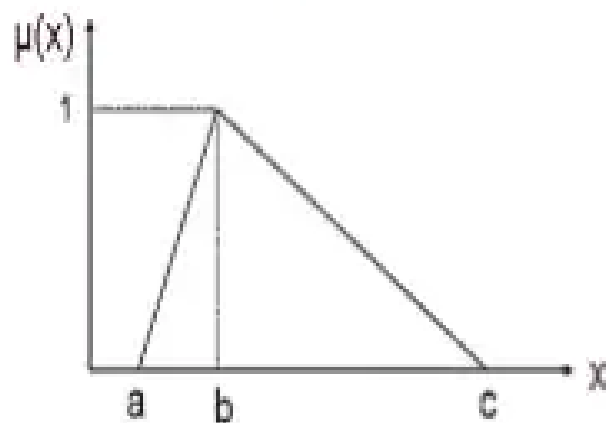
$$\mu_{B.hoican} = 1 - \mu_{B.hoicao}$$

- Dạng vừa tăng vừa giảm



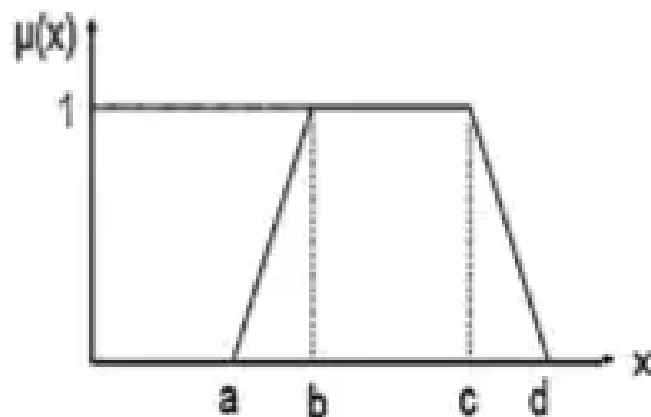
Một số hàm thành viên cơ bản

Triangular



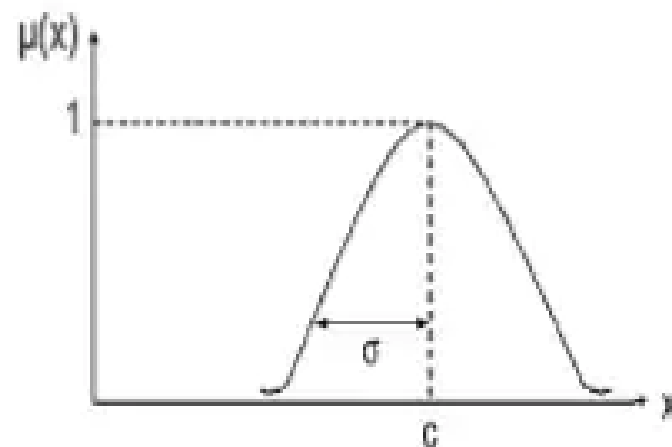
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , x \geq c \end{cases}$$

Trapezoidal



$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , x \geq d \end{cases}$$

Gaussian



$$\mu(x) = \exp\left(\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Các toán tử mờ

Hai tập mờ A và B được gọi là bằng nhau khi và chỉ khi $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ với mọi $x \in U$

Tập mờ B chứa tập mờ A, $A \subset B$, khi và chỉ khi $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ với mọi $x \in U$

Bù của A là một tập mờ phủ định A trong U: $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

Hợp của hai tập mờ A và B, $A \cup B$ là một tập mờ có hàm thành viên được xác định bởi:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Giao của hai tập mờ A và B là một tập mờ có hàm thành viên được xác định bởi

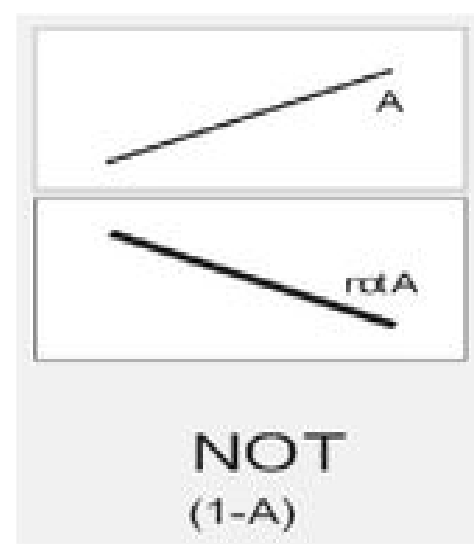
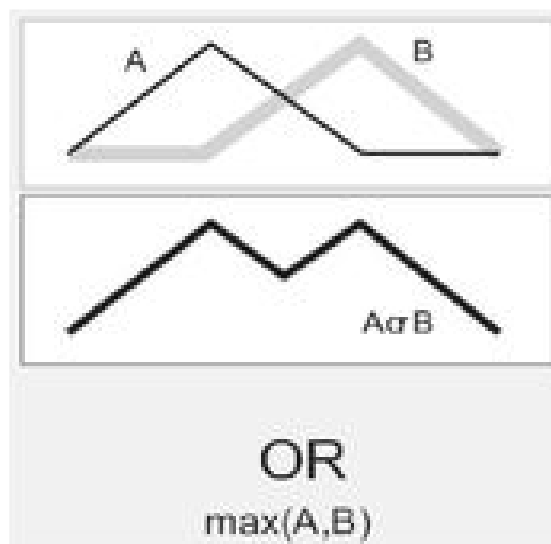
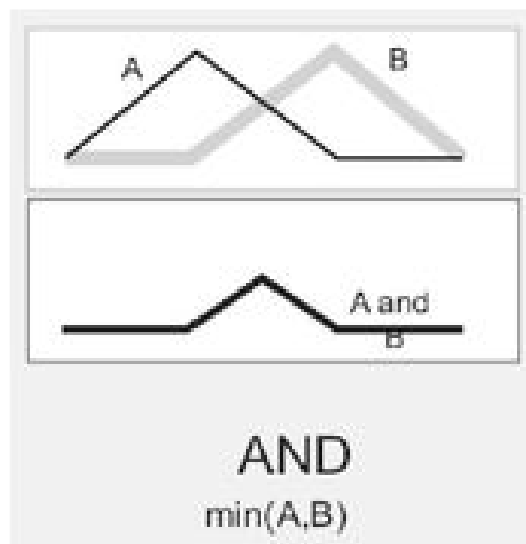
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Các toán tử mờ

AND: lấy giá trị nhỏ nhất của các hàm thành viên

OR: Lấy giá trị lớn nhất của các hàm thành viên

NOT: lấy phủ định của hàm thành viên



Độ hỗ trợ của tập mờ

Tập hỗ trợ của tập mờ A , $supp(A)$, của một tập con các phần tử U mà giá trị theo hàm thành viên, $\mu_A(x)$, của các phần tử đó lớn hơn 0

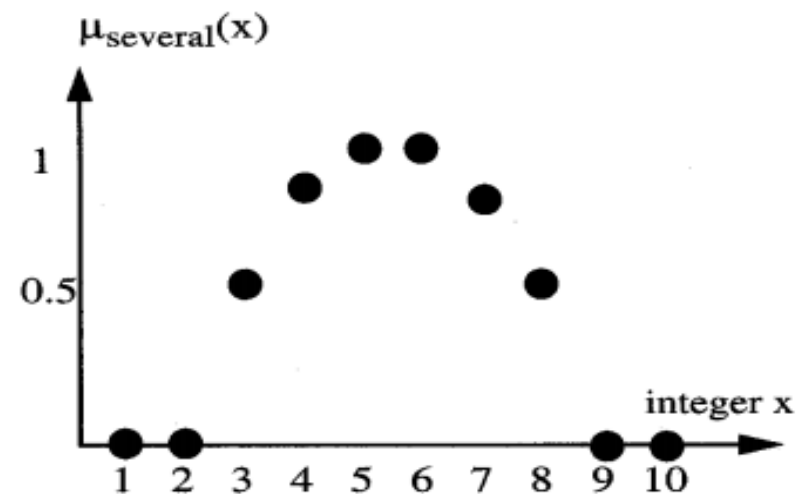
$$supp(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) > 0\}$$

Giá trị $\mu_A(x)$ còn được gọi là độ hỗ trợ của tập mờ A đối với mỗi phần tử x

Ví dụ: Tập hỗ trợ của tập mờ A là $\{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$

Nếu tập hỗ trợ của tập mờ A là rỗng thì A được gọi là **tập mờ rỗng**

Nếu tập hỗ trợ của tập mờ A chỉ có một phần tử thì A được gọi là **tập mờ đơn**



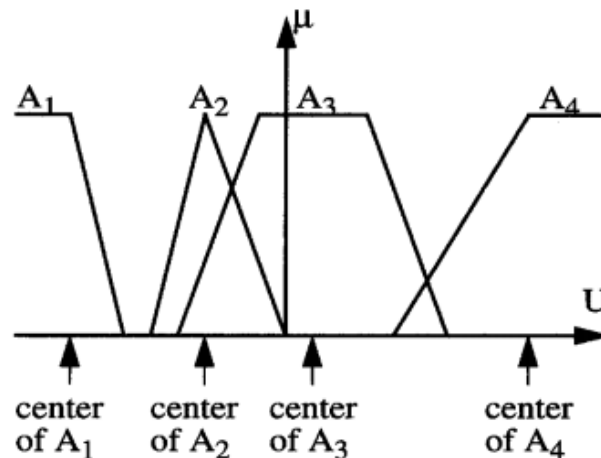
Các tính chất của tập mờ

Chiều cao của một tập mờ: là giá trị thành viên lớn nhất của một phần tử trong tập mờ đó

Nếu tập mờ có chiều cao là 1 thì được gọi là Tập mờ bình thường

Trung tâm của tập mờ: là giá trị trung bình (hữu hạn) của các phần tử có giá trị thành viên đạt tối đa trong tập mờ đó.

- Nếu giá trị trung bình này là dương vô cùng thì trung tâm của tập mờ sẽ là giá trị của phần tử nhỏ nhất
- Nếu giá trị trung bình này là âm vô cùng thì trung tâm của tập mờ sẽ là giá trị của phần tử lớn nhất



Các tính chất của tập mờ

Một giao điểm α của tập mờ A là tập hợp các phần tử của A có giá trị thành viên tối thiểu là α

$$A_\alpha = \{x \in U \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

Mờ hóa

Mờ hóa là sự ánh xạ từ các tập giá trị x thuộc U , $U \subset R$, thành tập các giá trị $\mu_A(x)$ thuộc tập mờ A ở trong U .

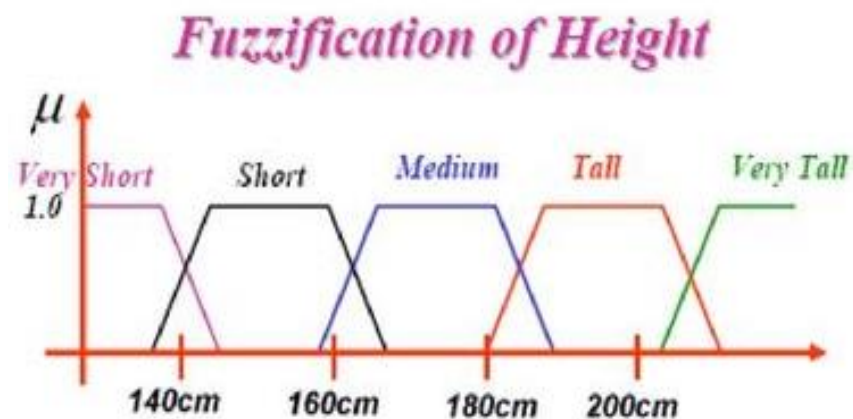
Mờ hóa đơn vị: từ điểm giá trị $x \in U$ lấy một giá trị đơn của tập mờ A

Mờ hóa Gauss: từ các điểm giá trị $x \in U$ lấy giá trị đơn của tập mờ A thuộc hàm Gauss.

Mờ hóa tam giác: từ các điểm giá trị $x \in U$ lấy giá trị đơn của tập mờ A thuộc hàm hình tam giác

Mờ hóa

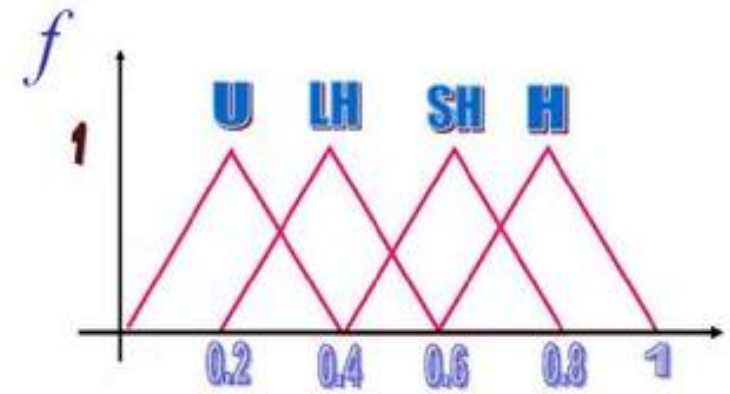
Bước 1: Chuyển đổi dữ liệu số thành dữ liệu ngôn ngữ



Mờ hóa

Bước 2: Xây dựng luật

- Luật phản ánh quyết định của chuyên gia
- Luật được lập thành bảng với các từ thể hiện mờ hóa
 - Ví dụ: Khỏe (H), có vẻ khỏe (SH), không khỏe lắm (LH), yếu (UH)
 - hàm quy tắc: $f = \{U, LH, SH, H\}$
- Luật có thể gom nhóm thành các tập luật
- Luật có thể dư thừa
- Luật có thể điều chỉnh cho phù hợp với nhu cầu sử dụng



$$f = \{U, LH, SH, H\}$$

Bảng mờ hóa

Ví dụ: Bảng với các từ đã mờ hóa

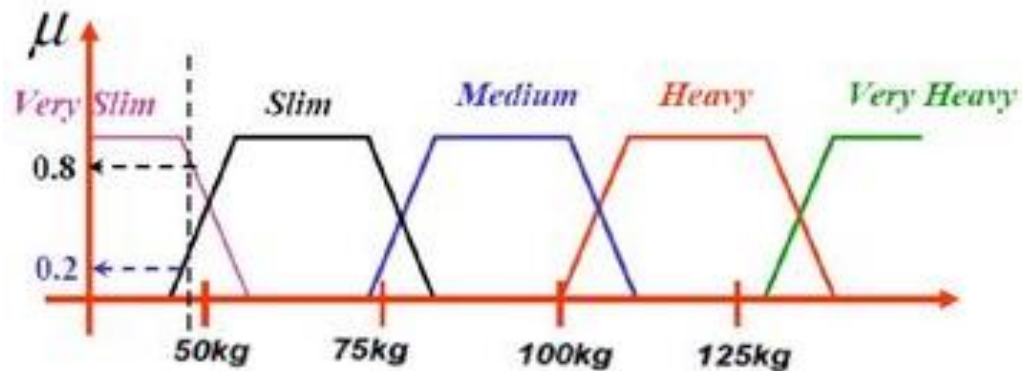
Weight						
Height		Very Slim	Slim	Medium	Heavy	Very Heavy
	Very Short	H	SH	LH	U	U
	Short	SH	H	SH	LH	U
	Medium	LH	H	H	LH	U
	Tall	U	SH	H	SH	U
	Very Tall	U	LH	H	SH	LH

Mờ hóa

Bước 3: Tính toán

- tính toán giá trị hàm thành viên dựa trên giá trị cụ thể của từng đối tượng
- Ví dụ: Chiều cao 185cm, cân nặng 49 kg

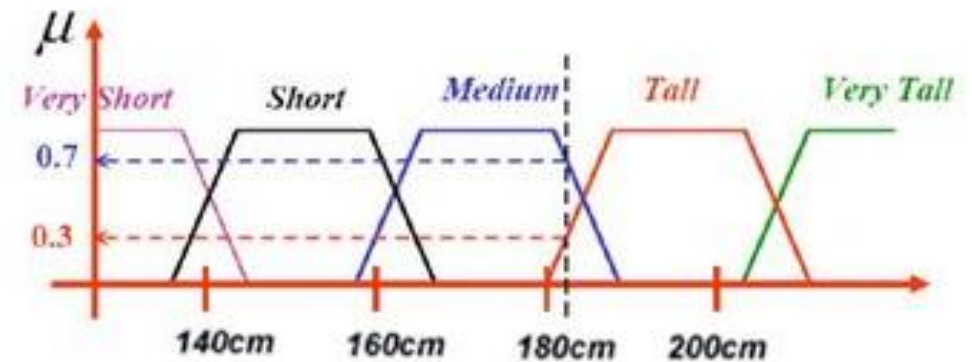
Membership of Weight



$$\mu_{Weight} = \{\mu_{VS} \quad \mu_S \quad \mu_M \quad \mu_H \quad \mu_{VH}\}$$

$$\mu_{Weight} = \{0.8 \quad 0.2 \quad 0 \quad 0 \quad 0\}$$

Membership of Height



$$\mu_{height} = \{\mu_{VS} \quad \mu_S \quad \mu_M \quad \mu_T \quad \mu_{VT}\}$$

$$\mu_{height} = \{0 \quad 0 \quad 0.7 \quad 0.3 \quad 0\}$$

Mờ hóa

Vận dụng luật mờ, xây dựng hệ kiến thức chuyên gia

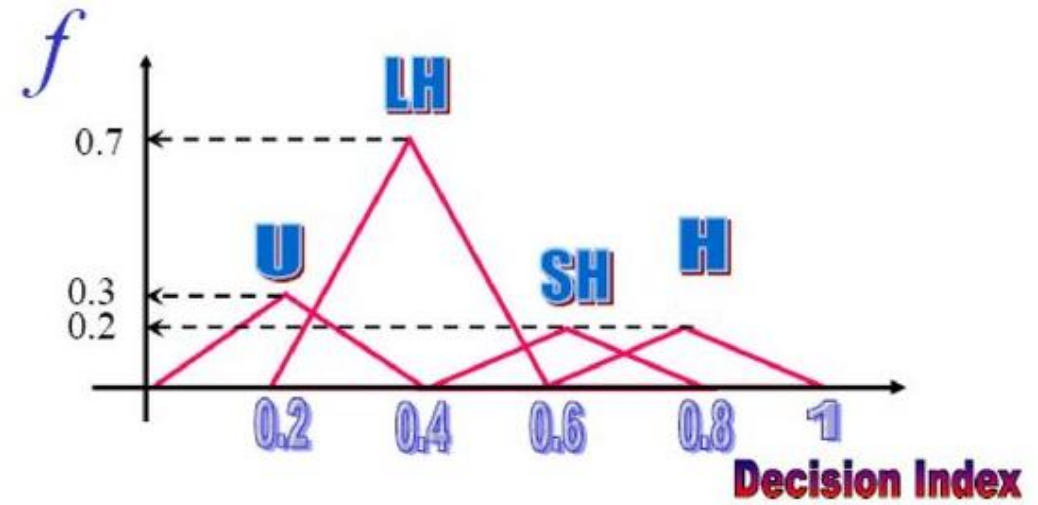
		Weight				
Height		0.8	0.2	Medium	Heavy	Very Heavy
	Very Short	H	SH	LH	U	U
	Short	SH	H	SH	LH	U
	0.7	LH	H	H	LH	U
	0.3	U	SH	H	SH	U
	Very Tall	U	LH	H	SH	LH

Kết hợp thông tin giữa các thuộc tính bằng toán tử AND -> dùng hàm MIN

		Weight				
Height		0.8	0.2	Medium (0)	Heavy (0)	V.Heavy (0)
	V. Short (0)	0	0	0	0	0
	Short (0)	0	0	0	0	0
	0.7	0.7	0.2	0	0	0
	0.3	0.3	0.2	0	0	0
	V. Tall (0)	0	0	0	0	0

Mờ hóa

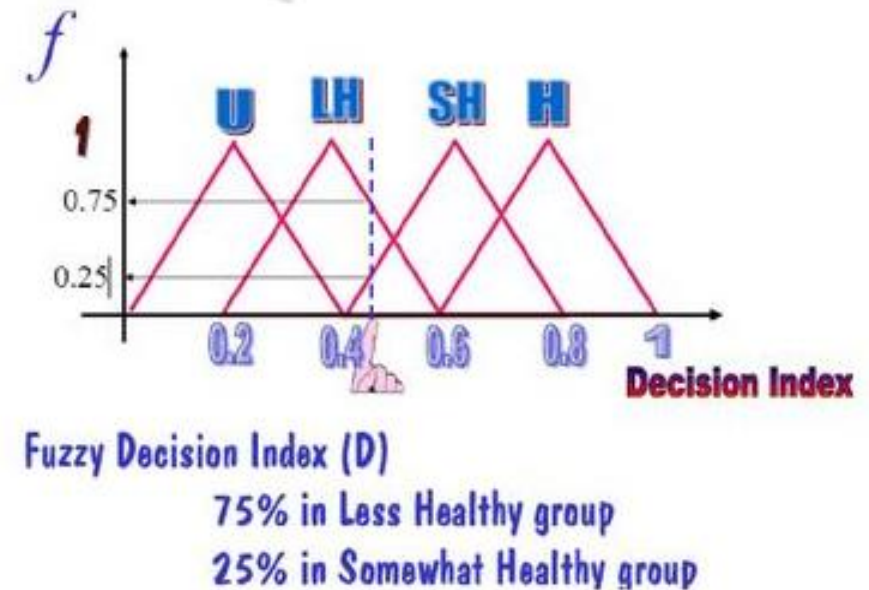
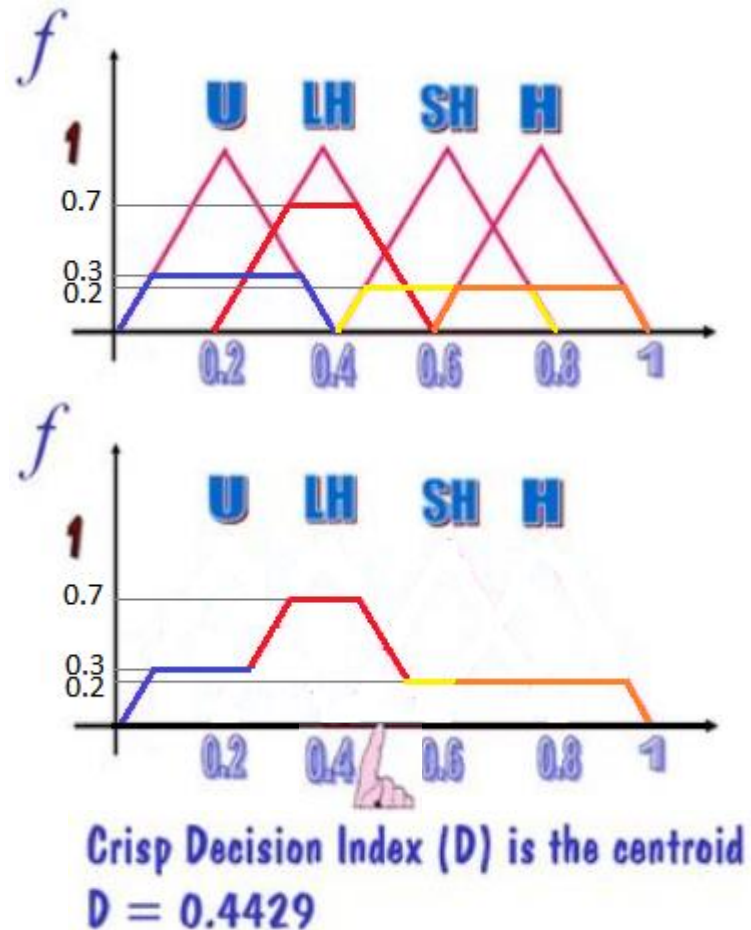
Quyết định dựa trên mờ hóa



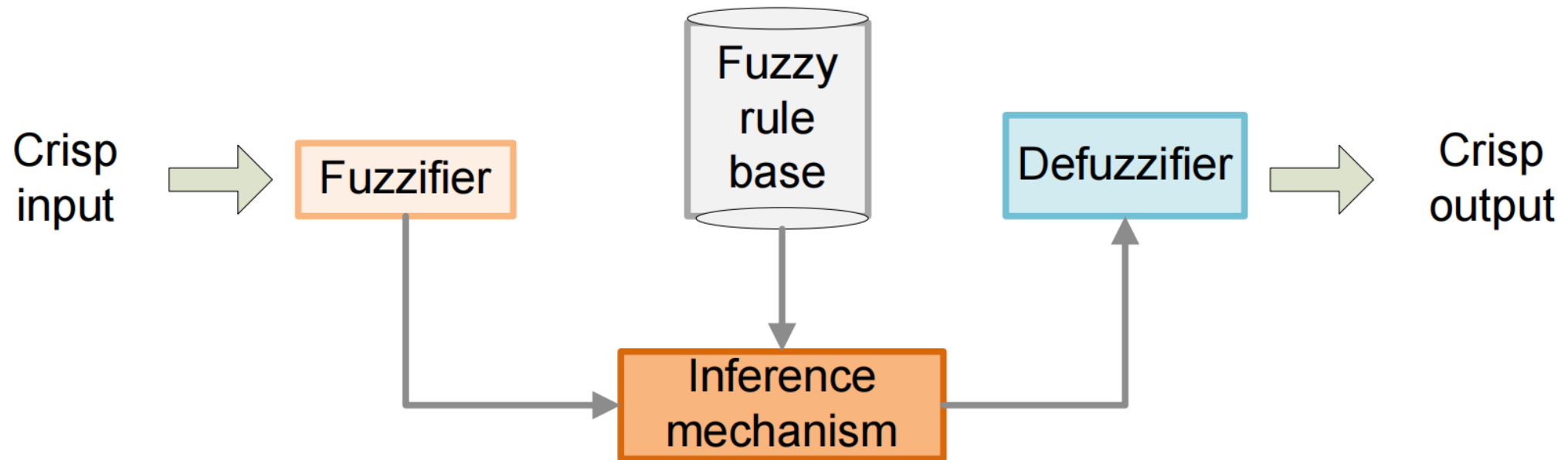
$$f = \{U, LH, SH, H\}$$

$$f = \{0.3, 0.7, 0.2, 0.2\}$$

Giải mờ



Mờ hóa và giải mờ



Giải mờ

Giải mờ là quá trình chuyển các giá trị logic thuộc tập mờ A sang các giá trị logic thuộc tập rõ.

Có 3 phương pháp giải mờ cơ bản:

- Phương pháp cực đại
- Phương pháp trọng tâm
- Phương pháp trung bình tâm

Giải mờ - phương pháp cực đại

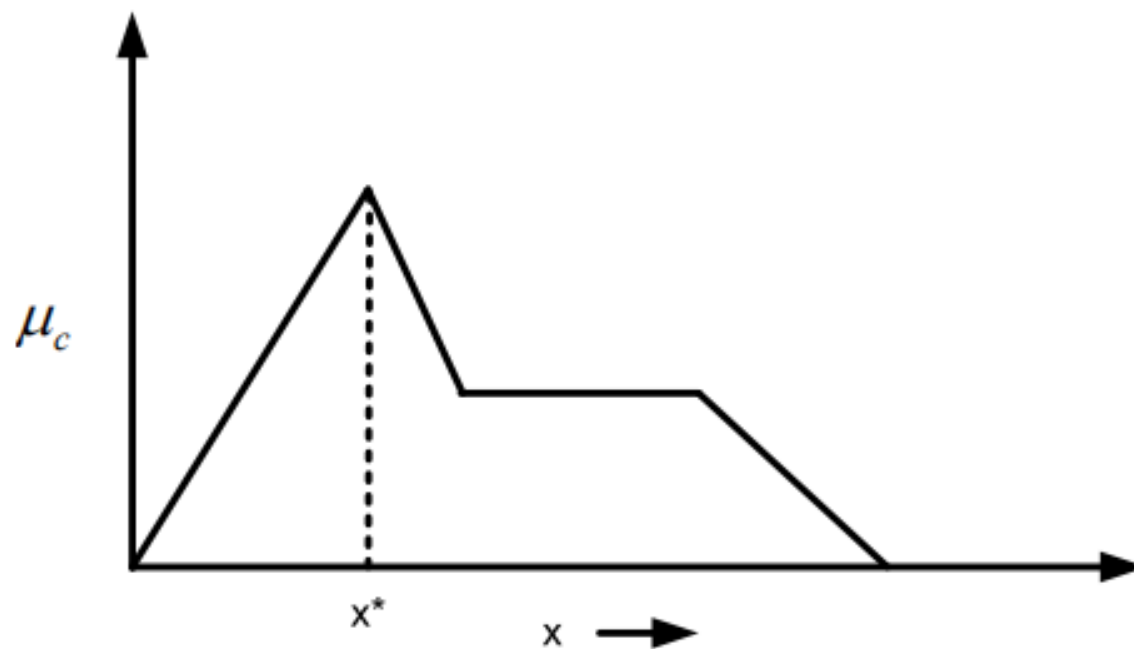
Là quá trình chuyển từ bộ giá trị của tập mờ sang một giá trị của tập tỏ tương ứng với x mang giá trị $\mu_A(x)$ lớn nhất. Có bốn phương pháp cơ bản:

- Giải mờ theo chiều cao tập mờ: phù hợp nếu chỉ có 1 giá trị x có $\mu_A(x)$ cực đại
- Giải mờ theo cực đại đầu tiên
- Giải mờ theo cực đại cuối cùng
- Giải mờ theo cực đại trung bình

Giải mờ theo chiều cao tập mờ

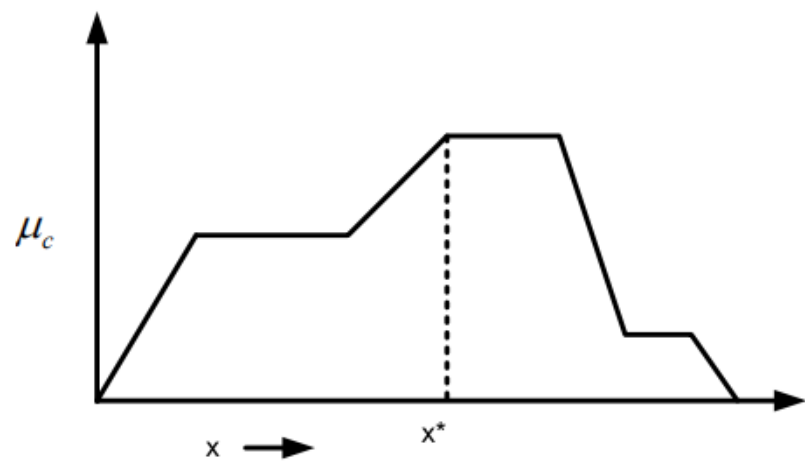
x^* tương ứng với chiều cao của tập mờ A

$$\mu_C(x^*) \geq \mu_A(x) \text{ với mọi } x$$



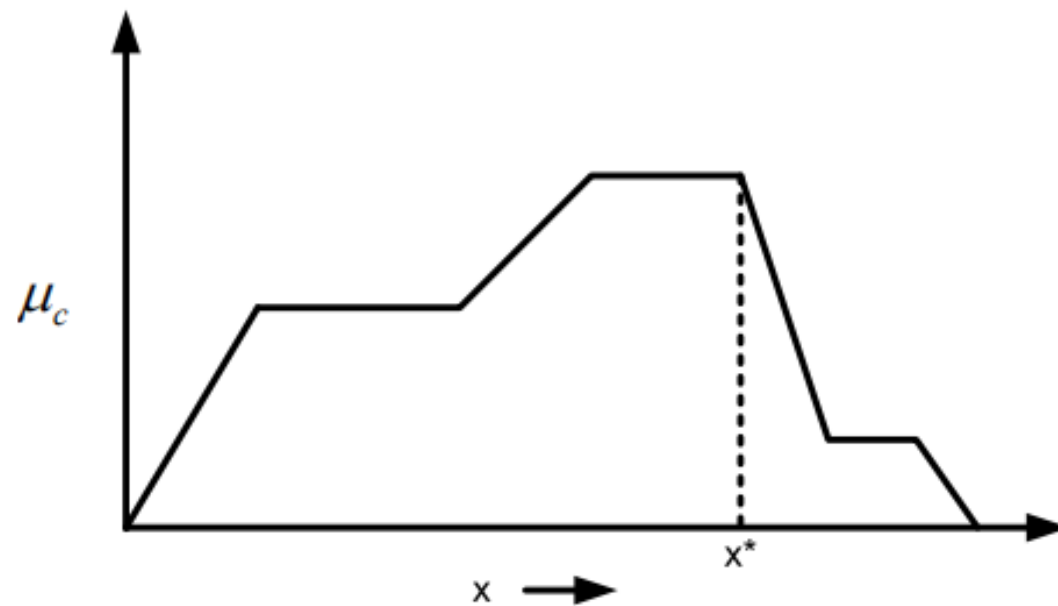
Giải mờ theo cực đại đầu tiên

$$x^* = \min\{x \mid C(x) = \max_w C\{w\}\}$$

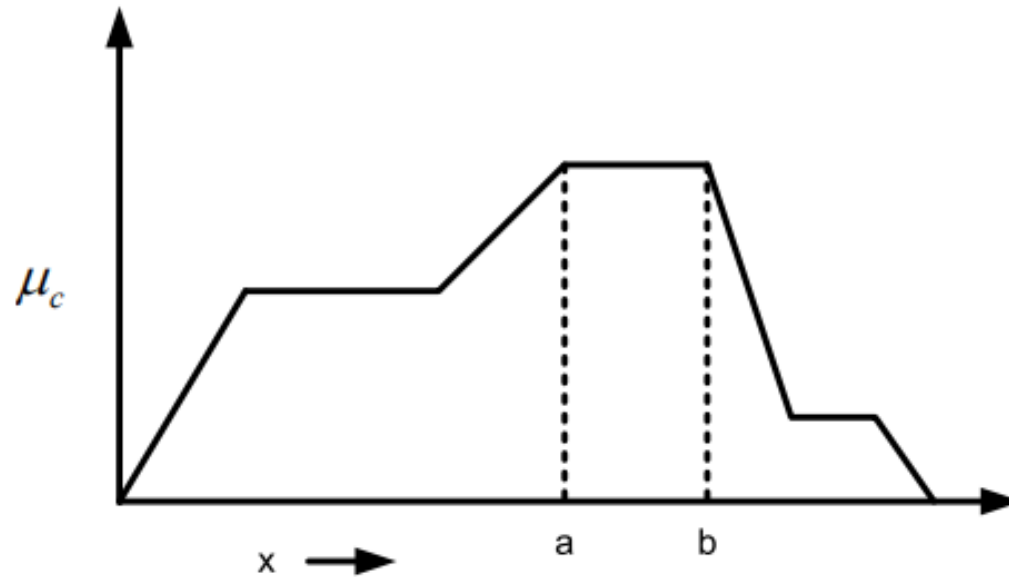


Giải mờ theo cực đại cuối cùng

$$x^* = \max\{x \mid C(x) = \max_w C\{w\}\}$$



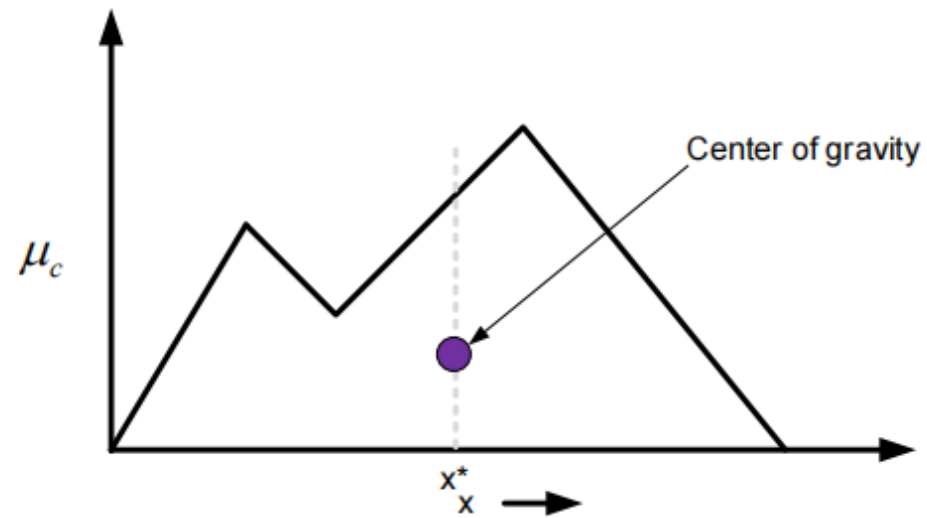
Giải mờ theo cực đại trung bình



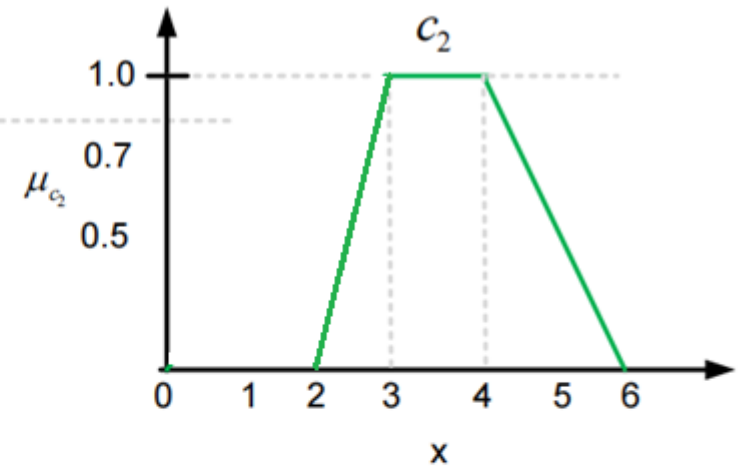
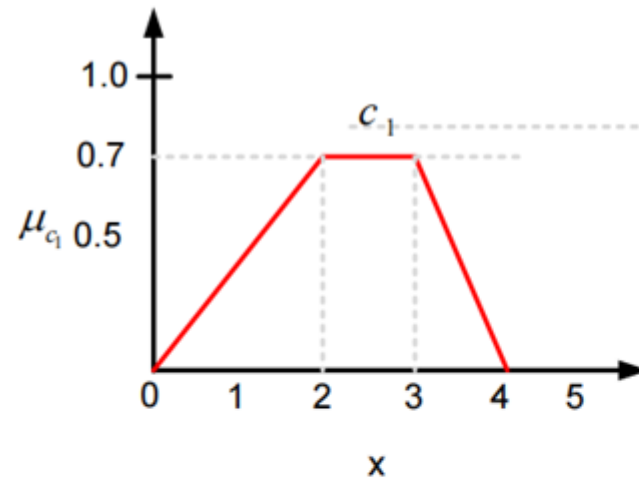
$$x^* = \frac{a+b}{2}$$

Giải mờ theo trọng tâm

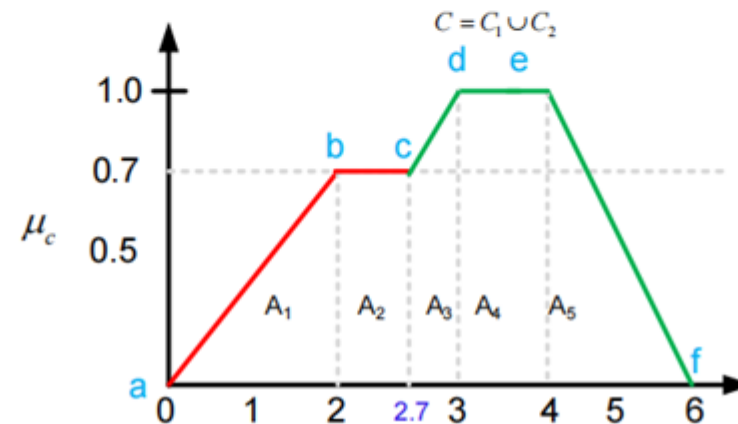
$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu_C(x) dx}{\int \mu_C(x) dx}$$



Ví dụ - Giải mờ theo trọng tâm



$$\mu_C(x) = \begin{cases} 0.35x & 0 \leq x < 2 \\ 0.7 & 2 \leq x < 2.7 \\ x - 2 & 2.7 \leq x < 3 \\ 1 & 3 \leq x < 4 \\ (-0.5x + 3) & 4 \leq x \leq 6 \end{cases}$$



Ví dụ - Giải mờ theo trọng tâm

$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu_c(x) dx}{\int \mu_c(x) dx} = \frac{N}{D}$$

$$\begin{aligned} N &= \int_0^2 0.35x^2 dx + \int_2^{2.7} 0.7x^2 dx + \int_{2.7}^3 (x^2 - 2x) dx + \int_3^4 x dx + \\ &\quad \int_4^6 (-0.5x^2 + 3x) dx \\ &= 10.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \int_0^2 0.35x dx + \int_2^{2.7} 0.7x dx + \int_{2.7}^3 (x - 2) dx + \int_3^4 dx + \int_4^6 (-0.5x + 3) dx \\ &= 3.445 \end{aligned}$$

$$x^* = \frac{10.98}{3.445} = 3.187$$

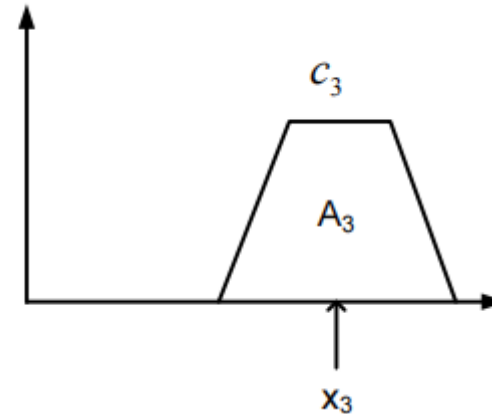
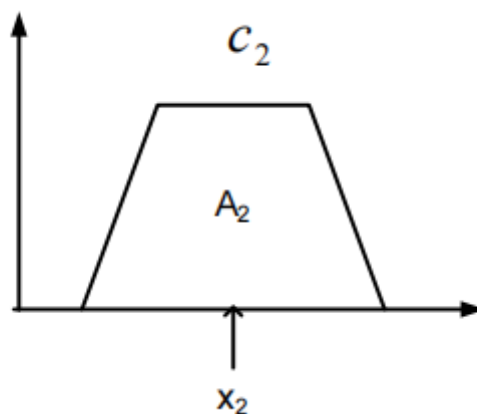
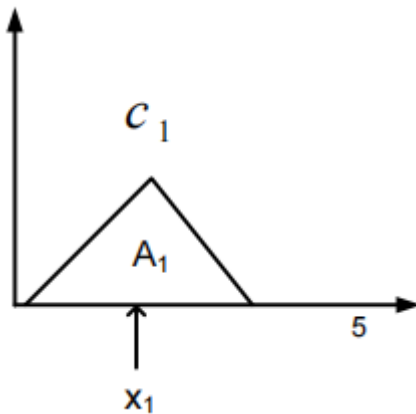
Giải mờ theo trọng tâm

Có thể sử dụng công thức rời rạc:

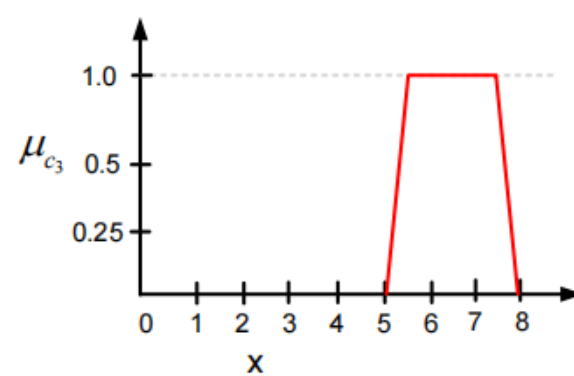
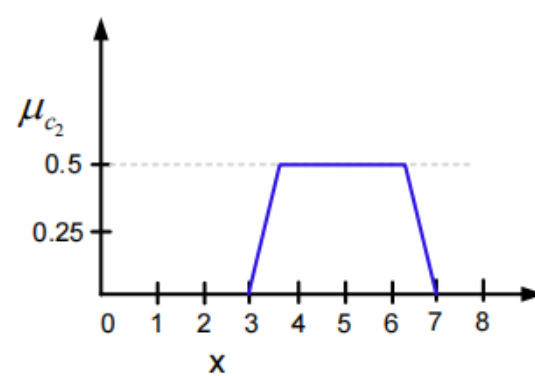
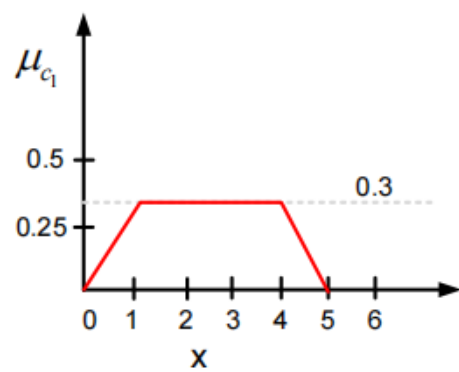
$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot (A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Trong đó, A_i là diện tích bao phủ bởi tập mờ C_i

x_i là giá trị tương ứng với trọng tâm của tập mờ C_i



Ví dụ



Ví dụ

$$A_{c_1} = \frac{1}{2} \times 0.3 \times (3 + 5), x_1 = 2.5$$

$$A_{c_2} = \frac{1}{2} \times 0.5 \times (4 + 2), x_2 = 5$$

$$A_{c_3} = \frac{1}{2} \times 1 \times (3 + 1), x_3 = 6.5$$

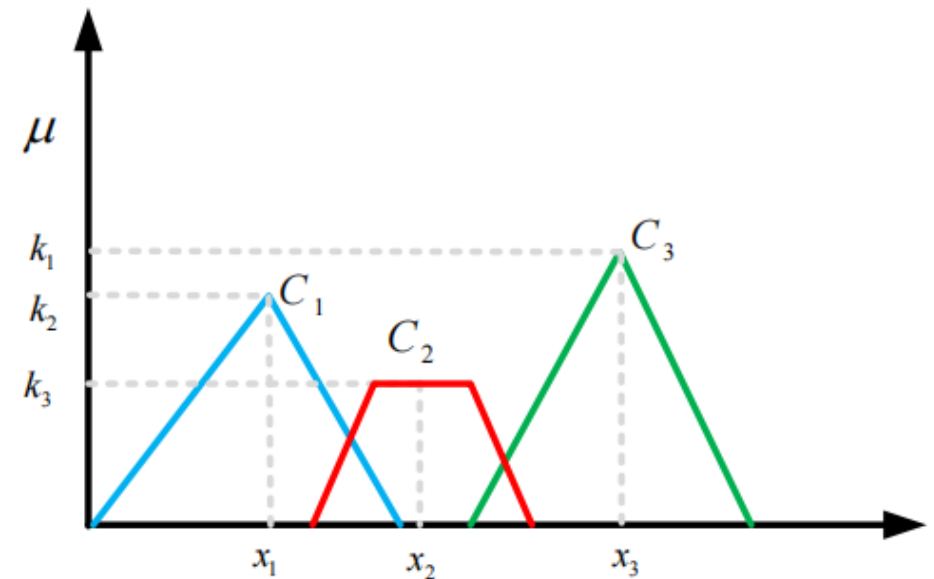
$$x^* = \frac{\frac{1}{2} \times 0.3 \times (3+5) \times 2.5 + \frac{1}{2} \times 0.5 \times (4+2) \times 5 + \frac{1}{2} \times 1 \times (3+1) \times 6.5}{\frac{1}{2} \times 0.3 \times (3+5) + \frac{1}{2} \times 0.5 \times (4+2) + \frac{1}{2} \times 1 \times (3+1)} = 5.00$$

Nếu tính theo phương pháp tích phân: $x^* = 4.9$

Giải mờ theo trung bình trọng số

Có các tập fuzzy: C_1, C_2, \dots, C_n và x_i là giá trị nằm giữa của tập mờ C_i

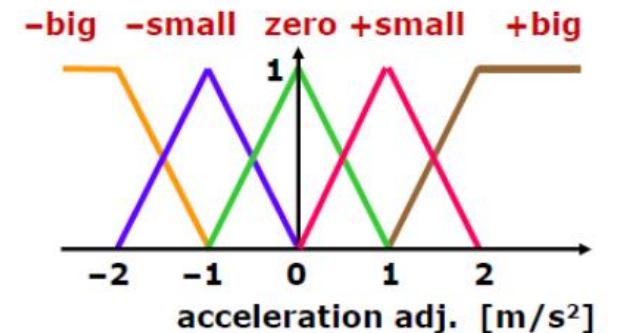
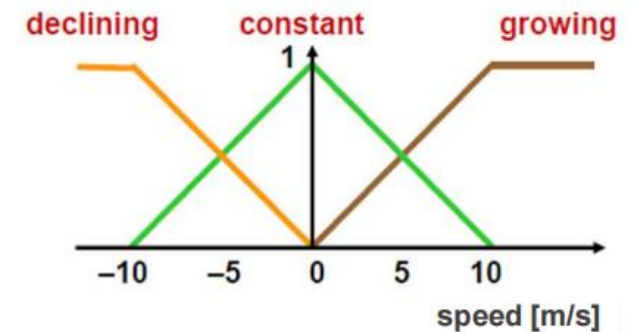
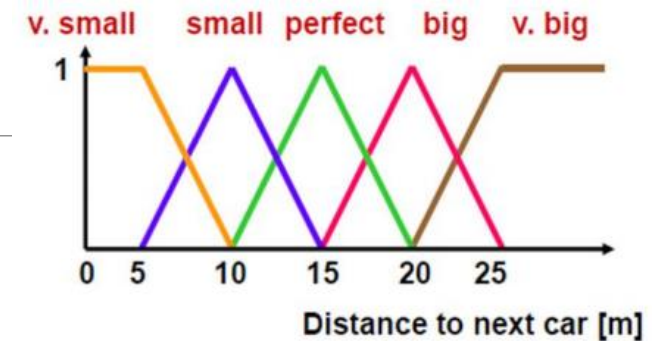
$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{C_i}(x_i) \cdot (x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_{C_i}(x_i)}$$



Bài tập ví dụ

Xác định gia tốc của xe biết khoảng cách là 13 m, vận tốc là -2.5 m/s

Knowledge Rule base		Distance to next car [m]				
		v.small	small	perfect	big	v.big
Speed Change [m ²]	declining	-ve small	zero	+ve small	+ve big	+ve big
	constant	-ve big	-ve small	zero	+ve small	+ve big
	growing	-ve big	-ve big	-ve small	zero	+ve small



Bài tập

Luật 1: IF khoảng cách nhỏ AND vận tốc đang giảm dần THEN gia tốc bằng 0

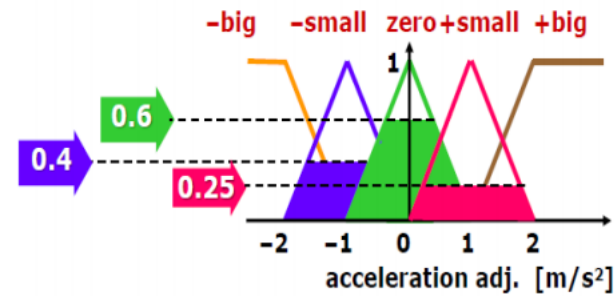
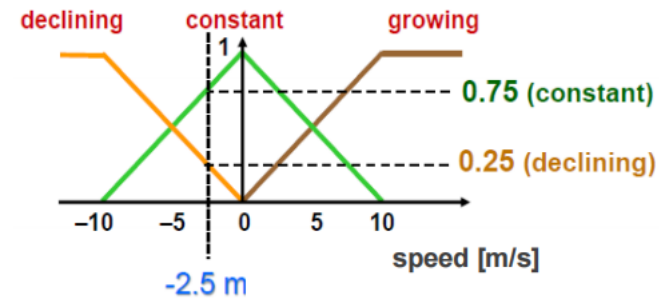
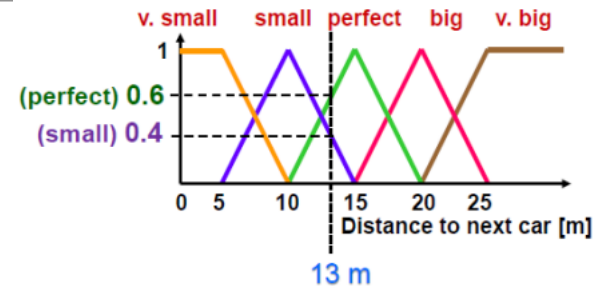
Luật 2: IF khoảng cách nhỏ AND vận tốc không đổi THEN gia tốc giảm nhẹ

Luật 3: IF khoảng cách hoàn hảo AND vận tốc giảm dần THEN gia tốc tăng nhẹ

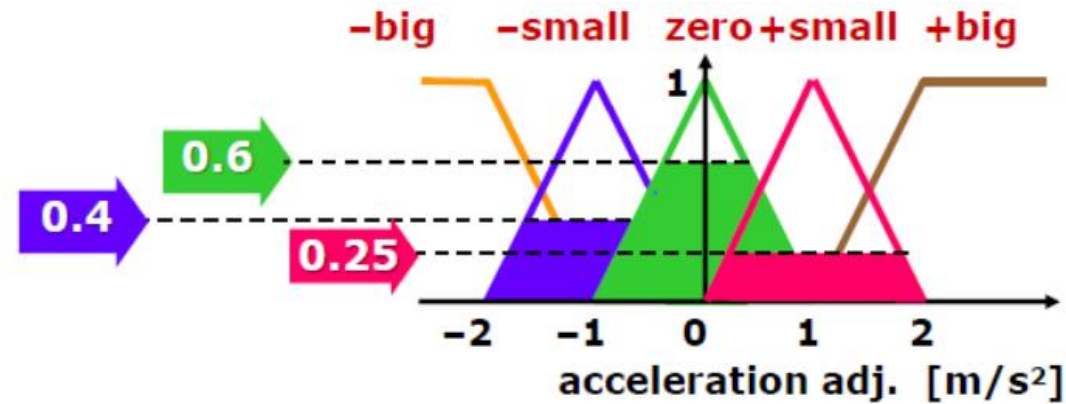
Luật 4: IF khoảng cách hoàn hảo AND vận tốc không đổi THEN gia tốc bằng 0

Knowledge Rule base		Distance to next car [m]				
		v.small	small	perfect	big	v.big
Speed Change [m^2]	declining	-ve small	zero	+ve small	+ve big	+ve big
	constant	-ve big	-ve small	zero	+ve small	+ve big
	growing	-ve big	-ve big	-ve small	zero	+ve small

Bài tập



Bài tập



$$\begin{aligned} \text{acceleration adj.} &= \frac{\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} \\ &= \frac{0.4 * -1 + 0.6 * 0 + 0.25 * 1}{0.4 + 0.6 + 0.25} = -0.12 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Lý do sử dụng logic mờ

Dễ hiểu về mặt khái niệm

Khả năng linh hoạt cao

Phù hợp với các loại dữ liệu có dung sai lớn

Logic mờ có khả năng mô hình hóa các hàm phi tuyến với nhiều độ phức tạp khác nhau

Có thể xây dựng từ kinh nghiệm chuyên gia

Được xây dựng dựa trên xử lý ngôn ngữ tự nhiên

Có thể kết hợp nhiều kỹ thuật điều khiển thông thường