

Trí Tuệ Nhân Tạo

Nguyễn Nhật Quang

quangnn-fit@mail.hut.edu.vn

Viện Công nghệ Thông tin và Truyền thông

Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Năm học 2009-2010

Nội dung môn học:

- Giới thiệu về Trí tuệ nhân tạo
- Tác tử
- Giải quyết vấn đề: Tìm kiếm, Thỏa mãn ràng buộc
- Logic và suy diễn
- Biểu diễn tri thức
- **Suy diễn với tri thức không chắc chắn**
 - Lý thuyết xác suất
 - Logic mờ
- Học máy
- Lập kế hoạch

Sự không chắc chắn (1)

- Giả sử hành động $A_t = \text{Rời}$ (khởi hành) từ nhà để đi đến sân bay trước t phút so với giờ khởi hành của chuyến bay
- Hành động A_t cho phép tôi đến sân bay đúng giờ hay không?
- Các vấn đề có thể xảy ra:
 - khả năng quan sát không đầy đủ (ví dụ: về tình hình giao thông trên đường, ...)
 - lỗi và nhiễu của các bộ cảm biến (giúp cập nhật thông tin về tình hình giao thông)
 - sự không chắc chắn trong các kết quả của các hành động (ví dụ: lớp bị hết hơi, ...)
 - sự phức tạp của việc mô hình hóa và dự đoán tình hình giao thông
- Hành động A_{25} (xuất phát trước 25 phút) sẽ cho phép tôi đến sân bay kịp giờ chuyến bay, nếu:
 - không có tai nạn trên cầu (mà tôi sẽ đi qua), và
 - trời không mưa, và
 - lớp xe tôi vẫn căng, và
 - ...

Sự không chắc chắn (2)

- Các phương pháp xử lý thông tin không chắc chắn (uncertainty)
 - Lý thuyết xác suất (probability theory)
 - Logic mờ (fuzzy logic)

Các khái niệm cơ bản về xác suất

- Giả sử chúng ta có một thí nghiệm (ví dụ: đổ một quân xúc sắc) mà kết quả của nó mang tính ngẫu nhiên (phụ thuộc vào khả năng có thể xảy ra)
- *Không gian các khả năng* S . Tập hợp tất cả các kết quả có thể xảy ra
Ví dụ: $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ đối với thí nghiệm đổ quân xúc sắc
- *Sự kiện* E . Một tập con của không gian các khả năng
Ví dụ: $E = \{1\}$: kết quả quân súc sắc đổ ra là 1
Ví dụ: $E = \{1, 3, 5\}$: kết quả quân súc sắc đổ ra là một số lẻ
- *Không gian các sự kiện* \mathcal{W} . Không gian (thế giới) mà các kết quả của sự kiện có thể xảy ra
Ví dụ: \mathcal{W} bao gồm tất cả các lần đổ súc sắc
- *Biến ngẫu nhiên* A . Một biến ngẫu nhiên biểu diễn (diễn đạt) một sự kiện, và có một mức độ về khả năng xảy ra sự kiện này

Biểu diễn xác suất

$P(A)$: “Phần của không gian (thế giới) mà trong đó A là đúng”

Không gian sự kiện
của (không gian của
tất cả các giá trị có
thể xảy ra của A)



[<http://www.cs.cmu.edu/~awm/tutorials>]

Các biến ngẫu nhiên Bool

- Một biến ngẫu nhiên Bool có thể nhận một trong 2 giá trị đúng (`true`) hoặc sai (`false`)
- Các tiên đề
 - $0 \leq P(A) \leq 1$
 - $P(\text{true}) = 1$
 - $P(\text{false}) = 0$
 - $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A \wedge B)$
- Các hệ quả
 - $P(\text{not } A) \equiv P(\sim A) = 1 - P(A)$
 - $P(A) = P(A \wedge B) + P(A \wedge \sim B)$

Các biến ngẫu nhiên nhiều giá trị

Một biến ngẫu nhiên nhiều giá trị có thể nhận một trong số k (>2) giá trị $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$

$$P(A = v_i \wedge A = v_j) = 0 \text{ if } i \neq j$$

$$P(A=v_1 \vee A=v_2 \vee \dots \vee A=v_k) = 1$$

$$P(A = v_1 \vee A = v_2 \vee \dots \vee A = v_i) = \sum_{j=1}^i P(A = v_j)$$

$$\sum_{j=1}^k P(A = v_j) = 1$$

$$P(B \wedge [A = v_1 \vee A = v_2 \vee \dots \vee A = v_i]) = \sum_{j=1}^i P(B \wedge A = v_j)$$

[<http://www.cs.cmu.edu/~awm/tutorials>]

Xác suất có điều kiện (1)

- $P(A|B)$ là phần của không gian (thế giới) mà trong đó A là đúng, với điều kiện (đã biết) là B đúng
- Ví dụ
 - A: Tôi sẽ đi đá bóng vào ngày mai
 - B: Trời sẽ không mưa vào ngày mai
 - $P(A|B)$: Xác suất của việc tôi sẽ đi đá bóng vào ngày mai nếu (đã biết rằng) trời sẽ không mưa (vào ngày mai)

Xác suất có điều kiện (2)

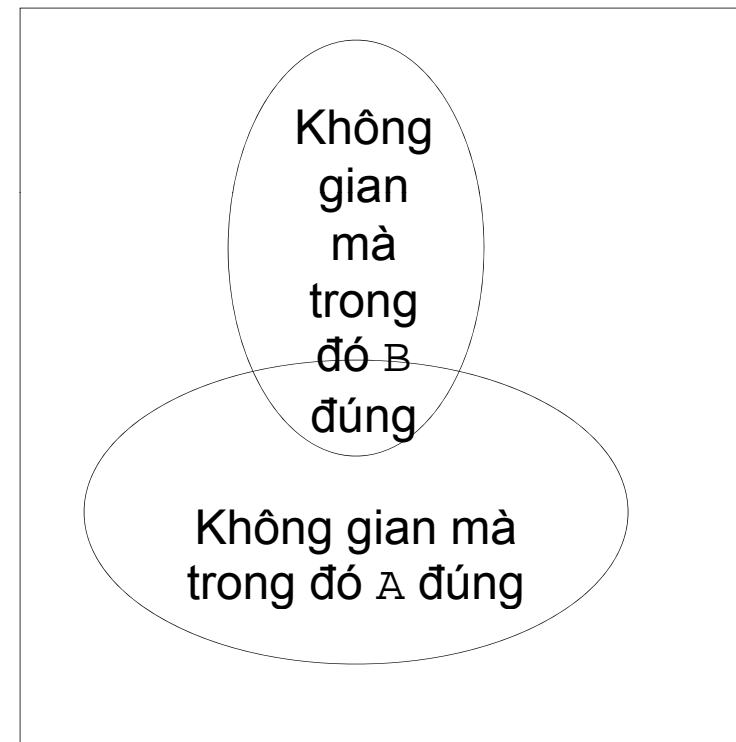
Định nghĩa: $P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$

Các hệ quả:

$$P(A, B) = P(A|B) \cdot P(B)$$

$$P(A|B) + P(\sim A|B) = 1$$

$$\sum_{i=1}^k P(A = v_i | B) = 1$$



Các biến độc lập về xác suất (1)

- Hai sự kiện A và B được gọi là **độc lập về xác suất** nếu xác suất của sự kiện A là như nhau đối với các trường hợp:
 - Khi sự kiện B xảy ra, hoặc
 - Khi sự kiện B không xảy ra, hoặc
 - Không có thông tin (không biết gì) về việc xảy ra của sự kiện B
- Ví dụ
 - A: Tôi sẽ đi đá bóng vào ngày mai
 - B: Tuấn sẽ tham gia trận đá bóng ngày mai
 - $P(A|B) = P(A)$
 - “Dù Tuấn có tham gia trận đá bóng ngày mai hay không cũng không ảnh hưởng tới quyết định của tôi về việc đi đá bóng ngày mai.”

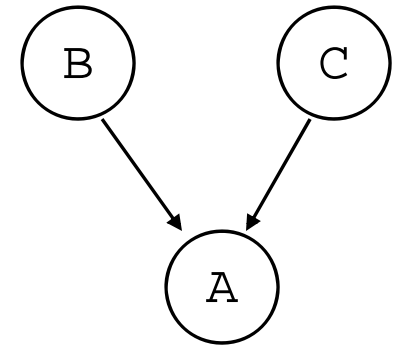
Các biến độc lập về xác suất (2)

Từ định nghĩa của các biến độc lập về xác suất $P(A|B) = P(A)$, chúng ta thu được các luật như sau

- $P(\sim A|B) = P(\sim A)$
- $P(B|A) = P(B)$
- $P(A, B) = P(A) \cdot P(B)$
- $P(\sim A, B) = P(\sim A) \cdot P(B)$
- $P(A, \sim B) = P(A) \cdot P(\sim B)$
- $P(\sim A, \sim B) = P(\sim A) \cdot P(\sim B)$

Xác suất có điều kiện với >2 biến

- $P(A|B, C)$ là xác suất của A đối với (đã biết) B và C
- Ví dụ
 - A: Tôi sẽ đi dạo bờ sông vào sáng mai
 - B: Thời tiết sáng mai rất đẹp
 - C: Tôi sẽ dậy sớm vào sáng mai
 - $P(A|B, C)$: Xác suất của việc tôi sẽ đi dạo dọc bờ sông vào sáng mai, nếu (đã biết rằng) thời tiết sáng mai rất đẹp và tôi sẽ dậy sớm vào sáng mai



$P(A|B, C)$

Độc lập có điều kiện

- Hai biến A và C được gọi là **độc lập có điều kiện** đối với biến B , nếu xác suất của A đối với B bằng xác suất của A đối với B và C
- Công thức định nghĩa: $P(A|B, C) = P(A|B)$
- Ví dụ
 - A : Tôi sẽ đi đá bóng vào ngày mai
 - B : Trận đá bóng ngày mai sẽ diễn ra trong nhà
 - C : Ngày mai trời sẽ không mưa
 - $P(A|B, C) = P(A|B)$
 - Nếu biết rằng trận đấu ngày mai sẽ diễn ra trong nhà, thì xác suất của việc tôi sẽ đi đá bóng ngày mai không phụ thuộc vào thời tiết

Các quy tắc quan trọng của xác suất

■ Quy tắc chuỗi (chain rule)

- $P(A, B) = P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A)$
- $P(A|B) = P(A, B) / P(B) = P(B|A) \cdot P(A) / P(B)$
- $P(A, B|C) = P(A, B, C) / P(C) = P(A|B, C) \cdot P(B, C) / P(C)$
 $= P(A|B, C) \cdot P(B|C)$

■ Độc lập về xác suất và độc lập có điều kiện

- $P(A|B) = P(A)$; nếu A và B là độc lập về xác suất
- $P(A, B|C) = P(A|C) \cdot P(B|C)$; nếu A và B là độc lập có điều kiện đối với C
- $P(A_1, \dots, A_n|C) = P(A_1|C) \dots P(A_n|C)$; nếu A_1, \dots, A_n là độc lập có điều kiện đối với C

Quy tắc Bayes

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

- $P(A)$: Xác suất của sự kiện A xảy ra
 - $P(B)$: Xác suất của sự kiện B xảy ra
 - $P(B | A)$: Xác suất (có điều kiện) của sự kiện B xảy ra, nếu biết rằng sự kiện A đã xảy ra
 - $P(A | B)$: Xác suất (có điều kiện) của sự kiện A xảy ra, nếu biết rằng sự kiện B đã xảy ra
- **Các phương pháp suy diễn dựa trên xác suất sẽ sử dụng xác suất có điều kiện (*posterior probability*) này!**

Quy tắc Bayes – Ví dụ (1)

Giả sử chúng ta có tập dữ liệu sau (dự đoán 1 người có chơi tennis)?

Ngày	Ngoài trời	Nhiệt độ	Độ ẩm	Gió	Chơi tennis
N1	Nắng	Nóng	Cao	Yếu	Không
N2	Nắng	Nóng	Cao	Mạnh	Không
N3	Âm u	Nóng	Cao	Yếu	Có
N4	Mưa	Bình thường	Cao	Yếu	Có
N5	Mưa	Mát mẻ	Bình thường	Yếu	Có
N6	Mưa	Mát mẻ	Bình thường	Mạnh	Không
N7	Âm u	Mát mẻ	Bình thường	Mạnh	Có
N8	Nắng	Bình thường	Cao	Yếu	Không
N9	Nắng	Mát mẻ	Bình thường	Yếu	Có
N10	Mưa	Bình thường	Bình thường	Yếu	Có
N11	Nắng	Bình thường	Bình thường	Mạnh	Có
N12	Âm u	Bình thường	Cao	Mạnh	Có

Lý thuyết Bayes – Ví dụ (2)

- Sự kiện A: Anh ta chơi tennis
- Sự kiện B: *Ngoài trời là nắng và Gió là mạnh*
- Xác suất $P(A)$: Xác suất rằng anh ta chơi tennis (bất kể *Ngoài trời như thế nào và Gió ra sao*)
- Xác suất $P(B)$: Xác suất rằng *Ngoài trời là nắng và Gió là mạnh*
- $P(B|A)$: Xác suất rằng *Ngoài trời là nắng và Gió là mạnh*, nếu biết rằng anh ta chơi tennis
- $P(A|B)$: Xác suất rằng anh ta chơi tennis, nếu biết rằng *Ngoài trời là nắng và Gió là mạnh*
 - *Giá trị xác suất có điều kiện này sẽ được dùng để dự đoán xem anh ta có chơi tennis hay không?*

Logic mờ

- Logic mờ dựa trên ý tưởng rằng nhiều thông tin có thể được đánh giá, nhưng ở mức độ không rõ ràng
 - Nhiệt độ trong phòng hơi nóng
 - Cậu bé khá cao so với tuổi
 - Tốc độ của xe máy rất nhanh
 - Khoảng cách từ đây đến đây là xa
 - Cô gái kia trông đẹp
 - ...
- Làm sao để biểu diễn các tri thức sử dụng *các khái niệm không rõ ràng (mờ) hoặc không chính xác?*
- Logic mờ (fuzzy logic) cho phép biểu diễn (diễn đạt) các thông tin không rõ ràng

Tập mờ (1)

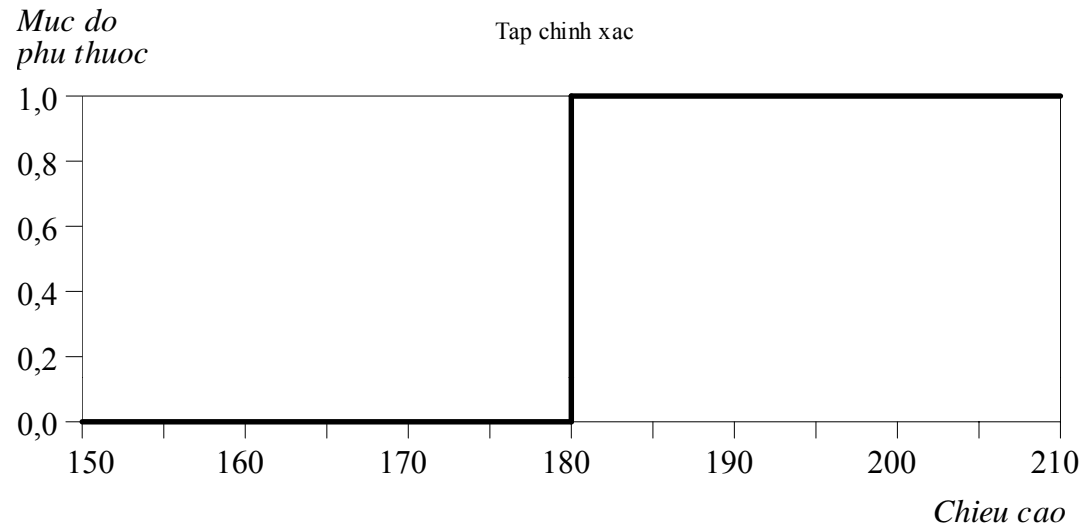
- Khái niệm tập hợp là một khái niệm cơ bản của toán học
 - Mỗi phần tử chỉ có thể *thuộc hoặc không thuộc* vào tập hợp
- Logic mờ (fuzzy logic) dựa trên ý tưởng mỗi phần tử *thuộc* vào một tập hợp ở *một mức độ (degree) nào đó*
 - Ví dụ về tập mờ: Tập “*Những người đàn ông cao*”. Các thành phần của tập mờ “*Những người đàn ông cao*” là tất cả đàn ông, nhưng **mức độ phụ thuộc** (degree of membership) của các thành phần vào tập hợp thì tùy vào chiều cao của họ
- Logic mờ sử dụng các quy tắc (công thức) toán học cho phép biểu diễn tri thức dựa trên mức độ phụ thuộc
 - Hoàn toàn thuộc vào (hoàn toàn đúng) – 1 (True)
 - Hoàn toàn không thuộc vào (hoàn toàn sai) – 0 (False)
 - Thuộc vào ở một mức độ (đúng ở một mức độ) – $x \in (0,1)$

Các tập mờ (2)

Tên	Chiều cao (cm)	Mức độ phụ thuộc	
		Chính xác	Mờ
Tuấn	208	1	1,00
Linh	205	1	1,00
Tùng	198	1	0,98
Hải	181	1	0,82
Hòa	179	0	0,78
Trung	172	0	0,24
Quang	167	0	0,15
Thái	158	0	0,06
Sơn	155	0	0,01
Vũ	152	0	0,00

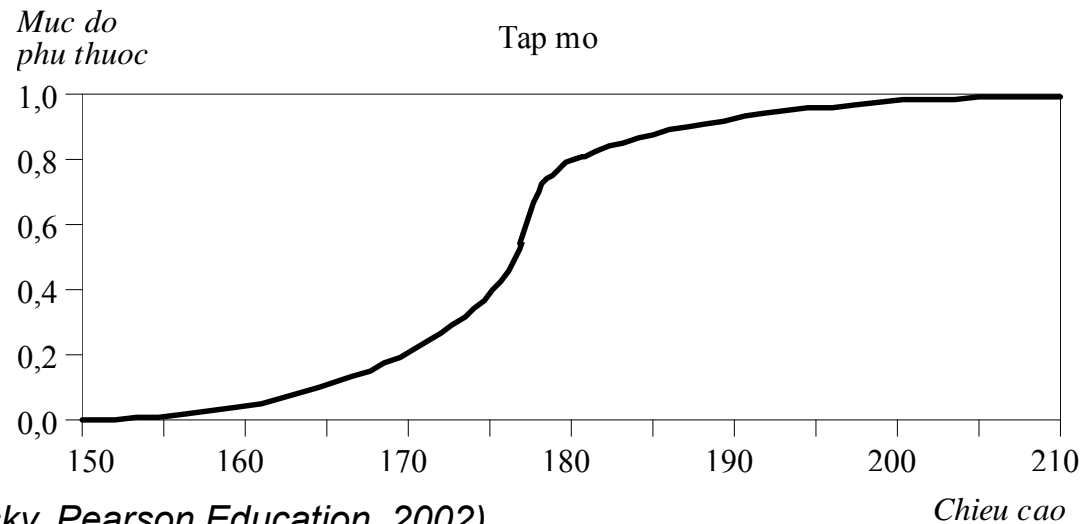
Tập chính xác và Tập mờ

- Chiều tọa độ ngang (X) biểu diễn các giá trị (có thể) của chiều cao của một người đàn ông



- Chiều tọa độ dọc (Y) biểu diễn mức độ phụ thuộc của tập mờ

- Ví dụ: Tập mờ “Những người đàn ông cao”



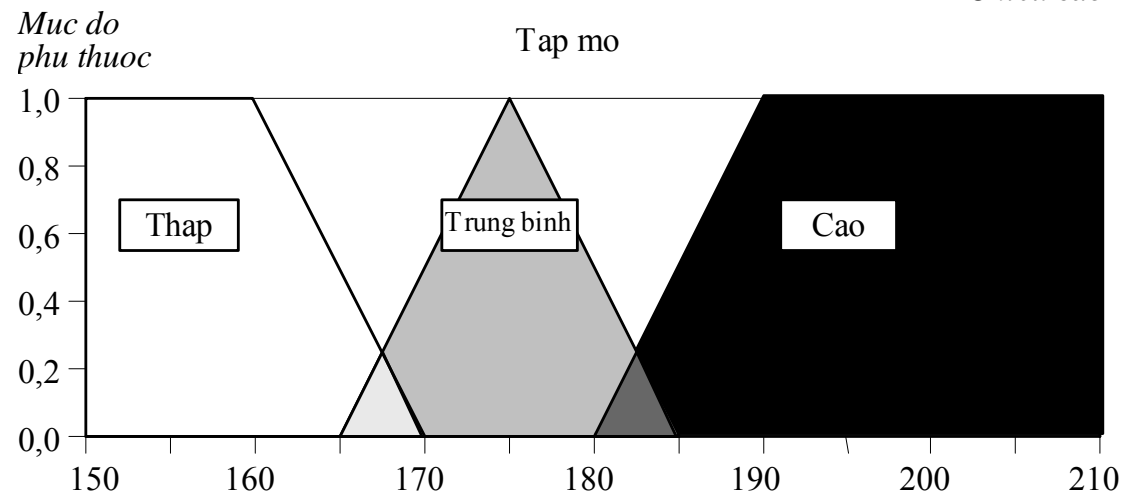
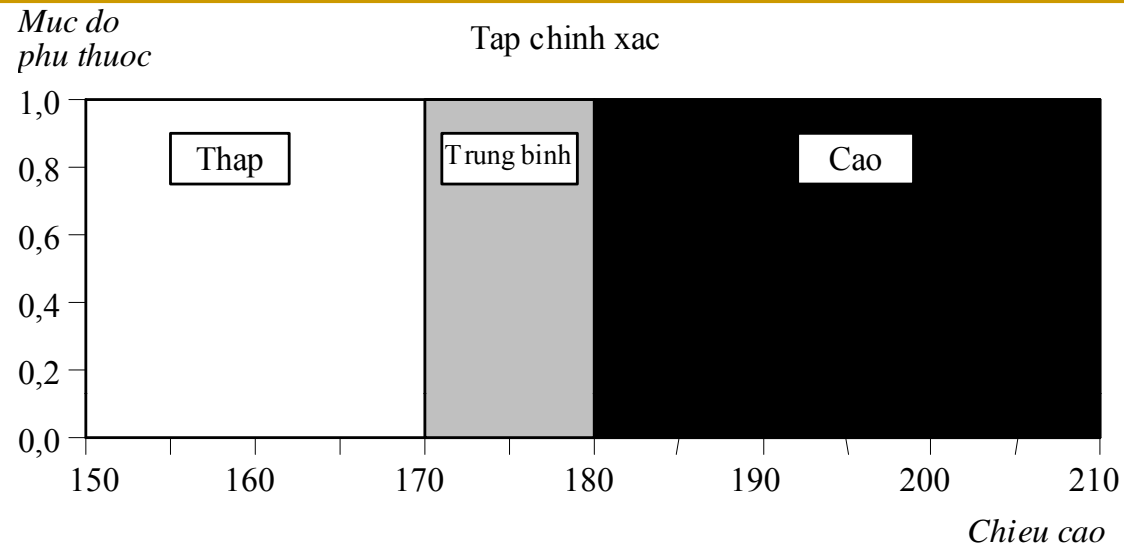
(Negnevitsky, Pearson Education, 2002)

Các giới hạn mờ

- Trong lý thuyết mờ, một tập mờ A của miền giá trị X được định nghĩa (được xác định) bởi hàm $\mu_A(x)$
 - $\mu_A(x)$ được gọi là **hàm phụ thuộc (membership function)** của tập mờ A
 - $A = \{\mu_A(x_1)/x_1, \mu_A(x_2)/x_2, \dots, \mu_A(x_n)/x_n\}$
- $\mu_A(x) : X \rightarrow \{0, 1\}$, với:
- | | |
|---------------------|------------------------------------------|
| $\mu_A(x) = 1,$ | nếu x <i>hoàn toàn thuộc</i> trong A |
| $\mu_A(x) = 0,$ | nếu x <i>không thuộc</i> trong A |
| $0 < \mu_A(x) < 1,$ | nếu x <i>thuộc một phần</i> trong A |
- Đối với mỗi phần tử (giá trị) x của miền giá trị X , hàm phụ thuộc $\mu_A(x)$ chỉ ra mức độ tương ứng mà x là một thành phần của A
 - Mức độ này (là một giá trị trong khoảng từ 0 đến 1) biểu diễn **mức độ phụ thuộc** của phần tử x trong tập A

Biểu diễn tập chính xác và tập mờ

Những
người
đàn
ông
thấp,
trung
bình,
cao



(Negnevitsky, Pearson Education, 2002)

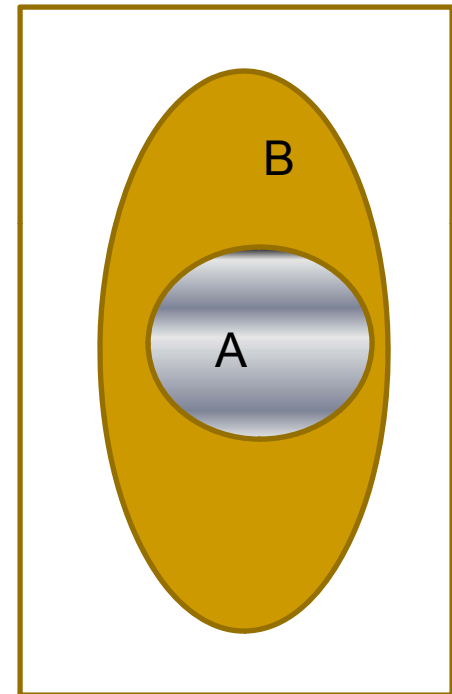
Phần bù (Complement)

- Tập chính xác (crisp set): Phần tử nào không thuộc vào tập hợp?
- Tập mờ (fuzzy set): Mức độ một phần tử không thuộc vào tập hợp?
- Nếu A là một tập mờ, thì phần bù của A (ký hiệu là $\neg A$) được định nghĩa như sau:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x); \quad \text{với mọi phần tử } x$$

Tập bao hàm (Container)

- Tập chính xác: Những tập nào là tập con (subset) của các tập khác
- Trong lý thuyết tập mờ, nếu tập A là một tập con của B, thì:
 - $\mu_A(x) \leq \mu_B(x), \forall x$
 - Mỗi thành phần sẽ có mức độ phụ thuộc (membership value) vào tập A nhỏ hơn hoặc bằng mức độ phụ thuộc vào tập B
 - Ví dụ: A là tập “Những người đàn ông rất cao”, B là tập “Những người đàn ông cao”



Giao (Intersection)

- Tập chính xác: Những phần tử nào thuộc vào cả 2 tập?
- Tập mờ: Mức độ mỗi phần tử thuộc vào cả 2 tập?
- Phần giao mờ (fuzzy intersection) được xác định bởi **giá trị phụ thuộc thấp nhất** đối với 2 tập mờ
- Giao của 2 tập mờ cũng là một tập mờ, được định nghĩa như sau:

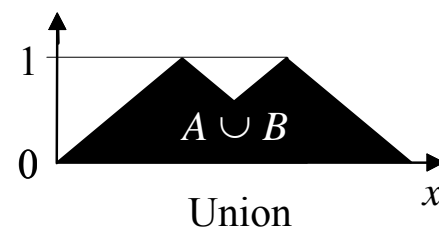
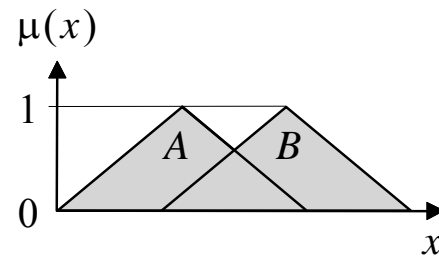
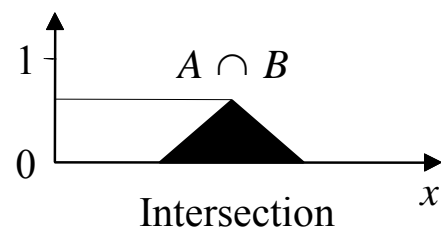
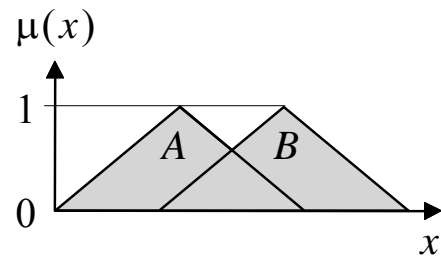
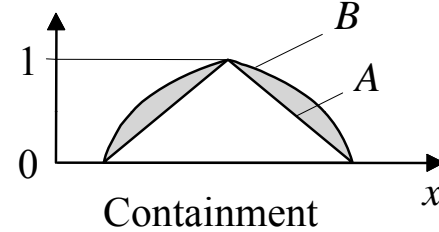
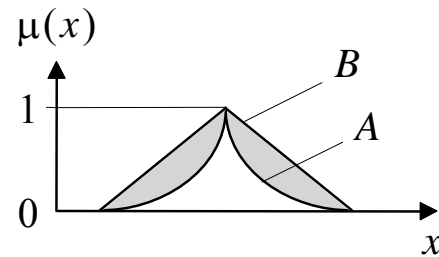
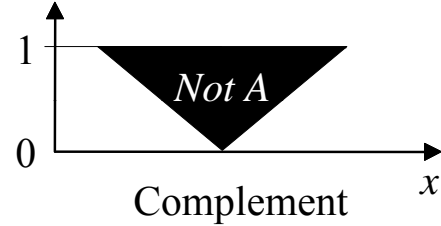
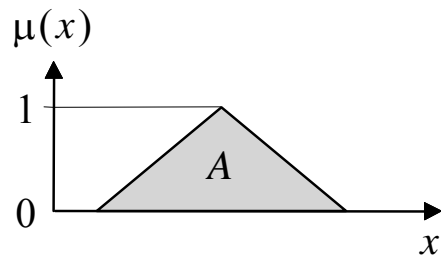
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad \forall x$$

Hợp (Union)

- Tập chính xác: Những phần tử nào thuộc vào một trong hai tập?
- Tập mờ: Mức độ mỗi phần tử thuộc vào một trong hai tập?
- Phần hợp mờ (fuzzy union) được xác định bởi **giá trị phụ thuộc cao nhất** đối với 2 tập mờ
- Hợp của 2 tập mờ cũng là một tập mờ, được định nghĩa như sau:

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

Các thao tác trên tập mờ



(Bogdan L. Vrusias, CS 289, 2006)

Các thuộc tính của tập mờ

- Sự tương đương của 2 tập mờ
- Sự bao hàm giữa 2 tập mờ
- Kích thước của một tập mờ
- Một tập mờ rỗng
- α -cut (alpha-cut)

Sự tương đương của 2 tập mờ

- Một tập mờ A được gọi là tương đương (equal) với tập mờ B , nếu và chỉ nếu:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x), \quad \forall x$$

- Ví dụ
 - $A = \{0,3/x, 0,5/y, 1/z\}$
 - $B = \{0,3/x, 0,5/y, 1/z\}$
 - A và B là 2 tập mờ tương đương

Sự bao hàm giữa 2 tập hợp

- Một tập mờ A được gọi là bao hàm (includes) một tập mờ B, nếu và chỉ nếu:

$$\mu_A(x) \geq \mu_B(x), \quad \forall x$$

- Ví dụ
 - $A = \{0,37/x, 0,72/y, 1/z\}$
 - $B = \{0,3/x, 0,5/y, 1/z\}$
 - A bao hàm B

Kích thước của một tập mờ

- Kích thước (cardinality) của một tập chính xác là số phần tử của tập
- Kích thước của một tập mờ là tổng các giá trị mức độ phụ thuộc của các thành phần

$$\text{card}_A = \mu_A(x_1) + \mu_A(x_2) + \dots + \mu_A(x_n) = \sum_{i=1..n} \mu_A(x_i)$$

- Ví dụ
 - $A = \{0,3/x, 0,5/y, 1/z\}$
 - $\text{card}A = 0,3 + 0,5 + 1 = 1,8$

Tập mờ rỗng

- Một tập mờ A được gọi là rỗng (empty), nếu:

$$\mu_A(x) = 0, \quad \forall x$$

- Ví dụ:

- $A = \{0/x, 0/y, 0/z\}$
- A là một tập mờ rỗng

Alpha-cut

- Một α -cắt (một tập mức α) của một tập mờ A là một tập chính xác (crisp set) A_α sao cho:

$$A_\alpha = \{x \in X: \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

- Ví dụ:
 - $A = \{0,3/x, 0.5/y, 1/z\}$
 - $A_{0,5} = \{y, z\}$
 - $A_{0,2} = \{x, y, z\}$
 - $A_1 = \{z\}$

Các khái niệm với tập mờ

- Một tập mờ A được gọi là **tập mờ chuẩn (normal)**, nếu tồn tại ít nhất một phần tử x sao cho $\mu_A(x) = 1$

- **Độ cao (height)** của một tập mờ A là giá trị phụ thuộc lớn nhất của các thành phần

$$\text{height}_A = \max_x \{\mu_A(x)\}$$

- Tập **hỗ trợ (support)** của A là một tập chính xác, chứa các phần tử có mức độ phụ thuộc (vào A) > 0

$$\text{support}(A) = \{x \in X: \mu_A(x) > 0\}$$

- Tập **cơ sở (core)** của A là một tập chính xác, chứa các phần tử có mức độ phụ thuộc (vào A) $= 1$

$$\text{core}(A) = \{x \in X: \mu_A(x) = 1\}$$

Các phép toán trên tập mờ

■ Nhân với một giá trị số học

- $aA = \{a\mu_A(x), \forall x \in X\}$

- Ví dụ

- $A = \{0,5/x, 0,3/y, 0,2/z, 1/w\}$

- $a = 0,5$

- $aA = \{0,25/x, 0,15/y, 0,1/z, 0,5/w\}$

■ Phép tính mũ (lũy thừa)

- $A^a = \{\mu_A(x)^a, \forall x \in X\}$

- Ví dụ

- $A = \{0,5/x, 0,3/y, 0,2/z, 1/w\}$

- $a = 2$

- $A^a = \{0,25/x, 0,09/y, 0,04/z, 1/w\}$