

## Một số vấn đề cơ bản trong việc thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở hệ luật

Lê Bá Dũng & Phạm Thượng Cát

Viện Tin Học

Viện Khoa Học Việt Nam

### I. Đặt vấn đề:

Trong những năm gần đây cùng với sự phát triển của máy tính và trí tuệ nhân tạo, một phương pháp mới của ngành điều khiển học đã mở ra. Đó là điều khiển dựa trên những tri thức của các chuyên gia [1,2,3,4,5]. Phương pháp điều khiển này là sự kết hợp hài hòa giữa khoa học về máy tính, trí tuệ nhân tạo và lý thuyết điều khiển. Phương pháp đó ra đời đã giúp cho các nhà điều khiển học giải quyết được những vấn đề mà các phương pháp điều khiển trước còn đang trên con đường tìm kiếm, hay còn đang bỏ ngỏ. Đó là các hệ điều khiển có cấu trúc phức tạp về mặt cơ khí, các hệ khó có thể mô tả bởi một mô hình toán học thật chính xác, các hệ có độ phi tuyến cao. Hơn thế nữa sự ra đời của hệ chuyên gia có thể giúp cho các nhà điều khiển kết hợp trong quá trình điều khiển các thuật toán nhận dạng, thuật toán điều khiển này với thuật toán điều khiển khác, các quá trình kiểm tra, hiển thị... , một cách mềm dẻo. Trong bài viết này một số vấn đề cơ bản của việc thiết kế hệ thống điều khiển trên cơ sở hệ luật (HL) sẽ được đề cập đến.

### II. Phương pháp tiếp cận

#### 1. Cấu trúc.

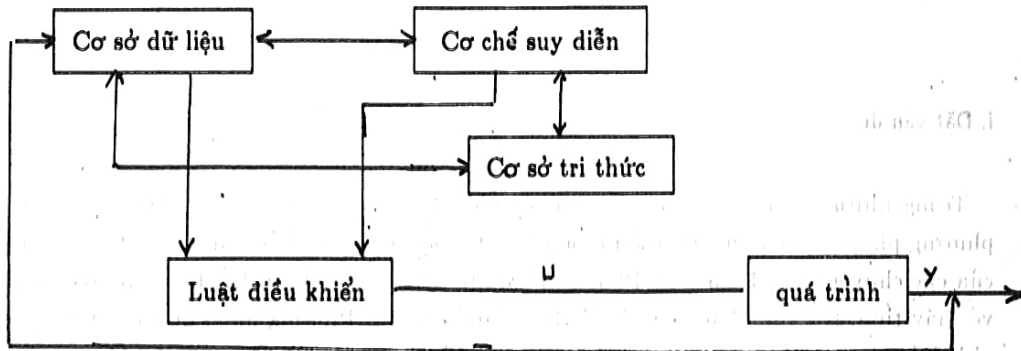
Các đối tượng công nghiệp, các quá trình công nghệ ví dụ các quá trình nhiệt, quá trình hoá chất, robot... là những đối tượng quen biết của điều khiển học. Các phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển tự động thường xuất phát từ việc xây dựng một mô hình toán học và từ đó thiết kế những bộ điều khiển thích hợp...

Phương pháp thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở HL, mà HL này được xây dựng từ những tri thức và những kinh nghiệm hoạt động lâu năm của nhiều người và nhiều nhà chuyên môn trong lĩnh vực tự động. Nhìn chung các phương pháp thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở HL thường xuất phát từ hai cách cơ bản.

- a. Thiết kế trực tiếp.
- b. Thiết kế gián tiếp.

### 1.1. Thiết kế trực tiếp:

Phương pháp thay đổi trực tiếp các tham số của bộ điều khiển hoặc trực tiếp tác động vào đối tượng điều khiển trên cơ sở hệ chuyên gia được xây dựng theo đáp ứng ra của hệ hở cũng như hệ kín [3, 5, 11]. Hình 1 là sơ đồ biểu diễn phương pháp điều khiển trực tiếp



Hình 1. Sơ đồ điều khiển trực tiếp

Theo sơ đồ thiết kế, hệ thống điều khiển gồm các phần sau:

- Cơ sở dữ liệu chứa đựng các thông tin hiện tại về quá trình điều khiển như tín hiệu vào, ra, các nhiễu tác động vào hệ thống...
- Cơ chế suy diễn: Thông thường trong thiết kế bộ điều khiển suy diễn được thực hiện theo 3 cách
  - \* Lập luận để tiến dần đến kết quả (Forward)
  - \* Cho trước một kết luận, lập luận để đạt được nó (Backward)
  - \* Kết hợp cả hai cách

- Cơ sở tri thức chứa những tri thức của các chuyên gia, những kỹ năng, kỹ xảo của các chuyên gia mà (những tri thức, kỹ năng, kỹ xảo ấy) ta có thể tự động hóa được việc khai thác chúng. Thông thường những tri thức, kỹ năng, kỹ xảo ấy biểu diễn dưới dạng luật.

Nếu < tình thế hay sự kiện > thì < tác động >.

< tình thế hay sự kiện > bao gồm các tình huống của hệ thống hoặc mục tiêu của điều khiển, còn < tác động > ở đây có thể hiểu như một thuật điều khiển mới hoặc việc tự động thay đổi thông số của bộ điều khiển...

Trong thiết kế bộ điều khiển mờ (Fuzzy Controller) giả thiết các  $x_1, x_2, \dots, x_n, x \in X$  biểu diễn các giá trị đo được của tín hiệu vào, gọi tín hiệu ra là  $u_i \in U$ . Theo [11] ta có các quan hệ mờ giữa  $U$  và  $X$ :

$$U = F(X). \tag{1}$$

Vậy nếu biểu diễn các giá trị đo được ở đầu vào tại một thời điểm quan sát, lấy ví dụ  $e$  là sai lệch điều khiển,  $s$  là tổng các sai lệch từ các thời điểm trước đến thời điểm quan sát,  $\dot{e}$  là tốc độ thay đổi của sai lệch trong hai thời điểm liên tiếp nhau thì các tín hiệu ra  $u_1 = F(e)$ ,  $u_2 = F(s)$ ,  $u_3 = F(e, \dot{e})$ ,  $u_4 = F(e, s)$  là những tác động tương ứng của các bộ điều khiển P, I, PD, PI. Ở thời điểm quan sát  $t$  theo [3, 8, 11] ta có:

$$e(t) = r(t) - y(t). \tag{2}$$

$r(t)$  là tín hiệu chỉ đạo (setpoint)

$y(t)$  là tín hiệu ra

$e(t)$  là sai lệch điều khiển

$$c(t) = \dot{e} = [e(t) - e(t-1)]/T. \tag{3}$$

$T$  là chu kỳ cắt mẫu

Trên cơ sở tập mờ, giả sử  $e$  là giá trị đo được ở một thời điểm, giá trị  $e$  được mờ hóa bởi tập mờ  $E$  với hàm thuộc (membership function),  $\mu_E(e)$  (xem phụ lục). Ở thời điểm quan sát  $t$  ta có giá trị  $e(t)$  và  $c(t)$  với các tập mờ tương ứng của nó là  $E_t$  và  $C_t$ . Biểu diễn  $E$  và  $C$  là tập của các biến ngôn ngữ  $\{PL, PM, PS, PZ, NZ, SN, NM, NL\}$

PL là Positive large

PM là Positive medium

PS là Positive small

PZ là  $0^+$

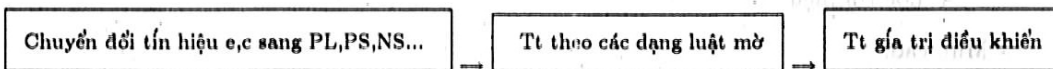
NZ là  $0^-$

NS là Negative small

NM là Negative medium

NL là Negative large

Ta cũng biểu diễn  $c(t)$  như  $e(t)$ , do đó sơ đồ của bộ điều khiển mờ có dạng như sau:



Hình 2. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ

Lấy ví dụ giả sử  $y$  là biến nhiệt độ được biểu diễn trong khoảng  $(50^\circ C - 200^\circ C)$ . Trên đầu ra  $y$  ta đo được nhiệt độ khoảng gần  $100^\circ C$ . Hàm  $\mu_{100}$  là hàm thuộc có thể lấy giá trị giữa 0 và 1. Nếu  $\mu_{100}(\tau) = 0$  thì nhiệt độ không thuộc tập mờ đang xét.  $\mu_{100}(\tau)$  lấy giá trị trong khoảng từ 0 tới 1 thì nhiệt độ thuộc tập mờ đang xét.

Ví dụ  $\tau = 100^\circ C$  thì  $\mu_{100}(\tau) = 1$   
 $\tau = 80^\circ C$  thì  $\mu_{100}(\tau) = 0.85$

Khoảng nhiệt độ ( $50^\circ C - 200^\circ C$ ) là vũ trụ của biến mờ  $y$ . Tương tự như vậy, ta biểu diễn cho sự thay đổi của tốc độ sai lệch  $c(t)$  và cho tín hiệu ra  $u(t)$ . Trong thiết kế bộ điều khiển theo HL trên cơ sở phương pháp mờ, các luật ( cơ sở tri thức) được biểu diễn như sau:

if  $E_i$  is PL and  $C_j$  is PL then  $U_{ij}$  is PL

Dạng luật trên biểu diễn một quan hệ mờ giữa tín hiệu vào và ra - Hàm thuộc quan hệ (theo phụ lục có):

$$\mu_{R_{ij}}(u, c, e) = \min(\mu_{E_i}(e), \mu_{C_j}(c), \mu_{U_{ij}}(u)), e \in E_i, c \in C_j, u \in U_{ij}, i = \overline{1, 8}, j = \overline{1, 7}. \quad (4)$$

Khi thiết kế bộ điều chỉnh ta có một hệ luật, do đó có một ma trận các quan hệ mờ và được tính theo công thức:

$$\mu_R(u, c, e) = \max_{ij} \min(\mu_{E_i}(e), \mu_{C_j}(c), \mu_{U_{ij}}(u)). \quad (5)$$

Vậy một < tác động > theo dạng luật if < điều kiện > sẽ được tính theo công thức:

$$\mu_{U_i}(u) = \max_{ce} \min(\mu_{E_i}(e), \mu_{C_i}(c), \mu_R(u, c, e)), e \in E_i, c \in C_i, u \in U_i. \quad (6)$$

Để có một đáp ứng ở đầu ra theo một yêu cầu cho trước ta có thể thay đổi một vài luật ở cơ sở tri thức trong quá trình điều khiển. Hoặc là tính theo phương pháp lập luận xấp xỉ [13] cũng sẽ cho kết quả mong muốn (xem bảng 1.)

## 1.2. Thiết kế gián tiếp

Bộ điều khiển thông minh được thiết kế theo phương pháp điều khiển phân cấp - hai mức hay nhiều mức [6,11,12]. Hệ chuyên gia ở đây được coi như là một nhà đạo diễn trong việc thay đổi, sắp xếp các luật điều khiển, nhận dạng hệ thống, cất giữ một luật điều khiển, cho thực hiện một luật mới, ra lệnh báo động... Hệ điều khiển phân cấp này được phân ra như sau:

- Mức thấp:

Các chức năng chủ yếu

- + Đo các thông số của quá trình điều khiển
- + Tính toán các tín hiệu điều khiển
- + Lọc tín hiệu

- Mức cao:

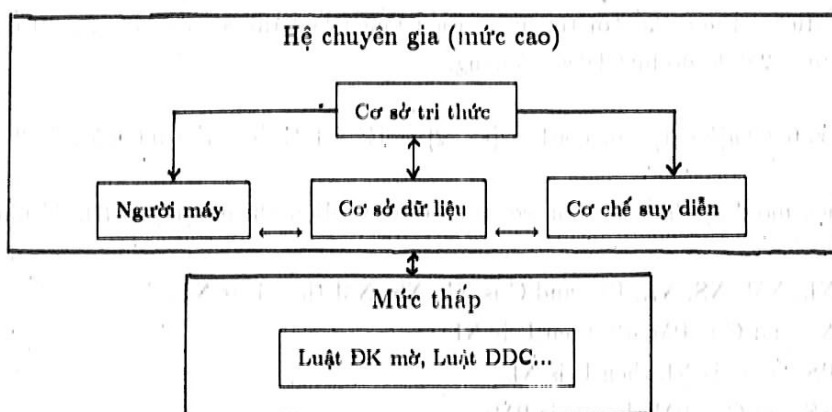
- + Kiểm tra theo dõi
- + Điều hành (thông số ban đầu; chọn luật ước lượng thông số, ước lượng trạng thái; chọn luật điều khiển; kiểm tra ổn định của hệ thống)
- + Kiểm soát các sai sót của hệ thống (Fault diagnosis)
- + Kiểm soát hệ thống (Khởi động, ngắt hệ thống..)

Xem hình 3.

2. Thí dụ mô phỏng. Trên cơ sở những vấn đề chung đã nêu ở trên, chúng tôi xây dựng một thí dụ mô phỏng là thiết kế bộ điều khiển thông minh cho điều khiển động cơ điện một chiều cho một khớp của rô - bốt. Bộ điều khiển này gồm hai mức. Tư tưởng của việc thiết kế bộ điều khiển thông minh này là thực hiện các thuật điều khiển khác nhau trong những vùng làm việc khác nhau của hệ thống điều khiển. Ở mức thấp chứa các thuật điều khiển DDC (Direct Digital Control) và thuật điều khiển mờ. Ở mức cao là hệ chuyên gia có nhiệm vụ:

+ Kiểm tra quá trình làm việc liên tục của hệ thống với việc thay đổi các luật điều khiển. Sự thay đổi các luật điều khiển này bằng luật điều khiển khác phụ thuộc vào trạng thái của đối tượng. Trong ví dụ nêu trên thì thuật điều khiển mờ được gọi khi điểm làm việc của hệ thống đang tiến ra khỏi miền ổn định, hoặc hệ đang bị một tải lớn hay nhiễu tác động, còn luật điều khiển DDC được gọi khi hệ thống đang đi đến ổn định.

+ Kiểm tra quá trình điều khiển (fault diagnosis)



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc phân cấp của bộ điều khiển thông minh.

Hệ chuyên gia bao gồm các phần như đã trình bày ở phần trên

- Cơ sở dữ liệu gồm:

- + Các thông tin về động cơ
  - . Tín hiệu vào, tín hiệu ra
  - . Các thông số về các bộ điều chỉnh
  - . Các thông số về quá khứ, về hiện tại

....

+ Các thông tin về ổn định của hệ thống

- Cơ sở tri thức (các luật chính sau đây:)

- + Nếu không tồn tại luật DDC thì kiểm tra hệ thống hở
- + Nếu DDC tồn tại thì kiểm tra đáp ứng ra
- + Nếu tín hiệu ra không ổn định thì thông báo cho người vận hành biết và nạp thông số ban đầu cho luật điều khiển mờ
- + Nếu xong thì cho thực hiện

.....

- Giao tiếp người máy :

+ Khả năng thay đổi một vài dạng luật ở cơ sở tri thức

...

Động cơ một chiều có hàm truyền đạt

$$F(s) = \frac{Km}{S(Tm + 1)} \quad (7)$$

$$Km = K / J; Tm = J / f$$

J... mô men quán tính

f... hằng số lực ma sát

K... hằng số cửa mô tơ

Luật DDC được thiết kế với tín hiệu điều khiển là hằng số và  $\lim_{\mu \rightarrow \infty} e(uT) = 0$  và  $Km = 2.0$ ,  $Tm = 2.0$  do đó luật DDC có dạng:

$$u[k] = 0.258u[k-1] + 0.0000178u[k-2] + e[k] - 1.47e[k-1] + 0.6065e[k-2]. \quad (8)$$

Luật điều khiển mờ được thiết kế trên cơ sở tri thức về điều khiển động cơ ILL đó như sau:

if E is NL, NM, NS, NE, PE, and C is NL, NS, NM then U is NL;

if E is NL and C is PM, PS then U is NL;

if E is PS and C is NL then U is NL;

if E is NS and C is PM then U is PM;

if E is PL and C is PL then U is PL;

if E is PZ, NZ and C is NS then U is NS;

if E is PZ, NZ and C is PM then U is PM;

if E is PZ, NZ and C is ZZ then U is 2E;

if E is PS and C is PS then U is PM;

if E is PM and C is NS then U is NM;

if E is PM and C is NS then U is PL;

Luật điều khiển mờ trên cho điều khiển động cơ được tính toán theo phương pháp lập luận xấp xỉ [13] ta có kết quả ở bảng 1.

Chương trình mô phỏng các luật điều khiển mờ và DDC viết trên ngôn ngữ C. Hình 4 là kết quả mô phỏng của các luật điều khiển riêng biệt, trên đồ thị đó cho thấy luật DDC ổn định hơn nhưng thời gian đạt ổn định dài hơn luật điều khiển mờ. Độ quá điều khiển của luật điều khiển mờ cao hơn luật điều khiển DDC.

### III. Kết luận.

Trên đây đã đề cập một số vấn đề cơ bản của việc thiết kế bộ điều khiển trên cơ sở HL - điều khiển trực tiếp sử dụng phương pháp mờ, điều khiển gián tiếp qua hệ phân cấp. Việc xây dựng hệ chuyên gia ở đây rất nhỏ so với các hệ chuyên gia khác, chưa có yêu cầu suy diễn, mới dừng ở một yêu cầu đơn giản là mềm hoá quá trình điều khiển bằng một vài thuật toán khác nhau trong một vài điều kiện khác nhau của quá trình điều khiển. Vì khuôn khổ của bài báo này chúng tôi chưa thể trình bày chi tiết hệ chuyên gia.

U . C	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
E	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	0	0	
	-5	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-5	0	0	
	-4	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	0	0	
	-3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	0	0	0	4	4	4	
	-2	-6	-6	-6	-6	-4	-4	-4	0	0	0	1	4	4
	-1	-6	-6	-6	-6	-6	0	1	1	4	4	4	4	
	-0	-6	-6	-6	-6	-6	0	0	0	4	4	4	4	
	0	-6	-6	-6	-6	-6	0	4	4	3	4	4	4	
	1	-6	-6	-6	-6	-4	-2	0	4	4	3	4	4	
	2	-6	-6	-6	-6	-4	-4	0	6	6	6	6	6	
	3	-6	-6	-6	-4	-4	-4	0	6	6	6	6	6	
	4	-6	-6	-4	-3	-4	-4	0	6	6	6	6	6	
	5	0	0	-4	-4	-4	-4	0	6	6	6	6	6	
	6	0	0	-4	-4	-4	-4	0	6	6	6	6	6	

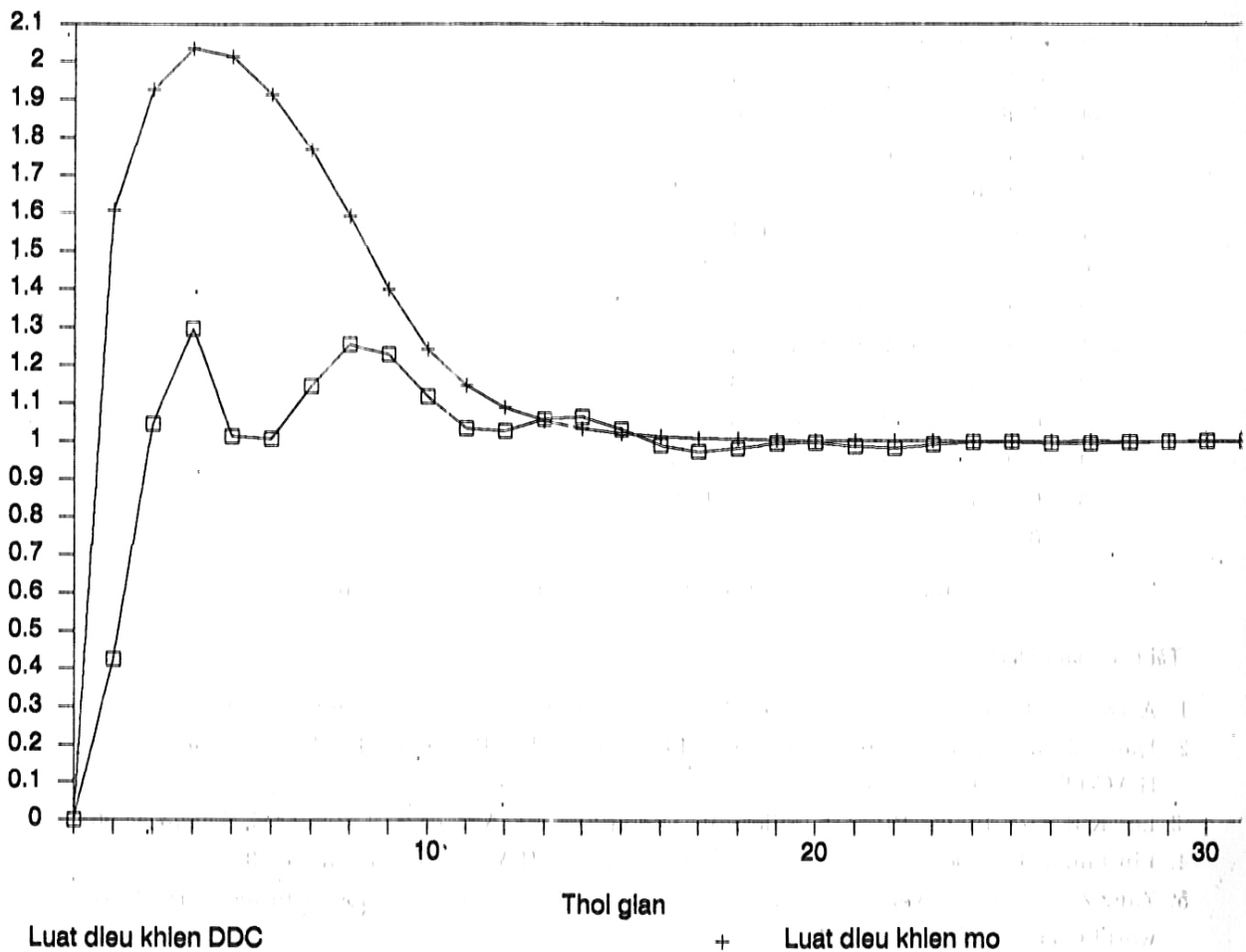
Bảng 1. Kết quả tính theo phương pháp lập luận xấp xỉ

**Tài liệu tham khảo**

1. Astrom K.J.; Anton J. & Azen K.E., Expert Control IFAC Congress, Budapest 1984.
2. Daniel J., & Dagane ., Intelligent tuning of PID Controllers Based on a Production Rules System IFAC-ITAC - 90, Singapore.
- 3 Lee.K.B., Self-tuning PID Controller: An Expert Systems Approach IFAC-ITAC, Singapore-90.
4. Liu Limin, Knowledge - based Adaptive fuzzy Control IFAC-ITAC, Singapore-90.
- 5: Zang Z. & Yang H., Application of Expert Control in Plasme surface aploying furnace 11th-IFAC world Congress Estonia, vol 7, (1990), p 39-44.
6. Yaniamo, Industrial developments in intelligent and adaptive Control IFAC-ITAC, Singapore-90.
7. Kniggmen A.J., Knowledge -based Tuning and Control IFAC-ITAC, Singapore-90.
8. King P.J. & Madami E.H., The Application of Fuzzy Control systems to Industrial Processes Automatica, vol.13(1977), p. 235-242.
9. Tong R.M., A Control Engineering Review of Fuzzy Systems Automatica, vol.13(1977), p. 599-568.
10. Strejc V., Numerical Control Praha, 1984.

11. Ollero P.A., Knowledge acquisition and dynamic behaviour by using Intelligent Controller Proc. IFAC - Estonia, Vol 8 (1990), p.136-144.
12. Min He, A kind of hybrid Intelligent Control IFAC-ITAC, Singapore 90.
13. Lee C.C., A self-learning rule-based Controller with Approximate reasoning and neural nets Proc. IFAC-Estonia, Vol 7, (1990), p. 59-64.

### Kết quả mô phỏng





**Phụ lục:**

Một số điểm cơ bản của fuzzy logic và lý thuyết tập mờ.

+ Một tập mờ A thuộc vũ trụ U được thể hiện bởi hàm thuộc  $\mu_A(u)$ , mỗi một  $u_i \in U$  gán một giá trị  $\mu_A(u)$  trong khoảng giữa 0 và 1. Nếu  $\mu_A(u) = 0$  thì u không thuộc tập mờ A.

+ Ba phép toán cơ bản như sau:

Hợp của hai tập mờ A và B thuộc vũ trụ U được biểu thị bởi A+B với hàm thuộc định nghĩa là:

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

Giao của hai tập mờ A và B được biểu thị bởi A.B với hàm thuộc định nghĩa là:

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

Đảo của tập mờ A được biểu thị  $\neg A$  với hàm thuộc định nghĩa là:  $\mu_{\neg A}(u) = 1 - \mu_A(u)$

+ Cho quan hệ giữa hai tập mờ ở dạng luật "if A then B", thì hàm thuộc của nó là:

$$\mu_R(u, v) = \min[\mu_A(u), \mu_B(v)], u \in U, v \in V$$

Nếu cho quan hệ mờ  $R = A.B$  và cho các tập mờ A, A'. Quan hệ mờ đó được sử dụng để suy ra các giá trị tương ứng B' bởi phép hợp (composition)  $B' = A' \circ R = A' \circ (A.B)$

Hàm thuộc của nó là:

$$\mu_{B'}(v) = \max_u \min[\mu_{A'}(u), \mu_R(u, v)]$$

**Abstract.**

**Some design problems of rule - based control**

*Two kinds of the Rule -based Controller: Direct and Indirect Control are presented in this paper. The Rule - based Controllers use heuristic procedures based on Knowledges of experienced Control Engineers and skilful plant operators. The Algorithm of Direct Control uses Fuzzy Logic Inferred method and the Algorithm of Indirect Control has some levels using Expert method on high level.*