

THIẾT KẾ LUẬT MỜ TỪ CÁC DỮ LIỆU VÀO – RA SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ VÀ ỨNG DỤNG TRONG ĐIỀU KHIỂN

VŨ NHƯ LÂN, NGUYỄN TUẦN LINH

1. MỞ ĐẦU

Sự hình thành nên các mô hình suy diễn theo luật IF-THEN đóng một vai trò quan trọng trong quá trình xử lý thông tin và thông qua đó có thể nhận thức đúng đắn thế giới tự nhiên. Lí thuyết đại số gia tử (ĐSGT) [1, 2] cho phép tạo ra các điểm chốt suy luận vừa mang chất “*định tính*”, vừa đậm chất “*định lượng*”. Đây là một lí thuyết có khả năng mô tả giá trị định lượng cụ thể bằng ngữ nghĩa của các giá trị ngôn ngữ, một đại lượng có tính chất định tính. Ngữ nghĩa giống như ánh sáng, trong đó ứng với một bước sóng ánh sáng cụ thể (ngữ nghĩa định lượng) là màu sắc của ánh sáng đó (cảm nhận ngữ nghĩa định tính). Điều này là một gợi ý tốt cho vấn đề nghiên cứu xây dựng hệ luật (định tính) từ các quan sát vào - ra (định lượng) trên cơ sở ĐSGT. Bài toán được đặt ra tương tự như bài toán nhận dạng mô hình với quan niệm mô hình là hệ luật.

Bài báo đề xuất một thuật toán tổng quát cho việc xây dựng hệ luật nói trên sử dụng ĐSGT và ứng dụng cho vấn đề điều khiển hệ quạt gió- cánh nhôm.

2. THUẬT TOÁN TẠO LUẬT TỪ CÁC QUAN SÁT VÀO-RA

Cho L cặp vào-ra (n đầu vào- l đầu ra)

$$(X_0^r, y_0^r), r = 1, 2, \dots, L \quad (2.1)$$

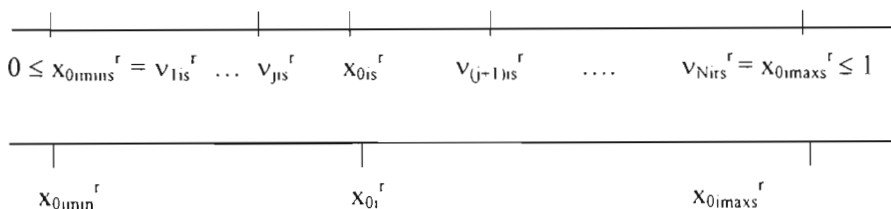
trong đó

$$X_0^r = [x_{01}^r, x_{02}^r, \dots, x_{0n}^r] \quad (2.2)$$

với

$$x_{0\min}^r \leq x_{0i}^r \leq x_{0\max}^r \text{ và } y_{0\min}^r \leq y_0^r \leq y_{0\max}^r; i=1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Bước 1: Chọn bộ ĐSGT với các tham số ngữ nghĩa định lượng cơ sở cho từng biến vào, ra của cặp vào-ra r, từ đó xác định phân hoạch ngữ nghĩa định lượng của các biến vào và biến ra với Nir điểm ngữ nghĩa định lượng cơ sở $v_{j\text{is}}^r$ của biến vào x_{0i}^r và M_r điểm ngữ nghĩa định lượng cơ sở $v_{k\text{s}}^r$ của biến ra y_0^r .



Hình 1. Phân hoạch ngữ nghĩa biến vào x_{0i}^r với $j = 1, 2, \dots, Nir$

$$\begin{array}{ccccccc}
0 \leq y_{0\min}^r = v_{1s}^r \dots v_{ks}^r & y_{0s}^r & v_{(k+1)s}^r & \dots & v_{Mrs}^r = y_{0\max}^r \leq 1 \\
| & & | & & & & | \\
y_{0\min}^r & & y_0^r & & & & y_{0\max}^r
\end{array}$$

Hình 2. Phân hoạch ngữ nghĩa biến ra y_0^r với $k = 1, 2, \dots, Mr$

Ở đây, x_{0s}^r và y_{0s}^r là các ngữ nghĩa quan sát đầu vào và đầu ra tương ứng,

v_{jis}^r và $v_{(j-1)is}^r$; v_{ks}^r và $v_{(k-1)s}^r$ là các ngữ nghĩa định lượng cơ sở tạo nên các đoạn phân hoạch ngữ nghĩa biến vào và biến ra tương ứng được tính dựa trên ĐSGT.

Bước 2: Xác định 1 luật từ 1 cặp vào-ra (2.1).

Từ ngữ nghĩa quan sát $x_{0is}^r \in [v_{jis}^r, v_{(j-1)is}^r]$ và $y_{0s}^r \in [v_{ks}^r, v_{(k-1)s}^r]$ xác định các khoảng cách sau:

$$d_{jis}^r = x_{0is}^r - v_{jis}^r : \quad (2.4)$$

khoảng cách tuyệt đối giữa ngữ nghĩa quan sát biến vào và điểm đầu của đoạn phân hoạch ngữ nghĩa chứa ngữ nghĩa quan sát biến vào.

$$d_{ks}^r = y_{0s}^r - v_{ks}^r : \quad (2.5)$$

khoảng cách tuyệt đối giữa ngữ nghĩa quan sát biến ra và điểm đầu của đoạn phân hoạch ngữ nghĩa chứa ngữ nghĩa quan sát biến ra.

$$d_{(j-1)is}^r = v_{(j-1)is}^r - x_{0is}^r : \quad (2.6)$$

khoảng cách tuyệt đối giữa điểm cuối của đoạn phân hoạch ngữ nghĩa chứa ngữ nghĩa quan sát biến vào và ngữ nghĩa quan sát biến vào.

$$d_{(k-1)s}^r = v_{(k-1)s}^r - y_{0s}^r : \quad (2.7)$$

khoảng cách tuyệt đối giữa điểm cuối của đoạn phân hoạch ngữ nghĩa chứa ngữ nghĩa quan sát biến ra và ngữ nghĩa quan sát biến ra.

Luật được tạo ra từ các quan sát vào-ra như sau:

$$\begin{array}{l}
\text{IF } x_{0i}^r \text{ is } \min(d_{jis}^r, d_{(j-1)is}^r) \text{ AND } \dots \text{ AND } x_{0n}^r \text{ is } \min(d_{jns}^r, d_{(j-1)ns}^r) \\
\text{THEN } y_0^r \text{ is } \min(d_{ks}^r, d_{(k-1)s}^r)
\end{array} \quad (2.8)$$

Bước 3: Loại bỏ những luật không nhất quán.

Do số lượng các quan sát vào-ra thường là khá lớn, vì vậy số luật được tạo ra cũng rất lớn. Trong đó có không ít luật mâu thuẫn với nhau, có nghĩa là những luật này có cùng phần IF nhưng khác phần THEN. Hệ luật chứa những luật này không đảm bảo tính nhất quán. Để xây dựng hệ luật nhất quán, cần tạo ra một tham số có thể đánh giá chính xác được mức độ gần nhau giữa ngữ nghĩa quan sát với ngữ nghĩa định lượng cơ sở cho từng luật. Tham số này được gọi là **bán kính hấp dẫn ngữ nghĩa** (kí hiệu G_0^r) được đo bằng khoảng cách giữa ngữ nghĩa định lượng cơ sở và ngữ nghĩa quan sát trong đoạn phân hoạch ngữ nghĩa chứa ngữ nghĩa quan sát. Trong số những luật không nhất quán, luật nào có bán kính hấp dẫn ngữ nghĩa nhỏ nhất (G_0^r nhỏ nhất) sẽ được chọn.

Bán kính hấp dẫn ngữ nghĩa của luật được xác định như sau:

$$G_0^r = [\prod_{j=1}^{Nir} \min(d_{jis}^r, d_{(j-1)is}^r)].\min(d_{ks}^r, d_{(k-1)s}^r). \quad (2.9)$$

Hệ luật bao gồm các luật từ nhóm nhất quán (không mâu thuẫn) và từ nhóm không nhất quán có bán kính hấp dẫn ngữ nghĩa nhỏ nhất.

3. HỆ QUẠT GIÓ-CÁNH NHÔM

Hệ thống khí động học Quạt gió - Cánh nhôm (QGCN) của hãng KentRidge Instruments [6] bao gồm ba thành phần chính (hình 3).

- Quạt gió được gắn trên một đường ray cho phép thay đổi vị trí của quạt.
- Cánh nhôm được gắn trên trục quay nằm ngang được đỡ bởi hai trụ đứng.
- Hộp điều khiển với các phần điện tử.

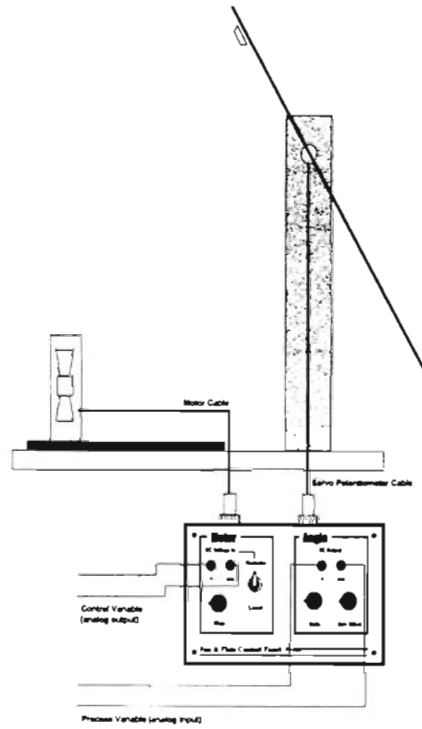
Trên quan điểm điều khiển học, hệ thống khí động học có hai phần sau:

1/ Đối tượng điều khiển

Trong hệ thống khí động học QGCN thì quạt gió và cánh nhôm được coi là đối tượng điều khiển (ĐTĐK). Đại lượng được điều khiển là góc nghiêng của cánh nhôm.

2/ Bộ phận công suất và cảm biến

Tín hiệu điều khiển thông qua khuếch đại công suất nằm trong hộp điều khiển sẽ điều khiển tốc độ quay của quạt gió. Sự thay đổi góc quay của cánh nhôm làm thay đổi giá trị điện trở của chiết áp servo (đầu đo) gắn ở một đầu của trục quay. Một bộ phận điện tử (bên trong hộp điều khiển) sẽ chuyển giá trị điện trở thành giá trị điện áp một chiều nằm trong khoảng từ -10 V đến 10 V.



Hình 3. Hệ Quạt gió - Cánh nhôm

4. HỆ LUẬT ĐIỀU KHIỂN QUẠT GIÓ-CÁNH NHÔM

Phương trình trạng thái hệ QGCN được xây dựng trong [6] có dạng sau:

$$y(k+1) = 0,9159 y(k) + 0,0463 u(k) \quad (3.1)$$

Đây là hệ một đầu vào-một đầu ra, trong đó: $y(k)$ là góc nghiêng của cánh nhôm tại thời điểm k (biến ra của ĐTĐK); $u(k)$ là tốc độ quay của quạt gió tại thời điểm k (biến vào của ĐTĐK).

Bộ điều khiển dựa trên ĐSGT (Hedge algebras – based controller: HAC) cụ thể trong bài toán này được hình thành trên cơ sở những hiểu biết của chuyên gia về quá trình điều khiển hệ thống QGCN hoặc được xác định từ các tác động điều khiển đo được và những phản ứng tương ứng của hệ thống. Như vậy có thể xem HAC như bộ bất chước cách điều khiển của chuyên gia điều khiển hệ QGCN và kết quả thu được không phải là tối ưu.

Dựa vào thuật toán đề xuất trên đây, quá trình xác định hệ luật điều khiển mô tả định tính các quan sát vào ra được thực hiện như sau:

Bước 1: Chọn các tham số của bộ ĐSGT:

$$C = \{ 0, Small, \theta, Large, 1 \}; H^- = \{ Little \} = \{ h_{.1} \}; q = 1$$

$$H^+ = \{ Very \} = \{ h_1 \}; p = 1; \theta = 0,5; \alpha = \beta = 0.5$$

$$\mu(Very) = 0.5 = \mu(h_1); \mu(Little) = 0.5 = \mu(h_{.1});$$

Như vậy

$$fm(Small) = \theta = 0.5; fm(Large) = 1 - fm(Small) = 1 - 0.5 = 0.5$$

Tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng cơ sở chung cho biến vào u và biến ra y hệ QGCN:

$$1/ v(Small) = \theta - \alpha fm(Small) = 0,25$$

$$2/ v(Very Small) = v(Small) + Sign(Very Small) *$$

$$\left\{ \sum_{i=1}^1 fm(h_i Small) - 0.5 fm(h_1 Small) \right\} = 0.125$$

$$4/ v(Large) = \theta + \alpha fm(Large) = 0,75$$

$$5/ v(Very Large) = v(Large) + Sign(Very Large) *$$

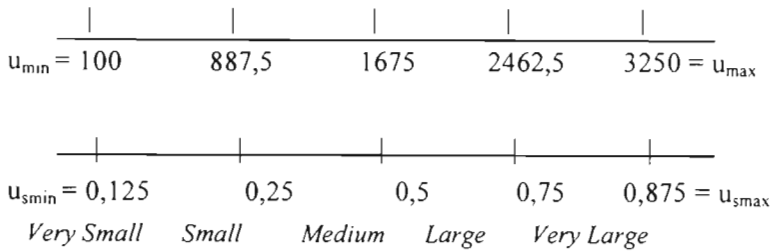
$$\left\{ \sum_{i=1}^1 fm(h_i Large) - 0.5 fm(h_1 Large) \right\} = 0.875$$

Dữ liệu quan sát mọi tình huống vào-ra của hệ QGCN gồm 14 cặp được đo trực tiếp trên hệ QGCN và được trình bày tại bảng 1.

Bảng 1. Số liệu quan sát vào u, ra y

STT	y	u
1	$y_{\min} = 47,3$	$u_{\min} = 100,0$
2	85,5	250,0
3	170,8	500,0
4	232,6	750,0
5	367,6	1000,0
6	421,5	1250,0
7	500,8	1500,0
8	575,6	1750,0
9	694,5	2000,0
10	746,0	2250,0
11	802,7	2500,0
12	881,6	2750,0
13	955,5	3000,0
14	$y_{\max} = 1042,9$	$u_{\max} = 3250,0$

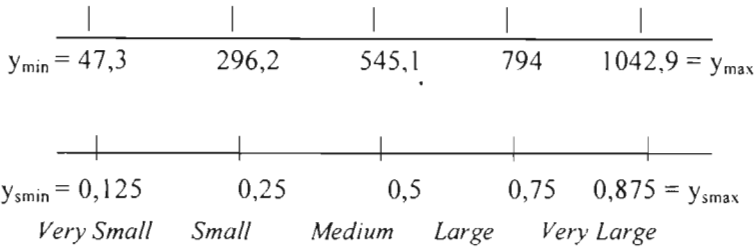
Xây dựng phân hoạch ngữ nghĩa định lượng tương ứng với các khoảng xác định các biến vào u (hình 4) và biến ra y (hình 5) của hệ QGCN như sau:



Hình 4. Phân hoạch ngữ nghĩa biến vào u hệ QGCN

Phép ngữ nghĩa định lượng (*Quantitative Semantization*) biến vào u có dạng:

$$u_s = 0,000238 u + 0,101 \quad (3,2)$$



Hình 5. Phân hoạch ngữ nghĩa biến ra y hệ QGCN

Phép ngữ nghĩa định lượng (*Quantitative Semantization*) biến ra y có dạng:

$$y_s = 0,000753 y + 0,089 \quad (3.3)$$

Bước 2: Luật xác định từ các ngữ nghĩa quan sát vào-ra tại bảng 2.

Bảng 2. Các luật tương ứng với các ngữ nghĩa quan sát vào-ra

STT Luật	u_s	u_s gần ngữ nghĩa cơ sở	y_s	y_s gần ngữ nghĩa cơ sở
1	$u_{smin} = 0,125$	<i>Very Small</i>	$y_{smin} = 0,125$	<i>Very Small</i>
2	0,160	<i>Very Small</i>	0,153	<i>Very Small</i>
3	0,220	<i>Small</i>	0,218	<i>Very Small</i>
4	0,280	<i>Small</i>	0,264	<i>Small</i>
5	0,339	<i>Small</i>	0,366	<i>Small</i>
6	0,399	<i>Small</i>	0,406	<i>Medium</i>
7	0,458	<i>Medium</i>	0,466	<i>Medium</i>
8	0,517	<i>Medium</i>	0,522	<i>Medium</i>
9	0,577	<i>Medium</i>	0,612	<i>Large</i>
10	0,636	<i>Large</i>	0,651	<i>Large</i>

11	0,696	<i>Large</i>	0,693	<i>Large</i>
12	0,756	<i>Large</i>	0,753	<i>Large</i>
13	0,815	<i>Very Large</i>	0,838	<i>Very Large</i>
14	$u_{\max} = 0,875$	<i>Very Large</i>	$y_{\max} = 0,875$	<i>Very Large</i>

Bước 3: Loại bỏ các luật không nhất quán trên cơ sở tính toán bán kính hấp dẫn gần các ngữ nghĩa cơ sở (bảng 3).

Bảng 3. Bán kính hấp dẫn ngữ nghĩa gần các ngữ nghĩa cơ sở

STT Luật	u	u_s gần ngữ nghĩa cơ sở	y	y_s gần ngữ nghĩa cơ sở	Bán kính hấp dẫn n.n G_0^r
1	$u_{\min} = 100,0$	<i>Very Small</i>	$y_{\min} = 47,3$	<i>Very Small</i>	0,0
2	250,0	<i>Very Small</i>	85,5	<i>Very Small</i>	0,000098
3	500,0	<i>Small</i>	170,8	<i>Very Small</i>	0,0028
4	750,0	<i>Small</i>	232,6	<i>Small</i>	0,000042
5	1000,0	<i>Small</i>	367,6	<i>Small</i>	0,0103
6	1250,0	<i>Small</i>	421,5	<i>Medium</i>	0,014
7	1500,0	<i>Medium</i>	500,8	<i>Medium</i>	0,0015
8	1750,0	<i>Medium</i>	575,6	<i>Medium</i>	0,0000374
9	2000,0	<i>Medium</i>	694,5	<i>Large</i>	0,0106
10	2250,0	<i>Large</i>	746,0	<i>Large</i>	0,0113
11	2500,0	<i>Large</i>	802,7	<i>Large</i>	0,0031
12	2750,0	<i>Large</i>	881,6	<i>Large</i>	0,0000168
13	3000,0	<i>Very Large</i>	955,5	<i>Very Large</i>	0,0022
14	$u_{\max} = 3250,0$	<i>Very Large</i>	$y_{\max} = 1042,9$	<i>Very Large</i>	0,0

Bảng 3 chứa:

- Các nhóm luật nhất quán bao gồm các luật 1, 2; các luật 10, 11, 12 và các luật 13, 14.
- Các nhóm luật không nhất quán bao gồm các luật 3, 4, 5, 6 và các luật 7, 8, 9.

Trong từng nhóm luật không nhất quán, các luật sau đây có mức hấp dẫn G_0^r nhỏ nhất: luật 4 trong nhóm luật 3, 4, 5, 6; luật 8 trong nhóm luật 7, 8, 9.

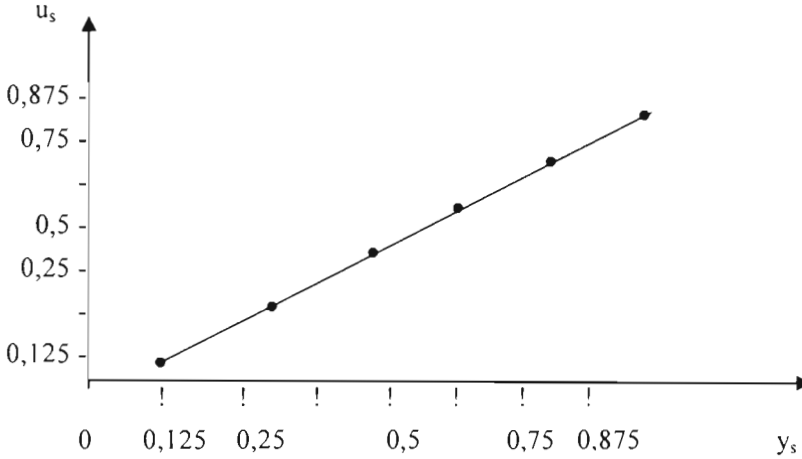
Như vậy hệ luật tương ứng với các quan sát vào ra của hệ QGCN bao gồm 5 luật, được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Hệ luật điều khiển hệ QGCN

y	Very Small 0,125	Small 0,25	Medium 0,5	Large 0,75	Very Large 0,875
u	Very Small 0,125	Small 0,25	Medium 0,5	Large 0,75	Very Large 0,875

Sử dụng kết quả thu được cho quá trình điều khiển hệ QGCN như sau:

Trước hết xây dựng đường cong tuyến tính từng đoạn ngữ nghĩa định lượng dựa theo bảng 4 (hình 6).



Hình 6. Đường tuyến tính từng đoạn ngữ nghĩa định lượng hệ QGCN

Phép ánh xạ ngữ nghĩa định lượng (*Quantitative Semantics Mapping*) có dạng tuyến tính:

$$u_s = y_s. \quad (3.4)$$

Phép giải ngữ nghĩa định lượng *Quantitative Desemantitization* được suy ra từ (3.2) có dạng:

$$u = 4201,7 u_s - 424,37 \quad (3.5)$$

Giả sử bộ điều khiển sử dụng ĐSGT phải điều khiển sao cho cánh nhôm đạt đến góc nghiêng mong muốn $y^* = 950$ với giá trị ban đầu $y(1) = 100$.

Chu kì điều khiển 1:

Quantitative Semanticization: (Ngữ nghĩa hóa định lượng)

Trên cơ sở (3.3) ngữ nghĩa hóa định lượng với $y(1) = 100$ nhận được $y_s(1) = 0,1643$.

Quantitative Semantics mapping: (Ánh xạ ngữ nghĩa định lượng)

Theo (3.4) nhận được $u_s(1) = 0,1643$.

Quantitative Desemantitization: (Giải ngữ nghĩa định lượng)

Giải ngữ nghĩa từ (3.5) nhận được giá trị đầu ra của bộ điều khiển sử dụng ĐSGT của chu kì 1 là: $u(1) = 266$.

Thay các giá trị $y(1)$, $u(1)$ vào mô hình hệ QGCN (3.1) nhận được kết quả:

$$y(2) = 104.$$

Quá trình tính toán trên đây được lặp lại cho các chu kì điều khiển 2,3,...cho đến khi đạt được giá trị góc nghiêng mong muốn $y^* = 950$ với sai số nhỏ hơn sai số cho phép $\epsilon = 30$. Kết quả cuối cùng được biểu diễn trong bảng 5 với một số giá trị ban đầu $y(1)$ khác nhau.

Bảng 5. Kết quả điều khiển hệ QGCN

$y(1)$	y	$\epsilon = y^* - y$
100	930	20
200	925	25
250	940	10
350	954	4
450	940	10
500	967	17

5. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp tạo luật từ các quan sát vào-ra trên cơ sở ĐSGT. Đây là phương pháp mới có thể ứng dụng cho nhiều bài toán khác nhau, trong đó có bài toán điều khiển. Qua minh họa cụ thể vấn đề điều khiển hệ QGCN có thể thấy rằng: phương pháp mới này cho kết quả khá chính xác, tương đương với phương pháp *lược đồ tham chiếu bằng* [7] và loại bỏ được những luật thừa, không nhất quán trong hệ luật được chọn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. N. C. Ho, W. Wechler - Hedge algebra: An algebraic approach to structures of sets of linguistic truth values, Fuzzy sets and systems **35** (1990) 281-293.
2. N. C. Ho, W. Wechler - Extended algebra and their application to fuzzy logic, Fuzzy sets and systems **52** (1992) 259-281.
3. N. C. Ho, V. N. Lan, L. X. Viet - An interpolative reasoning method based on Hedge Algebras and its application to a problem of fuzzy control, Proceedings of the 10th WSEAS International on COMPUTERS, Vouliagmeni, Athens, Greece, July 13-15, 2006, 526-534.
4. N. C. Ho, V. N. Lan, L. X. Viet - Quantifying Hedge Algebras, Interpolative reasoning method and its application to some problems of fuzzy control, WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS, Issue 11, Volume 5, November 2006, pp. 2519-2529.
5. N. C. Ho, V. N. Lan - Hedges Algebras: An algebraic approach to domains of linguistic variables and their applicability, ASEAN Journal on Science and Technology for Development **23** (1&2) (2006) 1-18.
6. Fan & Plate Control Apparatus - Model PP 200. KentRidge Instruments Pte Ltd 1996.

7. L. X. Wang - Automatic Design of fuzzy controllers, *Automatica* **35** (1999) 1471-1475.

SUMMARY

A DESIGN OF FUZZY RULES FROM INPUT-OUTPUT DATA USING HEDGE ALGEBRAS AND APPLICATION TO CONTROL PROBLEM

In this work, we propose a new method able to find fuzzy IF-THEN rules from input output observations based on hedge algebras and apply this method to the Fan & Plate control problem (model PP 200). In fact, hedge algebras-based controller (HAC), formulated on the basis of human knowledge about the process or identified from measured control action, can be regarded as an emulator of human operator. The simulation shows that the HAC can successfully control the plate angle of the model PP 200 to the desired position. We do not claim to have obtained optimal controller in any of the cases, however, the method is effective for removing inconsistency and redundancy in the process of assembling fuzzy rules. Furthermore, this new approach is simple even if the number of state variables is large.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 20 tháng 5 năm 2007

Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.