Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 18, S. 3 (2002), 211–221

ĐIỀU KHIỂN TRONG ĐIỀU KIỆN BẤT ĐỊNH TRÊN CƠ SỞ LÔGIC MỜ VÀ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ TRONG CÁC LUẬT ĐIỀU KHIỂN

VŨ NHƯ LÂN, VŨ CHẤN HƯNG, ĐẶNG THÀNH PHU

Abstract. It is difficult to eliminate uncertainty which is always considerable obstacle in control problem. The suitable solution is to accept uncertainty hidden in the state of system. This view-point enables the existing control algorithms to be develop on the basis of fuzzy theory and fuzzy logic. Therefore, the hedge algebras can be used in the knowledge-based system control problems.

Tóm tắt. Bất định luôn là một trở ngại lớn trong bài toán điều khiển và khó có thể loại trừ. Cách giải quyết hợp lý là nên chấp nhận bất định ẩn trong trạng thái hệ thống. Quan điểm này cho phép phát triển các thuật toán điều khiển hiện có trên cơ sở lý thuyết tập mờ và lôgic mờ. Từ đó có thể sử dụng đại số gia tử trong các bài toán điều khiển dựa trên tri thức.

1. MỞ ĐẦU

Tính bất định trong các hệ điều khiển là một thách thức lớn, rất bức xúc và khó giải quyết một cách triệt để trong các thuật toán điều khiển. Bên trong đối tượng điều khiển trên thực tế bao giờ cũng tồn tại những thành phần không mô hình hóa được. Những thành phần này được đưa về dạng bất định tham số và bất định phi tham số. Đặc biệt khó khăn cho những bài toán xử lý bất định phi tham số. Ngoài ra những tác động qua lại giữa các phần khác nhau của hệ thống điều khiển cũng có thể sinh ra bất định có cấu trúc phức tạp khó có thể kiểm soát được. Để mô tả những dạng bất định khác nhau đó, thường trong mô hình của đối tượng điều khiển phải bổ sung thêm các đại lượng thỏa mãn giả thiết "cộng tính" như nhiễu trắng, nhiễu màu, tạp nhiễu hoặc đưa vào mô hình các đại lượng bất định dưới dạng tham số, khoảng tham số ... Tùy từng trường hợp cụ thể, cách giải quyết có thể khác nhau song cùng chung một mục tiêu như loại trừ bất định, ví dụ [29] hoặc chấp nhận bất định như lý thuyết điều khiển bền vững, ví dụ [5, 15] hoặc bất biến với phần nào sự thay đổi tham số trong quá trình điều khiển điển hình là điều khiển có cấu trúc thay đổi [7, 9, 13, 18, 22].

Trong thời gian gần đây, nhờ một số công cụ như lý thuyết mờ, lôgic mờ, mạng nơron, bài toán điều khiển trong điều kiện bất định đã được giải quyết mang tính thông minh [8, 12, 21, 26]. Đặc biệt đối với hệ phi tuyến, phương pháp kết hợp lôgic mờ và điều khiển có cấu trúc thay đổi đã mang lại nhiều kết quả tốt [3, 14, 17, 28].

Một hướng nghiên cứu có ý nghĩa là điều khiển các đối tượng phức tạp trên cơ sở mô hình hóa đối tượng điều khiển dưới dạng mô hình không gian trạng thái mờ. Đây là một đóng góp mới, khai thác được mối liên quan giữa điều khiển và lôgic mờ [1, 2]. Gần đây một số ứng dụng đã triển khai trên cơ sở sử dụng phương pháp không gian trạng thái mờ. Chính vì vậy phát triển hướng nghiên cứu này đối với bài toán điều khiển đối tượng phi tuyến chứa bất định là mục đích của bài báo.

Giả sử động học của đối tượng phi tuyến chứa bất định được diễn tả bằng phương trình sau đây:

$$x(t) = A(x(t), f(t)) + B(x(t), f(t))u(t), \tag{1.1}$$

trong đó

$x(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]^T \in R^n$	véc tơ trạng thái
$u(t) = [u_1(t), u_2(t), ..., u_m(t)]^T \in R^m$	vectơ điều khiển
$f(t) \subset P_f \subset R^P$	véc tơ bất định

P_f	tập compact biết trước
$A(.)$ và $B(.)$	hàm vectơ và hàm ma trận có dạng biết trước và có chiều phù hợp.

Để đảm bảo phương trình (1.1) luôn tồn tại nghiệm dưới các tác động của điều khiển nhằm giữ cho đối tượng ổn định toàn cục trong quá trình bám theo quỹ đạo cho trước cần có các điều kiện sau [11].

Điều kiện 1: $f(.)$ đo được theo Lebesgue và có các giá trị nằm bên trong tập compact biết trước $P_f \subset R^P$.

Điều kiện 2: $A(.)$ và $B(.)$ là các vectơ hàm, ma trận hàm có dạng carathéodory mạnh với mọi bất định $f(-)$ thỏa mãn điều kiện 1.

Xem xét mô hình không gian trạng thái động học mờ trong [1, 2] có thể thấy rằng các trạng thái của đối tượng điều khiển phi tuyến không chứa bất định được mờ hóa làm cơ sở cho quá trình suy luận mờ dựa vào luật IF–THEN mờ để tạo ra mô hình rõ tuyến tính không chứa bất định. Nhưng khi mô hình của đối tượng điều khiển có chứa bất định như dạng (1.1) thì phương pháp [1, 2] không thể sử dụng một cách trực tiếp được nữa. Tuy nhiên có thể thấy rằng: vấn đề cốt lõi của phương pháp [1, 2] là coi phép suy luận mờ là phép biến đổi tính phi tuyến thành tuyến tính. Như vậy nếu xem phép suy luận mờ là phép biến đổi tính bất định dạng (1.1) trở thành không chứa bất định sau phép suy luận mờ theo một nghĩa nào đó thì hoàn toàn có thể sử dụng được phương pháp suy luận mờ dạng [1, 2]. Từ đây suy ra nếu trạng thái hệ thu được sau phép suy luận mờ ngầm chứa bất định dưới dạng biến mờ thì mô hình này trở thành mô hình mờ không còn chứa bất định theo nghĩa mờ. Điều này dẫn đến các hàm $A(.)$ và $B(.)$ bị thay đổi về mặt ý nghĩa và trở thành ánh xạ mờ. Các phép tính số học trở thành các phép tính số học mờ và điều khiển trở thành biến mờ. Mô hình thu được sau quá trình suy luận mờ là hệ mờ không chứa bất định theo nghĩa mờ. Như vậy tiếp cận [1, 2] có thể sử dụng được mà không cần sự thay đổi nào trong cơ cấu suy luận mờ.

Từ sự phân tích trên, mô hình thu được cần có dạng mờ sau đây:

$$\dot{\underset{\sim}{x}}(t) = \underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{x}(t)) \oplus \underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{x}(t)) \odot \underset{\sim}{u}(t), \tag{1.2}$$

trong đó:

$\underset{\sim}{x}(t) = [\underset{\sim 1}{x}(t), \underset{\sim 2}{x}(t), ..., \underset{\sim n}{x}(t)]^T$	vectơ trạng thái mờ
$\underset{\sim}{u}(t) = [\underset{\sim 1}{u}(t), \underset{\sim 2}{u}(t), ..., \underset{\sim m}{u}(t)]^T$	vectơ điều khiển mờ
$\underset{\sim}{A}(.)$ và $\underset{\sim}{B}(.)$	là các ánh xạ

Các phép tính số học mờ bao gồm:

- $\oplus$ phép cộng mờ
- $\ominus$ phép trừ mờ
- $\odot$ phép nhân mờ
- $\oslash$ phép chia mờ

Có rất nhiều phương pháp định nghĩa các phép tính số học mờ nhưng một trong các phương pháp đơn giản là sử dụng số mờ LR [6]. Với phương pháp này, các biến đổi số học mờ không khác mấy so với các biến đổi số học bình thường.

Để thuận tiện cho các tính toán, giả sử rằng: $x(t) \subset I_x \subset R^n$ trong đó I_x là tập compact biết trước và là tích đề các của các tập nền I_{x_i} :

$$I_x = I_{x_1} \times I_{x_2} \times ... \times I_{x_n} \tag{1.3}$$

với $\quad I_{x_i} \in [\nu_{i_{\min}}, \nu_{i_{\max}}], \quad i = 1, 2, ..., n$

Mô hình thu được (1.2) được gọi là mô hình không gian trạng thái mờ động học mở rộng (extended dynamic fuzzy state space model).

Ngoài ra, để có thể bổ sung các bài toán tối ưu tham số vào quá trình điều khiển cần mở rộng định nghĩa về số mờ LR.

Các số mờ theo [6] được mở rộng để có số mờ LR mở rộng sau đây (extended LR fuzzy number).

Gọi $M(m(m_0), \alpha, \beta)$ là số mờ LR mở rộng, khi hàm thuộc được xác định dưới đây:

$$\mu_M(z) = \begin{cases} L(m(m_0) - z)/\alpha & ; \quad M_{\min} \le z \le m(m_0) \\ R(z - m(m_0))/\beta & ; \quad m(m_0) \le z \le M_{\max} \\ L(0) = R(0) = 1 & ; \quad z = m(m_0) \\ 0 & ; z < M_{\min}, z > M_{\max} \end{cases}$$

α, β là các tham số co dãn, $m(m_0)$ là giá trị trung bình được chọn phụ thuộc vào m_0 và nằm trong khoảng $[m - m_0, m + m_0]$, trong đó:

$$0 \le m_0 \le \frac{M_{\max} - M_{\min}}{4}.$$

Lưu ý rằng m_0 có thể chọn ngẫu nhiên trong khoảng $[0, (M_{\max} - M_{\min})/4]$.
Khi $m_0 = 0$, nhận được số mờ LR [6].

2. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để phát triển các thuật toán điều khiển, trước hết xét đối tượng phi tuyến một đầu vào - một đầu ra chứa bất định có bậc n sau đây:

$$\begin{aligned} &\dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ &\dot{x}_2(t) = x_3(t) \\ &\vdots \\ &\dot{x}_n(t) = a(y(t), f(t)) + b(y(t), f(t))u(t) \end{aligned} \tag{2.1}$$

trong đó:

$y(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]^T \in R^n$ - vectơ trạng thái
$u(t) \in R$ - điều khiển vô hướng
$f(t) \subset P_f \subset R^P$ - vectơ bất định thỏa mãn Điều kiện 1 tại Mục 1
$a(.) \in R$ và $b(.) \in R$ - các hàm vô hướng biết trước thỏa mãn Điều kiện 2 ở Mục 1

Mô hình (2.1) có thể đưa về dạng (1.1) bằng cách đặt:

$$A(.) = \begin{vmatrix} a_1(.) \\ a_2(.) \\ \vdots \\ a_{n-1}(.) \\ a_n(.) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_2(t) \\ x_3(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \\ a(.) \end{vmatrix}, \tag{2.2}$$

$(.) = (y(t), f(t))$,

$$B(.) = \begin{vmatrix} b_1(.) \\ b_2(.) \\ \vdots \\ b_{n-1}(.) \\ b_n(.) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ b(.) \end{vmatrix}. \tag{2.3}$$

Đặt: $$x(t) = x_1(t). \tag{2.4}$$

Vectơ trạng thái $y(t)$ trong mô hình (2.1) có dạng:

$$y(t) = [x(t), \dot{x}(t), ..., x^{n-1}(t)]^T.$$

Kết hợp với (2.1):

$$y(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]^T. \tag{2.5}$$

Như vậy mô hình (2.1) trở về dạng mô hình (1.1) thỏa mãn Điều kiện 1 và Điều kiện 2:

$$y(t) = A(y(t), f(t)) + B(y(t), f(t))u(t). \tag{2.6}$$

Giả sử vectơ quỹ đạo cho trước cần bám là:

$$d_y(t) = [d_1(t), d_2(t), ..., d_n(t)]^T = [d(t), \dot{d}(t), ..., d^{n-1}(t)]^T, \tag{2.7}$$

ở đây: $$d_i(t) = d^{i-1}(t), \quad i = 1, 2, ..., n. \tag{2.8}$$

Vấn đề đặt ra là tìm điều khiển sao cho với mọi bất định $f(t) \subset P_f \subset R^P$, hệ kín (closed-loop system) là ổn định nội bộ (internally stable) và trạng thái $x(t)$ của hệ bám tiệm cận $d_y(t)$.

3. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Có nhiều phương pháp giải quyết vấn đề đặt ra như có thể sử dụng tiếp cận [1, 2] cho vấn đề này. Tuy nhiên để đảm bảo ổn định nội bộ, cần sử dụng tiếp cận [7, 22] trên quan điểm thay thế mô hình (2.6) bằng mô hình dạng (1.2) để giải quyết vấn đề nêu trên.

3.1. Chuyển đổi mô hình. Sử dụng (2.1)$\div$ (2.6)

Mô hình (2.1) hoặc (2.6) có thể thay thế bằng mô hình dạng (1.2) sau đây:

$$\dot{\underset{\sim}{y}}(t) = \underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y}(t)) \oplus \underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y}(t)) \odot \underset{\sim}{u}(t). \tag{3.1}$$

trong đó:

$$\dot{\underset{\sim}{y}}(t) = [\dot{\underset{\sim}{x}}(t), \ddot{\underset{\sim}{x}}(t), \overset{n}{\underset{\sim}{x}}(t)]^T = [\underset{\sim 1}{x}(t), \underset{\sim 2}{x}(t), ..., \underset{\sim n}{x}(t)]^T \tag{3.2}$$

với :

$$\dot{\underset{\sim i}{x}}(t) = \overset{i}{\underset{\sim}{x}}(t) \quad i = 1, 2, ..., n \ \text{ và } \ \underset{\sim}{x}(t) = \underset{\sim 1}{x}(t),$$

$$\underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y}(t)) = [\underset{\sim 2}{x}(t), \underset{\sim 3}{x}(t), ..., \underset{\sim n}{x}(t), \underset{\sim}{a}(\underset{\sim}{y}(t))]^T, \tag{3.3}$$

$$\underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y}(t)) = [0, 0, ..., \underset{\sim}{b}(\underset{\sim}{y}(t))]^T. \tag{3.4}$$

Từ đây, để đơn giản cho cách viết, ký hiệu t sẽ được bỏ qua.

3.2. Mờ hóa trạng thái x_i

Trên cơ sở tập nền $I_{x_i} = [\nu_{i\min}, \nu_{i\max}]$, xây dựng $N_i + 1$ số mờ LR mở rộng trên N_i phân đoạn $[\nu_i - \Delta, \nu_i + \Delta]$, trong đó : $\nu_i = \nu_{i\min}, \quad \nu_{i\min} + \Delta, \quad \nu_{i\min} + 2\Delta, ..., \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\max}$

$$\Delta = \frac{\nu_{i\max} - \nu_{i\min}}{N_i} \tag{3.5}$$

Ký hiệu: $I(x_i/\nu_i) = [\nu_i - \Delta, \nu_i + \Delta] \subset I_{x_i}$. (3.6)

Lưu ý rằng các số mờ LR tại các phân đoạn đầu tiên và cuối cùng bị loại bỏ phần trái và phần phải của số mờ do tràn ra ngoài tập x_i.

Số mờ LR mở rộng trên các phân đoạn được ký hiệu là $M_{x_i}^{\nu_i}(m_i(m_0), \alpha_{xi}, \beta_{xi})$ với hàm thuộc $\mu_{M_{x_i}}^{\nu_i}(x_i)$. Số lượng tổ hợp các số mờ này tạo thành $\prod_{i=1}^{n} N_i$ vectơ của vectơ trạng thái mờ $\underset{\sim}{y}$.

3.3. Tính toán vectơ trạng thái mờ $\underset{\sim}{y}$

Trên cơ sở biểu thức (3.2) và cách mờ hóa nêu trên, mỗi vectơ số mờ của vectơ trạng thái $\underset{\sim}{y}$ được xác định bằng một vectơ số mờ LR sau đây trên một phân đoạn của tập nền I_y :

$$M_y^{(\nu_1, \nu_2, ..., \nu_n)} = [M_{x_1}^{\nu_1}, M_{x_2}^{\nu_2}, ..., M_{x_n}^{\nu_n}]^T. \tag{3.7}$$

Biểu thức (3.7) chính là một trong $\prod_{i=1}^{n} N_i$ vectơ mờ của vectơ trạng thái mờ $\underset{\sim}{y}$ (vectơ biến mờ).
Tập nền I_y của $\underset{\sim}{y}$ được tạo bởi tích Đề các sau:

$$I_y = I_{x_1} \times I_{x_2} \times ... \times I_{x_n} \subset R^n. \tag{3.8}$$

Phân đoạn của tập nền I_y được ký hiệu:

$$I(y/\nu_1...\nu_n) = I(x_1/\nu_1) \times I(x_2/\nu_2) \times ... \times I(x_n/\nu_n) \subset I_y. \tag{3.9}$$

Đây là khoảng giá trị y mà trên đó có số mờ $M_y^{\nu_1,\nu_2,...,\nu_n}$.

3.4. Tính toán vectơ hàm số mờ $\underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y})$ và $\underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y})$

Trước hết cần ước lượng được khoảng giá trị của hàm $a_i(y,f)$ với mọi y và f.

Mô hình (2.6) thỏa mãn Điều kiện 1 và Điều kiện 2, do đó, theo [11] $a_i(y,f)$ là hàm bị chặn trên và dưới với mọi y, f và đảm bảo tồn tại một hằng số dương $C_{a_i}(y/(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n))$ trên thực tế sẽ đánh giá được hằng số này) sao cho:

$$||a_i(y,f)|| \leq C_{a_i}(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n), \tag{3.10}$$

$$\nu_i = \nu_{i\min}, \nu_{i\min} + \Delta, ..., \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\max} \quad i = 1,2,...,n.$$

Như vậy từ (3.10) đảm bảo tồn tại phân đoạn $I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)$ được định nghĩa bằng:

$$I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) = \{a_i(y,f) \mid y \in I(y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) \text{ và } f \subset P_f\} \tag{3.11}$$

thỏa mãn $I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) \subseteq [-C(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n), C(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) \subset R]$ (3.12)

sao cho: $a_i(y,f) \in I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)$ (3.13)

với mọi: $y \in I(y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)$ và $f \in P_f \subset R^P$

đối với: $\nu_i = \nu_{i\min}, \nu_{i\min} + \Delta, ..., \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\min}, \quad i = 1,2,...,n.$

Gọi I_{a_i} là tập nền các giá trị của $a_i(y,f)$ được định nghĩa dưới đây:

$$I_{a_i} = \bigcup_{\nu_1=\nu_{1\min}}^{\nu_{1\max}} \bigcup_{\nu_2=\nu_{2\min}}^{\nu_{2\max}} ... \bigcup_{\nu_n=\nu_{n\min}}^{\nu_{n\max}} I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n). \tag{3.14}$$

Tương tự như cách xác định phân đoạn tập nền và tập nền của hàm $a_i(y,f)$ nêu trên, hoàn toàn xác định được phân đoạn tập nền và tập nền của hàm $b_i(y,f)$ đối với mô hình (2.6).
Cụ thể là:

$$||b_i(y,f)|| \leq C_{b_i}(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n). \tag{3.15}$$

Khoảng giá trị được định nghĩa như phân đoạn tập nền của hàm $b_i(y,f)$:

$$I(b_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) = \{b_i(y,f) \mid y \in I(y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) \text{ và } f \in P_f\} \tag{3.16}$$

đảm bảo tồn tại:

$$I(b_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n) \subseteq [-C_{b_i}(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n), C_{b_i}(I_y/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)] \subset R \tag{3.17}$$

sao cho $b_i(y,f) \in I(b_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n).$ (3.18)

Tập nền của hàm $b_i(y,f)$ được xác định qua:

$$I_{b_i} = \bigcup_{\nu_1=\nu_{1\min}}^{\nu_{1\max}} \bigcup_{\nu_2=\nu_{2\min}}^{\nu_{2\max}} ... \bigcup_{\nu_n=\nu_{n\min}}^{\nu_{n\max}} I(b_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n), \quad i = 1,2,...,n. \tag{3.19}$$

Như vậy trên mỗi phân đoạn tập nền $I(a_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)$ xây dựng được một số mờ LR mở rộng:

$$M_{a_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = (a_{im(m_0)}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, \alpha_{a_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, \beta_{a_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}) \tag{3.20}$$

với hàm thuộc tương ứng: $\mu_{Ma_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}(a_i)$.

Tương tự đối với phân đoạn tập nền $I(b_i/\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)$ có số mờ LR mở rộng:

$$M_{b_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = (b_{im(m_0)}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, \alpha_{b_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, \beta_{b_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}) \tag{3.21}$$

với hàm thuộc: $\mu_{Mb_i}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}(b_i)$.

Cuối cùng vectơ hàm $\underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y})$ được xác định qua vectơ số mờ LR sau:

$$\underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y}) = [M_{a_1}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, M_{a_2}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, ..., M_{a_n}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}]^T. \tag{3.22}$$

Tương tự có vectơ hàm $\underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y})$

$$\underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y}) = [M_{b_1}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, M_{b_2}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, ..., M_{b_n}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}]^T. \tag{3.23}$$

3.5. Thiết kế điều khiển với cấu trúc thay đổi cho mô hình mờ (2.6)

Giả sử vectơ sai số bám được xác định theo:

$$e_y = [e_{y_1}, e_{y_2}, ..., e_{y_n}]^T \tag{3.24}$$

hay:

$$e_y = y - d_y \tag{3.25}$$

với y và d_y được biết qua (2.5) và (2.7) tương ứng.

Vectơ sai số bám mờ được định nghĩa như sau:

$$\underset{\sim y}{e} = \underset{\sim}{y} \ominus \underset{\sim y}{d} = [\underset{\sim y_1}{e}, \underset{\sim y_2}{e}, ..., \underset{\sim y_n}{e}] \tag{3.26}$$

trong đó $\underset{\sim y}{d}$ được xem là tập mờ với hàm thuộc singleton và được hiểu là vectơ quỹ đạo bám mờ.

3.5.1. Xây dựng hàm chuyển mờ (fuzzy switching function)

Gọi $\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e})$ là hàm chuyển mờ được chọn như sau:

$$\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e}) = s_1 \odot \underset{\sim y_1}{e} \oplus s_2 \odot \underset{\sim y_2}{e} \oplus ... \oplus s_n \odot \underset{\sim y_n}{e}. \tag{3.27}$$

Lưu ý rằng các hệ số $s_i \neq 0,\ i = 1, 2, ..., n$ được chọn sao cho đa thức $M(r) = r^n + s_n r^{n-1} + ... + s_1$ là đa thức Hurwithz với r là biến Laplace. Có nghĩa là toàn bộ nghiệm của đa thức này nằm ở bên trái mặt phẳng phức. Hàm chuyển mờ $\underset{\sim}{S}(\bullet)$ cho giá trị số mờ LR $\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e})$ xác định trên tập nền I_S đối với từng vectơ sai số bám mờ $\underset{\sim y}{e}$ xác định trên tập nền I_{e_y}.

Bổ đề 1. *Từ hàm chuyển mờ (3.27) xác định được hàm chuyển*

$$S(e_y) = s_1 e_{y_1} + s_2 e_{y_2} + ... + s_n e_{y_n}. \tag{3.2.7.a}$$

Chứng minh. Xét tập nền: $I_S = [S_{\min(e_y)}, S_{\max(e_y)}]$.

Các hệ số $s_i,\ i = 1, 2, ..., n$ được chọn ở (3.27) đảm bảo cho $H(\bullet)$ là Hurwithz trên tập nền I_S. Như vậy tồn tại vùng hàm chuyển với $H(\bullet)$ sao cho: $S_{\min(e_y)} \leq S(e_y) \leq S_{\max(e_y)}$. Suy ra $S(e_y)$ thỏa mãn dạng (3.27a) ■

3.5.2. Xây dựng mặt chuyển mờ (fuzzy switching surface)

Gọi mặt chuyển mờ $\underset{\sim}{\Sigma}_S$ là tập hợp các vectơ sai số bám mờ $\underset{\sim y}{e}$ được xác định trong không gian sai số bám sao cho:

$$\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e}) = \underset{\sim}{0} \text{ là “không mờ ” dạng số LR.} \tag{3.28}$$

Có nghĩa là:

$$\underset{\sim}{\Sigma}_S = \{\underset{\sim y}{e} = \underset{\sim}{y} \ominus \underset{\sim y}{d} | \underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e}) = \underset{\sim}{0}\}. \tag{3.29}$$

Bổ đề 2. *Từ mặt chuyển mờ* (3.28) *và* (3.29) *dẫn đến mặt chuyển:*

$$\Sigma_S = \{e_y = y - d_y | S(e_y) = 0\}. \tag{3.29a}$$

Chứng minh. Từ (3.28) và (3.29) dẫn đến số: “Không mờ” dạng LR với hàm thuộc sau đây: $\underset{\sim}{\mu_0}(S(e_y) - 0) = 1$.

Suy ra $S(e_y) = 0$ và nhận được (3.29a). ■

3.5.3. Xây dựng đạo hàm của hàm chuyển mờ

Gọi $\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e})$ là đạo hàm của hàm chuyển mờ $\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e})$ được xác định bằng biểu thức dưới đây:

$$\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e}) = s_1 \odot \underset{\sim y_1}{\dot{e}} \oplus s_2 \odot \underset{\sim y_2}{\dot{e}} \oplus ... \oplus s_n \odot \underset{\sim y_n}{\dot{e}} = s_1 \odot \underset{\sim y_2}{e} \oplus s_2 \odot \underset{\sim y_3}{e} \oplus ... \oplus s_n \odot \underset{\sim y_n}{\dot{e}} \quad (3.30)$$

với $\underset{\sim y_i}{\dot{e}} = \underset{\sim y_(i+1)}{e}, \quad i = 1, 2, ..., n-1.$

Bổ đề 3. *Từ đạo hàm của hàm chuyển mờ* (3.30) *xác định được hàm chuyển sau:*

$$\dot{S}(e_y) = s_1 \dot{e}_{y_1} + s_2 \dot{e}_{y_2} + ... + s_n \dot{e}_{y_n} \quad (3.30a)$$

Chứng minh. Xét tập nền: $[I_{\dot{S}} = [\dot{S}_{\min(e_y)}, \dot{S}_{\max(e_y)}]$.
Từ (3.30) nhận được: $\dot{S}(e_y) \subset I_{\dot{S}}$.
Lưu ý rằng $\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e})$ là biến mờ trên tập nền $I_{\dot{S}}$.
Như vậy sử dụng các hệ số s_i, $i = 1, 2, ..., n$ đã chọn được ở Bổ đề 1, xây dựng được: $\dot{S}(e_y) \subset I_{\dot{S}}$ sao cho: $\dot{S}(e_y) = s_1 * e_{y_2} + s_2 * e_{y_3} + ... + s_n * \dot{e}_{y_n}$ với $s_i \neq 0$ và: $H(r) = r^n + s_n * r^{n-1} + ... + s_1$ là đa thức Hurwithz. Đặt: $\dot{e}_{y_1} = e_{y_2}$; $\dot{e}_{y_2} = e_{y_3}$; $\dot{e}_{y(n-1)} = e_{y_n}$, từ đó nhận được (3.30). ■

3.5.4. Xây dựng điều kiện đạt đến mờ (fuzzy reaching condition)

Giả sử $\underset{\sim}{S}$ có giá trị cụ thể là một số mờ LR đặc trưng cho một giá trị của hàm chuyển $S(e_y)$ trên tập nền I_S khi đó $\underset{\sim}{\dot{S}}$ có giá trị cụ thể là một số mờ LR đặc trưng cho một giá trị tốc độ thay đổi của $S(e_y)$ trên tập nền I_S.

Điều kiện đạt đến mờ được xây dựng như sau:

$$\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e}) \odot \dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e}) < \underset{\sim}{0}. \quad (3.31)$$

Bổ đề 4. *Từ điều kiện đạt đến mờ* (3.31), *đảm bảo điều kiện đạt đến:*

$$S(e_y)\dot{S}(e_y) < 0. \quad (3.31a)$$

Chứng minh. Xét các tập nền I_S và $I_{\dot{S}}$.
a. Khi $I_S \subset R^+$
Từ (3.31) suy ra $I_{\dot{S}} \subset R^-$. Kết hợp sử dụng Bổ đề 1, nhận được: $0 < S_{\min(e_y)} < S(e_y) < S_{\max(e_y)}$ và $\dot{S}_{\max(e_y)} < \dot{S}(e_y) < \dot{S}_{\max(e_y)} < 0$. Như vậy suy ra (3.31a).
b. Khi $I_S \subset R^-$, chứng minh hoàn toàn tương tự, nhận được (3.31a). ■

3.5.5. Thuật toán điều khiển mờ trong chế độ trượt mờ

Xác định vectơ sai số bám mờ:
Bước 1: Trên cơ sở quá trình mờ hóa vectơ trạng thái y từ các trạng thái x_i với tập nền I_{x_i} bằng các số mờ LR mở rộng trong đó: $I_y = I_{x_1} \times I_{x_2} \times ... \times I_{x_n}$ là tập nền của y và mờ hóa vectơ quỹ đạo cần bám d_y có hàm thuộc singleton kết hợp với (3.26), (3.7) nhận được vectơ giá trị sai số bám mờ dạng vectơ số mờ LR sau đây trên tập nền

$$I_{e_y} = I_{e_{y1}} \times I_{e_{y2}} \times ... \times I_{e_{yn}}, \quad (3.32)$$

$$M_{e_y}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{e_{y1}}^{\nu_1}, M_{e_{y2}}^{\nu_2}, ..., M_{e_{yn}}^{\nu_n}]^T,$$

với:

$$\nu_i = \nu_{i\min}, \nu_{i\min} + \Delta, ..., \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\max},$$

$$M_{e_{yi}}^{\nu_i} = M_{e_i}^{\nu_i} \ominus \underset{\sim i}{d}, \quad i = 1, 2, ..., n. \tag{3.33}$$

Như vậy vectơ sai số bám $e_y = [e_{y_1}, e_{y_2}, ..., e_{y_n}]^T$ được đặc trưng bởi $\prod_{i=1}^{n} N_i$ vectơ giá trị sai số bám mờ (3.32).

Lưu ý: Vectơ sai số bám mờ $\underset{\sim y}{e}$ mô tả bất kỳ vectơ giá trị sai số bám mờ $M_{e_y}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$ nào trong số $\prod_{i=1}^{n} N_i$ vectơ $M_{e_y}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$ xác định hàm chuyển mờ.

Bước 2: Xây dựng vùng phủ mờ trên tập nền I_S hay miền giá trị của hàm chuyển hướng $S(\bullet)$ bao gồm các số mờ:

$$M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = s_1 \odot M_{e_{y_1}}^{\nu_1} \oplus ... \oplus s_n \odot M_{e_{y_n}}^{\nu_n}, \tag{3.34}$$

$$\nu_i = \nu_{i\,\min},\ \nu_{i\,\min} + \Delta, ..., \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\,\max}, \quad i = 1, 2, ..., n.$$

Như vậy hàm chuyển mờ $\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e})$ mô tả bất kỳ số mờ nào trong số $\prod_{i=1}^{n} N_i$ số mờ $M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$ được xác định tại (3.34).

Bước 3: Chọn trước động học mờ của hàm chuyển mờ.

Việc điều khiển động học của hệ mờ trong quá trình của pha đạt đến mờ, có thể sử dụng ý tưởng chọn trước động học của hàm chuyển như [10, 18]. Như vậy tương tự như trường hợp rõ có thể chọn động học mờ mong muốn của hàm chuyển mờ như sau:

$$\underset{\sim d}{\dot{S}} = -K \odot \underset{\sim}{\mathrm{Sign}}(s), \tag{3.35}$$

trong đó : K là số dương,

$\underset{\sim}{\mathrm{Sign}}(s)$ là dương mờ với $S \in \mathrm{Support}(M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}) \cap S^+$,

$\underset{\sim}{\mathrm{Sign}}(s)$ là âm mờ với $S \in \mathrm{Support}(M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}) \cap S^-$,

với S^+ và S^- là phần dương và phần âm của tập nền I_S. Như vậy giả sử trên tập nền I_S có số mờ LR $M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$ đặc trưng cho hàm chuyển mờ $\underset{\sim}{S}(\underset{\sim y}{e})$, trên cơ sở (3.35) có thể chọn động học mờ có giá trị là số mờ LR đối với từng số mờ LR cụ thể như sau:

$$M_{\dot{S}_d}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = -K \odot M_S^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}. \tag{3.36}$$

Bổ đề 5. *Điều kiện* (3.36) *đảm bảo điều kiện đạt đến:* $S(e_y)\ \ S(\dot{e}_y) < 0$.

Chứng mnh. Xét các tập nền I_S và $I_{\dot{S}}$.

Từ điều kiện (3.35), (3.36) suy ra khi $I_S \subset R^+$ thì $I_{\dot{S}} \subset R^-$ và ngược lại. Như vậy đảm bảo điều kiện đạt đến $S(e_y)\dot{S}(e_y) < 0$. ■

Bước 4: Xác định điều khiển mờ.

Việc chọn trước động học mờ trong chế độ đạt đến mờ ở bước 3 tạo điều kiện cho việc xác định luật điều khiển mờ.

Từ (3.30) nếu thay $\underset{\sim y_n}{\dot{e}}$ bằng biểu thức sau:

$$\underset{\sim y_n}{\dot{e}} = \underset{\sim n}{\dot{x}} \ominus \underset{\sim n}{\dot{d}} \tag{3.37}$$

nhận được:

$$\underset{\sim}{\dot{S}}(\underset{\sim y}{e}) = s_1 \odot \underset{\sim y_2}{e} \oplus s_2 \odot \underset{\sim y_3}{e} \oplus ... \oplus s_{n-1} \odot \underset{\sim y_n}{e} \oplus s_n \odot (\underset{\sim n}{\dot{x}} \ominus \dot{d}_n) \tag{3.38}$$

Luật điều khiển mờ được tính toán sao cho động học trong chế độ đạt đến mờ mong muốn $\dot{\underset{\sim d}{S}}$ được xác định ở bước 3 đảm bảo thỏa mãn (3.36). Như vậy động học $\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e})$ ở biểu thức trên (3.38) phải được cân bằng với động học mong muốn $\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e})$. Từ đó:

$$\dot{\underset{\sim}{S}}(\underset{\sim y}{e}) = \dot{\underset{\sim d}{S}}(\underset{\sim y}{e}) \tag{3.39}$$

Sử dụng biến đổi số học mờ [6], biểu thức (3.39) kết hợp với (3.38) và các biểu thức (3.1) – (3.4) cho kết quả sau đây:

$$\dot{\underset{\sim n}{x}} = \dot{\underset{\sim n}{d}} \oplus \frac{1}{s_n} \odot \dot{\underset{\sim d}{S}}(\underset{\sim y}{e}) \ominus \frac{s_1}{s_n} \odot \underset{\sim y_2}{e} \ominus \frac{s_2}{s_n} \odot \underset{\sim y_3}{e} \ominus \ldots \ominus \frac{s_{n-1}}{s_n} \odot \underset{\sim y_n}{e} \tag{3.40}$$

Từ (3.1)–(3.4) động học mờ được cho bởi:

$$\dot{\underset{\sim n}{x}} = \underset{\sim}{a}(\underset{\sim}{y}) \oplus \underset{\sim}{b}(\underset{\sim}{y}) \odot \underset{\sim}{u} \tag{3.40a}$$

Cân bằng (3.40) và (3.40a), sau đó sử dụng các phép biến đổi số học mờ [6] nhận được biến điều khiển mờ:

$$\underset{\sim}{u} = [\,-\underset{\sim}{a}(\underset{\sim}{y}) \oplus \dot{\underset{\sim n}{d}} \oplus \frac{1}{s_n} \odot \dot{\underset{\sim d}{S}} \ominus \frac{s_1}{s_n} \odot \underset{\sim y_2}{e} \ominus \frac{s_2}{s_n} \odot \underset{\sim y_3}{e} \ominus \ldots \ominus \frac{s_{n-1}}{s_n} \odot \underset{\sim y_n}{e}\,] \oslash \underset{\sim}{b}(\underset{\sim}{y}) \tag{3.41}$$

Như vậy cơ sở luật điều khiển mờ bao gồm $\prod_{i=1}^{n} N_i$ luật điều khiển sau đây:

$R_u^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}$

IF x_1 is $M_{x_1}^{\nu_1}$ and ... and x_n is $M_{x_n}^{\nu_n}$ and S is $M_S^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}$

THEN u is $M_u^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}$

trong đó:

$$M_u^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)} =$$

$$[-M_a^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)} \oplus \dot{\underset{\sim n}{d}} \oplus \frac{1}{s_n} \odot M_{\dot{S}_d}^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)} \ominus \frac{s_2}{s_n} \odot M_{e_{y_3}}^{\nu_3} \ominus \ldots \ominus \frac{s_{n-1}}{s_n} \odot M_{e_{y_n}}^{\nu_n}] \oslash M_b^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}, \tag{3.42}$$

$$\nu_i = \nu_{i\,\min},\ \nu_{i\,\min} + \Delta, \ldots, \nu_{i\min} + N_i\Delta = \nu_{i\,\max}, \quad i = 1, 2, \ldots, n. \tag{3.43}$$

Bước 5: Giải mờ tìm điều khiển rõ.

Sử dụng phương pháp giải mờ trung bình trọng số thông thường (the weighted average defuzzification)

$$u(t) = \frac{\sum\limits_{\nu_1=\nu_{1\,\min}}^{\nu_{1\,\max}} \ldots \sum\limits_{\nu_n=\nu_{n\,\min}}^{\nu_{n\,\max}} \sup(.)\min(.)}{\min(.)}. \tag{3.44}$$

Ở đây:

$$\sup(.) = \sup_{u\in I_u} \mu_{M_u}^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)} = u_{\sup}^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}, \tag{3.44a}$$

$$\min(.) = \min(\mu_{M_{x1}}^{\nu_1}(x_1), \ldots, \mu_{M_{xn}}^{\nu_n}(x_n), \mu_{M_S}^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}) \tag{3.44b}$$

Lưu ý rằng có thể xem biểu thức (4.44a) là giá trị đầu vào điều khiển sao cho đạt được mức độ hàm thuộc lớn nhất trong số các giá trị điều khiển tương ứng với các hàm thuộc $M_u^{(\nu_1,\nu_2,\ldots,\nu_n)}(u)$.

4. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ

Qua những phân tích toán trên có thể xây dựng $\prod_{i=1}^{n} N_i$ luật mờ xuất phát từ các tổ hợp đầu vào mờ trên các tập nền I_{x_i} như sau:

$R_{y,A}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$: luật tính toán $\underset{\sim}{A}(\underset{\sim}{y})$

IF y is $M_y^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{x_1}^{\nu_1}, M_{x_2}^{\nu_2}, ..., M_{x_n}^{\nu_n}]^T$

THEN $A(y, f)$ is $M_A^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{a_1}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, M_{a_2}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, ..., M_{a_n}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}]^T$

$R_{y,B}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$: luật tính toán $\underset{\sim}{B}(\underset{\sim}{y})$

IF y is $M_y^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{x_1}^{\nu_1}, M_{x_2}^{\nu_2}, ..., M_{x_n}^{\nu_n}]^T$

THEN $B(y, f)$ is $M_B^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{b_1}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, M_{b_2}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}, ..., M_{b_n}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}]^T$

$R_{y,u}^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$: luật tính toán mức độ điều khiển

IF y is $M_y^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)} = [M_{x_1}^{\nu_1}, M_{x_2}^{\nu_2}, ..., M_{x_n}^{\nu_n}]^T$

THEN u is $M_u^{(\nu_1,\nu_2,...,\nu_n)}$.

Như vậy các luật (3.24)–(3.26) đòi hỏi khối lượng tính toán khá lớn. Để nâng cao khả năng suy luận và tính toán có thể sử dụng đại số gia tử [19, 20] theo định hướng như sau:

Bước 1: Trước hết xây dựng các phân hoạch mờ (fuzzy partition) trên các tập nền:

$I_{x_i}, I_y, I_A, I_B, I_{e_y}, I_S, I_{\dot{S}}, I_u$ có được từ (3.24) – (3.26).

Bước 2 : Chọn bộ tham số tính toán ban đầu trên phân hoạch mờ và áp các gia tử sao cho phù hợp với các phân đoạn Δ của các phân hoạch mờ có tại bước 1.

Bước 3 : Trên cơ sở các hệ luật (3.24)–(3.26) tính toán các hàm định lượng ngữ nghĩa lần lượt cho các phân hoạch mờ của các tập nền $I_{x_i}, I_y, I_A, I_B, I_{e_y}, I_S, I_{\dot{S}}, I_u$.

Bước 4 : Tối ưu hóa bộ tham số tính toán.

Bước 5 : Trở lại bước 2 với bộ tham số tối ưu ở bước 4.

5. KẾT LUẬN

Việc mở rộng quan điểm [1, 2] được hỗ trợ bằng phương tiện tính toán [6] với số mờ LR mở rộng, cho phép xây dựng và giải quyết bài toán điều khiển hệ phi tuyến với bất định. Tính mờ vừa có thể mô tả độ phức tạp, vừa có thể mô tả tính bất định trong các hệ động học.

Cách thiết kế điều khiển mờ trong chế độ trượt mờ là sự thử nghiệm bước đầu các kết quả [7, 22] trong tình huống mô hình mờ. Tuy nhiên giải pháp trên đòi hỏi nhiều tính toán số học mờ. Để nâng cao khả năng suy luận mờ, có thể sử dụng phương pháp (19, 20) đại số gia tử trong mô hình suy luận mờ. Trên cơ sở các bổ đề 1 – 5, bài toán đã được giải quyết đảm bảo các yêu cầu ổn định và bám theo quỹ đạo cho trước một cách tổng quát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Cao S.G., Rees N.W., and Feng G., Analysis and Design for a class of complex control systems. Part I: Fuzzy modelling and identification, *Automatica* **33** (5) (1997). Part II: Fuzzy controller Design, *Automatica* **33** (6) (1997).

[2] Cao S.G., Rees N.W., and Feng G., Analysis and Design of fuzzy control system using dynamic fuzzy-state-space model, *IEEE TR. Fuzzy Syst.* **7** (2) (1997).

[3] Chang Y.C., Robust tracking control for nonlinear MIMO system via fuzzy approaches, *Automatica* **36** (2000) 1535–1545.

[4] Cho Y. W., Park C.W., Kim J.H., and Park M., Indirect model reference adaptive fuzzy control of dynamic fuzzy-state-space model, *IEEE Proc. Control Theory Appl.* **148** (2001) 1273–1282.

[5] Dahled M.A., Diaz - Bobillo I.J., *Control of Uncertain Sysyems,* Prentice Hall 1985.

[6] Duboil D., Prade H., *Fuzzy Sets and Sysyems: Theory and Applications,* Academic Orlando, FL, 1980.

[7] Edwards C. and Spurgeon S.K., *Sliding Mode Control: Theory and Applications,* Taylor & Francis Ltd., 1998.

[8] Fang Y., Chow T.W.S, and Li X.D., Use of recurrent neural network in discrete sliding mode control, *IEEE Proc. Control Theory and Appl.* **146** (1) (1999) 84–90.

[9] Furuta K., Pan Y., Variable structure control with sliding sector, *Automatica* **36** (2000) 211–228.

[10] Ghalia M.B., Alonami A.T., A fuzzy variable structure Approach to feedback regulation of uncertain polynomical systems with Application to robotics, *Informatica Sciences* **85** (1995) 241–273.

[11] Hale J.K., *Ordinary differential equations* Prentice Hall 1969.

[12] Harris C. J., Moore C. G., and Brown M., *Intelligent Control: Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets,* World Scientific, Singapore 1993.

[13] Hung J. Y., Gao W., and Hung J.C., Variable structure control: A survey, *IEEE Tr. IE* **40** (1993) 2–22.

[14] Hwang C.L., Robust discrete variable structure control with finite-time approache to switching surface, *Automatica* **38** (2002) 167–175.

[15] Ioannou P.A., Sun J., *Robust Adaptive Control* Prentice Hall 1996.

[16] Iordanou H.N., Spurgenor B.W., Experimental evaluation of robustness of discetre sliding mode control versus linear quadratic control, *IEEE Transaction on control systems Technology* **5** (1997) 254–260.

[17] Li. S., Xi Y., Adaptive fuzzy sliding mode control for a class of uncertain dynamic systems, *Proceeding of the 3rd world congress on Intelligent control and Automation*, June 28 – July 2-1997, Hefei, P.R. China.

[18] Morgan G.R. and Zgner., A centrallized variable structure control algorithm for robotic manipulators, *IEEE J. Robotics Automation,* **1**(1985) 57–65.

[19] Nguyen Cat Ho, W.Wechler, Extended algebra and their application to fuzzy logic, *Fuzzy Sets and Systems* **52** (1992) 259–281.

[20] Nguyen Cat Ho, W.Wechler, An algebra approach to structures of sets of linguistic truth values, *Fuzzy Sets and Systems* **35** (1990) 281–293.

[21] Tzafestas S.G. and Venetsanopoulos A.N., *Fuzzy Reasoning in Information, Decision and Control Systems* Kluwer Academic Publishers 1984.

[22] Ulkin V.T., *Sliding Modes in Control and Applications,* Springer-Verlag 1992.

[23] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phu, Ước lượng nhiều mức trạng thái hệ động học tuyến tính mờ, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **16** (2000) 80–83.

[24] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phu, Thiết kế hệ mờ nhận dạng hệ thống tối ưu, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **34** (4) (2001) 12–19.

[25] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phu, Nguy ên l ý tách mô hình với luật IF-THEN và ứng dụng trong điều khiển hệ phi tuyến, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **18** (2002) 44–50.

[26] Yager R.R and Filer D.P., *Essentials of Fuzzy Modeling and Control,* Wiley InterScience, NewYork, 1994.

[27] Zadeh L.A., The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning: Part 1 and 2, *Information Science* **8**(1975); 198–249, **9** (1976) 43–80.

[28] Zhang X. and Man Z., A new fuzzy sliding mode control scheme, *Proceeding of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation*, June 28 – July 2, Hefei, P.R. China, 2000.

[29] Zinober A.S., *Deterministic Control of Uncertain Systems,* London U.K.: P.Peregrinus, 1990.

Nhận bài ngày 12 - 1 - 2002

Viện Công nghệ thông tin