

## ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO THÍCH NGHI BẰNG MÔ HÌNH MỜ

Lê Thị Thu Huyền<sup>\*</sup>, Vũ Thị Oanh, Bùi Thu Thảo  
*Trường ĐH Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên*

### TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một phương pháp điều khiển dự báo thích nghi ứng dụng trong các quá trình công nghiệp dựa trên bộ điều khiển GPC. Để cung cấp được thông tin chính xác về đối tượng phi tuyến ta sử dụng một bộ điều khiển thích nghi dựa trên mô hình mờ TS. Bộ điều khiển được sử dụng để điều khiển một hệ thống phi tuyến điều khiển mức chất lượng. Các tham số của bộ điều khiển được lựa chọn và tính toán với trường hợp khác với các nghiên cứu trước đây. Kết quả mô phỏng cho thấy khi sử dụng bộ điều khiển đã trình bày với các tham số trên thì đáp ứng đầu ra bám theo được lượng đặt mong muốn ngay cả khi xuất hiện nhiễu làm thay đổi thông số của đối tượng.

Từ khóa: *Dự báo, mô hình mờ, điều khiển dự báo*

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều khiển dự báo ra đời vào những năm 70 và kể từ đó đến nay phương pháp này đã phát triển đáng kể trong lĩnh vực nghiên cứu về điều khiển cũng như ứng dụng trong các quá trình công nghiệp. Về bản chất, phương pháp luận của điều khiển dự báo là cập nhật thông tin về đối tượng điều khiển tại các thời điểm rời rạc và giải bài toán tối ưu trên cơ sở mô hình dự báo để tính toán tín hiệu điều khiển cho khoảng thời gian giữa các thời điểm cập nhật kế tiếp nhau. Tín hiệu điều khiển được tính trên mô hình dự báo là để áp dụng cho các đối tượng thực nên để đảm bảo tính hiệu quả của tín hiệu điều khiển này thì điều khiển dự báo truyền thống đòi hỏi mô hình dự báo chính là mô hình chính xác của đối tượng điều khiển. Do vậy, điều khiển dự báo truyền thống cũng vẫn phải một nhược điểm tương tự điều khiển tối ưu là không áp dụng được với các đối tượng có mô hình phụ thuộc tham số không biết.

Sự phụ thuộc tham số không biết của mô hình đối tượng là điều không thể tránh khỏi trong nhiều ứng dụng thực tiễn, nên việc phát triển phương pháp điều khiển dự báo này cần được nghiên cứu. Tuy nhiên, tính bắt định của mô hình đối tượng không cho phép sử dụng trực tiếp mô hình đối tượng làm mô hình dự báo nên việc xây dựng mô hình dự báo là một

công việc đặc biệt quan trọng trong điều khiển dự báo cho đối tượng phi tuyến.

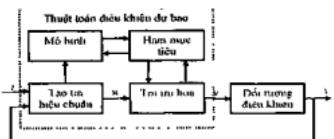
Một phương pháp hiệu quả để khắc phục khó khăn trên là sử dụng các bộ xấp xỉ mờ để tham số hóa lại mô hình đối tượng điều khiển sao cho các hàm số trong mô hình mới là tuyến tính với tham số bắt định và từ đó áp dụng phương pháp điều khiển thích nghi để tính toán tín hiệu điều khiển. Từ ý tưởng này bài báo đi nghiên cứu một bộ điều khiển dự báo thích nghi dựa trên mô hình mờ để điều khiển các đối tượng phi tuyến.

### TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO

Điều khiển dự báo theo mô hình (MPC – Mode Predictive Control) là một công cụ mạnh để điều khiển các quá trình trong công nghiệp, đặc biệt là các quá trình phi tuyến, nhiều vào – nhiều ra. Kể từ khi ra đời cách đây khoảng ba thập kỷ, phương pháp này đã phát triển đáng kể trong lĩnh vực nghiên cứu điều khiển cũng như ứng dụng trong công nghiệp. MPC là giải pháp tổng quát nhất cho thiết kế bộ điều khiển trong miền thời gian, có thể áp dụng cho hệ tuyến tính cũng như hệ phi tuyến, đặc biệt là khi tín hiệu đặt biết trước. Ngoài ra MPC cũng có thể điều khiển các quá trình có tín hiệu điều khiển bị chặn, có các điều kiện ràng buộc. Tuy nhiên, do sử dụng các điều kiện hạn chế, rất khó chứng minh tính ổn định và bền vững về mặt lý thuyết của hệ MPC, mặc dù hầu hết các ứng dụng được

<sup>\*</sup> Tel: 0915 812587, Email: lthuyen@ictu.edu.vn

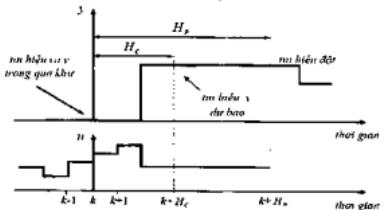
tổng kết đều cho thấy độ ổn định nhất định. Đây có thể nói là một trở ngại để MPC được phổ biến rộng rãi hơn trong lĩnh vực nghiên cứu về điều khiển. Mặc dù vậy, những kết quả mới đây hứa hẹn hiện nay cho phép chúng ta nghĩ đến việc mở rộng hơn nữa kỹ thuật điều khiển này trong tương lai.



Hình 1. Sơ đồ khái niệm hệ thống điều khiển dự báo

Các thuật toán MPC khác nhau chỉ không giống nhau ở mô hình toán học mô tả đối tượng/quá trình, nhiều và phiến hàm mục tiêu cần tối thiểu hóa. Do tính khả mờ của phương pháp MPC, nhiều công trình đã được phát triển và được thừa nhận rộng rãi trong công nghiệp và nghiên cứu. Thành công của các ứng dụng điều khiển dự báo không chỉ trong công nghiệp chế biến mà còn trong nhiều quá trình đa dạng khác, từ điều khiển robot cho đến gây mê lâm sàng (y học). Các ứng dụng MPC trong công nghiệp xi măng, tháp sấy, tháp chưng cất, công nghiệp PVC, máy phát hơi nước hay động cơ servo cũng đã được giới thiệu trong nhiều tài liệu khác nhau. Chất lượng tốt của các ứng dụng này cho thấy MPC có khả năng đạt được những hệ thống điều khiển hiệu quả cao, vận hành lâu dài và bền vững.

#### Nguyên tắc điều khiển dự báo:



Hình 2. Chiến lược điều khiển dự báo

Sử dụng một mô hình toán học để dự báo đầu ra của đối tượng/quá trình trong tương lai

$y(t+k|t)$  với  $k=1, \dots, H_p$  trong đó  $H_p$  được gọi là miền giới hạn dự báo (prediction horizon).

Chuỗi tín hiệu điều khiển tối ưu  $\{u(t), \dots, u(t+H_c)\}$  được tính toán thông qua việc tối thiểu hóa một phiến hàm mục tiêu. Phiến hàm này thường có dạng hàm bậc hai bao gồm bình phương sai lệch giữa tín hiệu đầu ra dự báo và quỹ đạo quy chiếu mong muốn cộng với bình phương chuỗi biến thiên tín hiệu điều khiển.

$$J = \sum_{k=t}^{H_p} \delta(k) [y(t+k) - w(t+k)]^2 + \sum_{k=t}^{H_c} \lambda(k) [\Delta u(t+k-1)]^2$$

Tín hiệu điều khiển  $u(t)$  được đưa tới đối tượng/quá trình trong khi các tín hiệu điều khiển còn lại trong chuỗi bị bỏ qua, bởi vì thời điểm lấy mẫu tiếp theo  $y(t+1)$  đã biết và bước 1 được lặp lại với giá trị mới này và toàn bộ các dữ liệu được cập nhật. [4],[5]

#### MÔ HÌNH MỞ TAKAGI – SUGENO

Xét một đối tượng phi tuyến được biểu diễn dưới dạng: [7]

$$y(k) = f \begin{bmatrix} y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y) \\ u(k-d-1), \dots, u(k-d-n_u) \end{bmatrix} + \zeta(k) \quad (1)$$

Đối tượng phi tuyến có thể được rời rạc hóa bằng mô hình TS được định nghĩa bởi luật mờ dưới đây:

$$\begin{array}{l} R_i: \text{IF } x_i(k) \text{ is } A_i \text{ AND } x_j(k) \text{ is } A_j \\ \text{THEN } y(k) = a_i(z^{-1})x(k-1) + b_i(z^{-1})u(k-d-1) + \zeta(k) \end{array} \quad (2)$$

Trong đó  $R_i (i=1, \dots, N)$  là luật mờ thứ  $i$ .  $N$  là số luật.

$$a(z^{-1}) = a_{1i} + a_{2i}z^{-1} + \dots + a_{n_i}z^{-(n_i-1)} \quad (3)$$

$$b(z^{-1}) = b_{1i} + b_{2i}z^{-1} + \dots + b_{n_i}z^{-(n_i-1)}$$

Từ (2) phương trình (1) được viết lại như sau:

$$y(k) = \sum_{i=1}^N \tilde{a}_i^T [x(k)] [a_i(z^{-1})x(k-1) + b_i(z^{-1})u(k-d-1)] \quad (4)$$

$$+ \zeta(k) = \sum_{i=1}^N \tilde{a}_i^T [x(k)] (\theta_i)^T x(k) + \zeta(k)$$

Hay có thể viết gọn:

$$y(k) = \Theta^T \Psi(k) + \zeta(k) \quad (5)$$

Trong đó:  $i = 1, \dots, N$

$$\mathbf{x}(k) = [x_1(k) \dots x_n(k)]^T \quad (6)$$

$$\bar{w}'[\mathbf{x}(k)] = \frac{\prod_{j=1}^n A'_j(x_j)}{\sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^n A'_j(x_j)} \quad (7)$$

$$\theta_i = [a_1, \dots, a_{n_y}, b_1, \dots, b_{n_u}]^T \quad (8)$$

$$\Theta = [\theta_1^T, \theta_2^T, \dots, \theta_N^T]^T \quad (9)$$

$$\mathbf{x}_e(k) = \begin{bmatrix} y(k-1), \dots, y(k-n_y), \\ u(k-d-1), \dots, u(k-d-n_u) \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

$$\Psi(k) = [\bar{w}'[\mathbf{x}(k)]\mathbf{x}_e^T(k), \dots, \bar{w}'^N[\mathbf{x}(k)]\mathbf{x}_e^T(k)]^T \quad (11)$$

Giả sử không tồn tại sai lệch mô hình thì ta viết (5) dưới dạng sau:

$$\hat{y}(k) = \sum_{i=1}^N \bar{w}'[\mathbf{x}(k)](\theta_i)^T \mathbf{x}_e(k) = \Theta^T(k)\Psi(k) \quad (12)$$

### LUẬT ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO

Giả sử mô hình (5) được viết dưới dạng sau:

$$\bar{a}(z^{-1})y(k) = \bar{b}(z^{-1})u(k-d-1) + \zeta(k) \quad (13)$$

Trong đó:

$$a(z^{-1}) = 1 - \bar{a}_1 - \bar{a}_2 z^{-1} - \dots - \bar{a}_{n_y} z^{-n_y} \quad (14)$$

$$b(z^{-1}) = \bar{b}_1 + \bar{b}_2 z^{-1} + \dots + \bar{b}_{n_u} z^{-(n_u-1)} \quad (15)$$

$$\bar{a}_j = \sum_{i=1}^c \bar{w}'[\mathbf{x}(k)]a_j, \quad (16)$$

$$\bar{b}_j = \sum_{i=1}^N \bar{w}'[\mathbf{x}(k)]b_j, \quad (17)$$

Luật điều khiển GPC thu được bằng cách cực tiểu hóa phiến hàm sau đây:

$$J(k) = \sum_{p=d+1}^{N_p} [\hat{y}(k+p|k) - r(k+p)^2] + \sum_{p=d+1}^{d+N_u} [q(z^{-1})\Delta u(k+p-d-1|k)]^2 \quad (18)$$

Trong đó  $\hat{y}(k+p|k)$  là đầu ra dự báo p bước trước thời điểm thứ k,  $r(k+p)$  là tín hiệu đặt tương lai trước p bước,  $\Delta = 1 - z^{-1}$  và

$$q(z^{-1}) = q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_{N_p+n_u-1} z^{-(N_p+n_u-1)}$$

là đa thức trọng lượng.  $N_p$  và  $N_u$  là khoảng dự báo đầu ra và khoảng dự báo điều khiển.

Dự báo tốt nhất của  $y(k+p|k)$  là:

$$\hat{y}(k+p|k) = f_p(z^{-1})y(k) + g_p(z^{-1})\Delta u(k+p-d-1) \quad (25)$$

Phương trình (25) được viết lại như sau:

$$y(k) = \mathbf{G}u(k) + \mathbf{F}(z^{-1})y(k) + \mathbf{L}(z^{-1}) \quad (26)$$

Trong đó:

$$y(k) = \begin{bmatrix} \hat{y}(k+d+1) \\ \hat{y}(k+d+2) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N_p) \end{bmatrix}, u(k) = \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \Delta u(k+1) \\ \vdots \\ \Delta u(k+N_u-1) \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{d+1}(z^{-1}) \\ f_{d+2}(z^{-1}) \\ \vdots \\ f_{N_p}(z^{-1}) \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_{d+1,0} & 0 & \cdots & 0 \\ g_{d+2,1} & g_{d+2,0} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N_p,N_p-1} & g_{N_p,N_p-2} & \cdots & g_{N_p,0} \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} [g_{d+1}(z^{-1}) - \bar{g}_{d+1}(z^{-1})]z\Delta u(k-1) \\ [g_{d+2}(z^{-1}) - \bar{g}_{d+2}(z^{-1})]z^2\Delta u(k-1) \\ \vdots \\ [g_{N_p}(z^{-1}) - \bar{g}_{N_p}(z^{-1})]z^{N_p}\Delta u(k-1) \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$\bar{g}_p(z^{-1}) = g_{p,0} + g_{p,1}z^{-1} + \dots + g_{p,p-d-1}z^{d+1-p}$$

Nghiệm của bài toán tối ưu (25) là:

$$\Delta u(k) = \mathbf{K}[\mathbf{R} - \mathbf{F}\hat{y}(k)] - \frac{\alpha}{\bar{g}}e(k) \quad (31)$$

### THÍCH NGHỊ THÔNG SỐ MÔ HÌNH

Để làm thích nghi thông số của mô hình mà TS sử dụng cho bộ điều khiển GPC thì luật thích nghi sau đây được giới thiệu:[7].

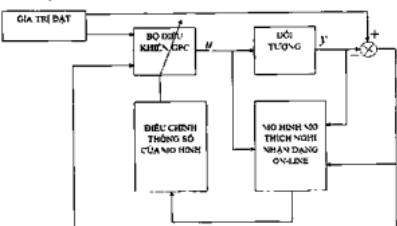
$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\Theta}(k-1) - \gamma \mathbf{K}\mathbf{F}\Psi(k)e(k) \quad (32)$$

Trong đó  $\gamma$  là hệ số thích nghi

### XÂY DỰNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN

Trong phần này một bộ điều khiển dự báo thích nghi bằng mô hình mờ được giới thiệu

cho một lớp các quá trình phi tuyến rời rạc. Bộ điều khiển quá trình dựa trên thuật toán GPC và sử dụng mô hình mờ TS thích nghi on-line. Một sơ đồ của bộ điều khiển dự báo thích nghi bằng mô hình mờ - AFGPC được thể hiện như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ điều khiển tổng quát hệ thống sử dụng bộ điều khiển AFGPC

Như chúng ta thấy ở hình 3, sơ đồ hệ thống điều khiển AFGPC bao gồm đối tượng, bộ điều khiển và mô hình mờ TS thích nghi.

Các bước thiết kế một bộ điều khiển dự báo thích nghi bằng mô hình mờ như sau:

Bước 1: Lựa chọn các thông số bộ điều khiển  $n_u, n_y, d, N_p, \lambda, \gamma, \alpha$  và  $\bar{g}$ .

Bước 2: Xây dựng các luật mờ cơ sở: các biến đầu vào, các hàm liên thuộc và các luật mờ.

Bước 3: Khởi tạo các thông số mô hình (5) (có thể bỏ qua các hiểu biết về đối tượng điều khiển) và khởi tạo  $u(0)$ .

Bước 4: Tính toán  $\bar{a}(z^{-1})$  và  $\bar{b}(z^{-1})$  sử dụng phương trình (14) và phương trình (15).

Bước 5: Tính toán tín hiệu điều khiển  $u(k)$  từ (31).

$$\Delta u(k) = \mathbf{K}[\mathbf{R} - \mathbf{F}\hat{y}(k)] - \frac{a}{\bar{g}}e(k)$$

Bước 6: Thích nghi các thông số mô hình TS ( $a_{ji}$  và  $b_{ji}$ ).

Bước 7: Quay lại bước 4.

#### THUẬT TOÁN AFGPC ĐIỀU KHIỂN MỨC CHẤT LÒNG

Trong phần này chúng ta sẽ đi xây dựng chi tiết thuật toán AFGPC để điều khiển quá trình

mức chất lỏng trong phòng thí nghiệm. Nó được biểu diễn như sau: [6], [7].

$$\begin{aligned} y(k) &= 0.9722y(k-1) + 0.3578u(k-1) - 0.1295u(k-2) \\ &- 0.04228y^2(k-2) + 0.1663y(k-2)u(k-2) \\ &- 0.3103y(k-1)u(k-1) - 0.03259y^2(k-1)y(k-2) \\ &- 0.3513y^2(k-1)u(k-2) + 0.3084y(k-1)y(k-2)u(k-2) \\ &+ 0.1087y(k-2)u(k-1)u(k-2) + v(k) \end{aligned}$$

Trong đó  $v(k)$  được coi là nhiễu ngoài.

#### Xây dựng bộ điều khiển AFGPC:

- Thông số bộ điều khiển AFGPC được lựa chọn như sau:

Lựa chọn thông số

+ Bậc của đầu ra  $n_y = 1$ . Từ đây ta có:

$$\begin{aligned} \bar{a}(z^{-1}) &= 1 - \bar{a}z^{-1} \\ \bar{a}(z^{-1}) &= (1 - z^{-1})\bar{a}(z^{-1}) = 1 - (\bar{a}_1 + 1)z^{-1} + \bar{a}_2z^{-2} \\ &= 1 - \bar{a}_1z^{-1} - \bar{a}_2z^{-2} \end{aligned} \quad (33)$$

Trong đó

$$\bar{a}_1 = \bar{a}_1 + 1$$

$$\bar{a}_2 = -\bar{a}_1$$

+ Bậc của đầu vào  $n_u = 2$ . Từ đây ta có:

$$\bar{b}(z^{-1}) = \bar{b}_1 + \bar{b}_2z^{-1} \quad (34)$$

+ Khoảng dự báo đầu ra  $N_p = 2$

Đa thức  $e_p(z^{-1})$  với  $p = 1, 2$  là:

$$\begin{cases} e_1(z^{-1}) = 1 \\ e_2(z^{-1}) = 1 + e_{2,1}z^{-1} \end{cases} \quad (35)$$

Đa thức  $f_p(z^{-1})$  với  $p = 1, 2$  là:

$$f_1(z^{-1}) = f_{10} + f_{11}z^{-1}$$

$$f_2(z^{-1}) = f_{20} + f_{21}z^{-1} \quad (36)$$

+ Các thông số còn lại được chọn:

$$d = 1; \lambda = 70; \gamma = 30;$$

$$\bar{g} = 1; \alpha = 0.06$$

- Các biến đầu vào của luật mờ được lựa chọn là:

$$x(k) = [y(k-1), u(k-1), u(k-2)]^T$$

Mỗi biến đầu vào đều bị giới hạn trong khoảng  $[-3, 3]$  và có ba hàm liên thuộc Gaussian, điều này có nghĩa là có tổng cộng

27 luật mờ  $N = 27$ . Thông số của ba hàm Gaussian được cho như sau:

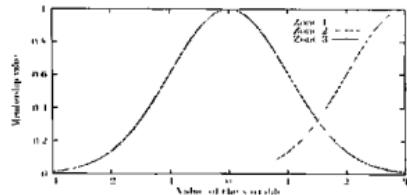
+ Gaussian 1:  $c_1 = -3$ ,  $\sigma_{c_1} = 0.9$

+ Gaussian 2:  $c_2 = 0$ ,  $\sigma_{c_2} = 0.9$

+ Gaussian 3:  $c_3 = 3$ ,  $\sigma_{c_3} = 0.9$

Trong đó hàm Gauss sử dụng có biểu thức:

$$f(x) = \exp(-0.5(x-c)^2 / \sigma^2)$$



Hình 4. Các hàm liên thuộc Gaussian của đầu vào

- Khởi tạo các thông số mô hình và tín hiệu điều khiển: tất cả các thông số ban đầu của đối tượng đều được khởi tạo ở giá trị 0.001, tín hiệu điều khiển cũng được khởi tạo bằng 0.001.

- Tính toán hệ số của các đa thức  $\bar{a}(z^{-1})$  và  $\bar{b}(z^{-1})$ , các ma trận F, G, K và tín hiệu điều khiển.

+ Đồi với đa thức  $\bar{a}(z^{-1})$  chúng ta chỉ phải tính hệ số  $\bar{a}_1$  theo công thức sau:

$$\bar{a}_1 = \sum_{i=1}^{27} \bar{\omega}'[x(k)] a_i,$$

+ Đồi với đa thức  $\bar{b}(z^{-1})$  chúng ta phải tính hệ số  $\bar{b}_1, \bar{b}_2$  theo công thức sau:

$$\bar{b}_1 = \sum_{i=1}^{27} \bar{\omega}'[x(k)] b_i,$$

$$\bar{b}_2 = \sum_{i=1}^{27} \bar{\omega}'[x(k)] b_{i+1},$$

+ Từ các hệ số này chúng ta dễ dàng tính được các ma trận F, G, K theo các phương trình (28), (29) và (30).

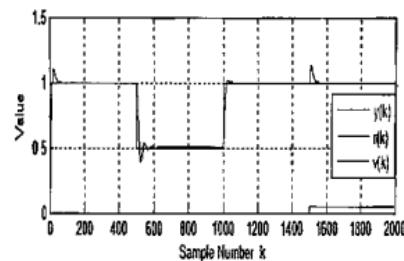
Tín hiệu điều khiển được đưa ra như sau:

$$u(k) = u(k-1) + K[R - F\hat{y}(k)] - \frac{\alpha}{g} e(k)$$

Sau khi đã tìm ra được tín hiệu điều khiển chúng ta sẽ update lại thông số đối tượng để thực hiện thích nghi mô hình mờ.

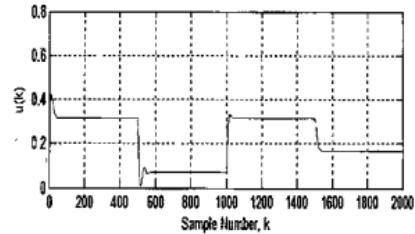
### KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Sau khi đã xây dựng được bộ điều khiển AFGPC điều khiển đối tượng phi tuyến nêu trên kết quả mô phỏng đáp ứng đầu ra, tín hiệu điều khiển  $u(k)$  và sai lệch điều khiển  $e(k)$  được trình bày lần lượt ở hình 5, hình 6 và hình 7. [3]



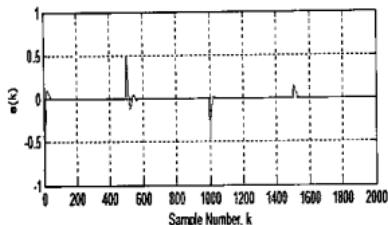
Hình 5. Đáp ứng đầu ra của đối tượng, lượng đặt và nhiễu

Tại thời điểm đầu tiên lượng đặt  $r(k)$  có giá trị 1, tại thời điểm trích mẫu thứ 500 thay đổi  $r(k)$  từ 1 xuống 0.5 và tại thời điểm trích mẫu thứ 1000 thì  $r(k)$  lại có giá trị 1. Nhìn vào đáp ứng đầu ra  $y(k)$ , ta thấy  $y(k)$  đã bám theo được giá trị đặt  $r(k)$  với khả năng bám rất tốt. Đặc biệt tại thời điểm trích mẫu thứ 1500 một giá trị nhiễu  $v(k) = 0.05$  xuất hiện ở đầu ra quá trình, tuy nhiên giá trị đầu ra  $y(k)$  chỉ bị đánh bật ra khỏi điểm đặt trong một thời gian ngắn sau đó nó nhanh chóng trở lại được giá trị đặt mong muốn. Điều này chứng tỏ bộ điều khiển AFGPC hoạt động tương đối hiệu quả ngay cả khi có nhiễu xuất hiện.



Hình 6. Tín hiệu điều khiển  $u(k)$

Tín hiệu điều khiển  $u(k)$  thay đổi khi giá trị đặt thay đổi để điều khiển được đưa ra bám theo được lượng đặt. Đặc biệt ở hình 6 chúng ta còn thấy, tại thời điểm trích mẫu thứ 1500 tín hiệu điều khiển cũng bị thay đổi do xuất hiện nhiễu, điều này cho thấy bộ điều khiển AFGPC rất nhạy với nhiễu bên ngoài.



Hình 7. Tín hiệu sai lệch  $e(k)$

Tín hiệu sai lệch của bộ điều khiển luôn được đưa về giá trị 0 trong khoảng thời gian hữu hạn và khi bị tác động giá trị  $e(k)$  không quá lớn như hình 7.

## KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày lý thuyết hoàn chỉnh của thuật toán điều khiển dự báo thích nghi dựa trên mô hình mờ dành cho lớp đối tượng phi tuyến:

- Xây dựng được mô hình thích nghi tham số trực tuyến trên cơ sở ước lượng tham số mô hình mờ cho đối tượng phi tuyến.

## SUMMARY

### PREDICTIVE CONTROL (GPC) WITH FUZZY MODEL

Le Thi Thu Huyen<sup>\*</sup>, Vu Thi Oanh, Bui Thu Thuy  
College of Information and Communication Technology - TNU

The paper proposes an adaptive fuzzy predictive control method for industrial processes, which is based on the Generalized predictive control (GPC) algorithm. To provide good accuracy in the identification of unknown nonlinear plants, an online adaptive law is proposed to adapt a T-S fuzzy model. It is demonstrated that the tracking error remains bounded. To validate the theoretical developments and to demonstrate the performance of the proposed control, the controller is applied on a simulated laboratory-scale liquid-level process. The parameters of the selected controller and calculate the other case with the previous studies. The simulation results show that the proposed method has good performance and disturbance rejection capacity in industrial processes.

**Keywords:** Generalized, fuzzy model, generalized predictive control (GPC) algorithm

Ngày nhận bài: 02/10/2015; Ngày phản biện: 25/11/2015; Ngày duyệt đăng: 15/3/2016

**Phản biện khoa học:** TS. Phan Đức Long – Trường Đại học Công nghệ Thông tin & Truyền thông - DHTN

\* Tel: 0915 812587, Email: lthuyen@ictu.edu.vn