

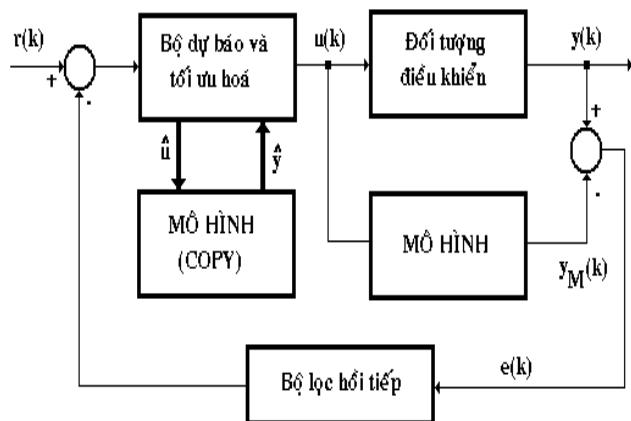
MỘT PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN TRONG HỆ ĐIỀU KHIỂN DỰ BÁO

Lại Khắc Lãi (Trường ĐH Kỹ thuật công nghiệp – ĐH Thái Nguyên)

1. Mở đầu

Lý thuyết điều khiển dự báo ra đời vào những năm 1960, song cho đến những năm 1980 phương pháp điều khiển này mới bắt đầu phát triển mạnh và trở thành một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng trong điều khiển tự động. Điều khiển dự báo theo mô hình (Model Predictive Control-MPC) là một trong những kỹ thuật điều khiển tiên tiến được nhiều người ưa chuộng nhất trong công nghiệp [1], có được điều này phần lớn là do khả năng triển khai các điều kiện ràng buộc vào thuật toán điều khiển một cách dễ dàng mà ở các phương pháp điều khiển kinh điển khác không có được.

Điều khiển dự báo là một phương pháp dựa trên mô hình của hệ thống thật để dự đoán trước các đáp ứng ở tương lai, trên cơ sở đó, một thuật toán tối ưu hóa hàm mục tiêu sẽ được sử dụng để tính toán chuỗi tín hiệu điều khiển sao cho sai lệch giữa đáp ứng dự báo và đáp ứng tham chiếu của mô hình là nhỏ nhất. Cấu trúc chung của hệ điều khiển dự báo được chỉ ra trên hình 1. Trong đó: $r(k)$ là tín hiệu tham chiếu của mô hình tại thời điểm k và chính là trạng thái đầu ra mong muốn của đối tượng điều khiển; $y(k)$ là tín hiệu đầu ra của hệ thống thực; $y_M(k)$ là đầu ra của mô hình; $u(k)$ là tín hiệu điều khiển đối tượng tại thời điểm k ; \hat{u} , \hat{y} là tín hiệu điều khiển dự báo và đầu ra dự báo tương ứng của hệ thống dựa trên cơ sở mô hình.



Hình 1: Cấu trúc chung hệ điều khiển dự báo

Kỹ thuật điều khiển dự báo được áp dụng một cách linh hoạt trong lĩnh vực điều khiển quá trình thông qua việc hiệu chỉnh cấu trúc bộ điều khiển phù hợp với đối tượng điều khiển đã cho theo các thông số ràng buộc và các yêu cầu hoạt động của hệ thống. Một bộ điều khiển dự báo bao gồm 5 thành phần cơ bản sau: Mô hình hệ thống và mô hình phân bố nhiễu; Hàm mục tiêu; Điều kiện ràng buộc; Phương pháp giải bài toán tối ưu hóa; Chiến lược điều khiển dịch dần về tương lai.

Khó khăn lớn nhất khi áp dụng điều khiển dự báo là xây dựng mô hình và giải bài toán tối ưu hóa. Đối với hệ thống phi tuyến thì công việc này càng khó khăn hơn do rất khó xây dựng được mô hình tốt mô tả chính xác tính chất của hệ thống và thuật toán tối ưu hóa thường phức tạp, số lượng phép tính lớn, thời gian thực hiện kéo dài do phải giải quyết bài toán tối ưu hóa phi tuyến. Chính vì vậy mà theo thống kê có trên 2200 ứng dụng thương mại sử dụng kỹ thuật điều khiển dự báo thì phần lớn trong số này đều tập trung vào các hệ thống tuyến tính. Vì vậy việc nghiên cứu và ứng dụng điều khiển dự báo cho các hệ thống phi tuyến đang được nhiều nhà khoa học quan tâm, nó có ý nghĩa lớn cả về lý thuyết và thực tiễn.

Đối với hệ thống động phi tuyến, mô hình được xây dựng theo hai cách: Mô hình vật lý hay mô hình hộp trắng và mô hình hộp đen hoặc hộp xám là mô hình sử dụng bộ xấp xỉ tổng quát và tập dữ liệu vào ra của hệ thống.

Mô hình vật lý chỉ thích hợp đối với các hệ thống đơn giản, và có thể mô tả tính chất của hệ thống bằng các phương trình vi phân, trong khi mô hình hộp đen hoặc hộp xám thích hợp cho các hệ thống phức tạp hoặc trường hợp không biết nhiều thông tin về hệ thống khi mô hình hóa. Do tính chất phức tạp của các hệ thống phi tuyến, nên trong thực tế dạng mô hình hộp đen và hộp xám thường được sử dụng nhiều hơn. Trong điều khiển dự báo, tiêu chuẩn quan trọng cho việc áp dụng kỹ thuật mô hình hóa hộp đen là: Cấu trúc mô hình đơn giản, tin cậy và cho phép khai thác triệt để lượng thông tin biết trước về hệ thống; mô hình không quá phức tạp, tức có lượng tham số không quá lớn; dễ dàng áp dụng thuật toán tối ưu hóa trực tuyến (on-line) để hiệu chỉnh các thông số mô hình.

Trong bài báo này, tác giả đề xuất một phương pháp xây dựng mô hình đối tượng phi tuyến sử dụng mô hình mờ Takagi-Sugeno

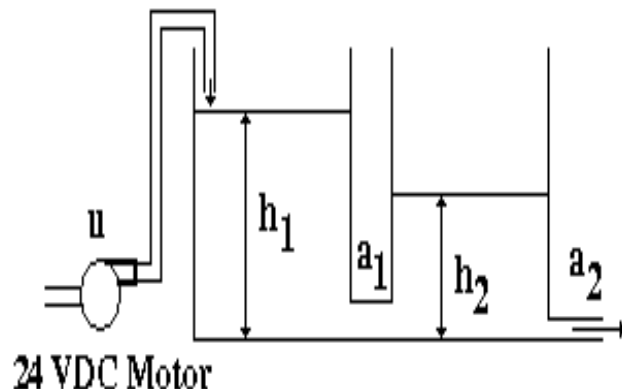
2. Xây dựng mô hình đối tượng bằng mô hình mờ Takagi-Sugeno

2.1. Đối tượng điều khiển

Xét đối tượng điều khiển là một hệ thống bể kép (hình 2) được mô tả bởi hệ phương trình:

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = \frac{1}{A} (ku - a_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}) \\ \dot{h}_2 = \frac{1}{A} (a_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - a_2 \sqrt{2gh_2}) \end{cases}$$

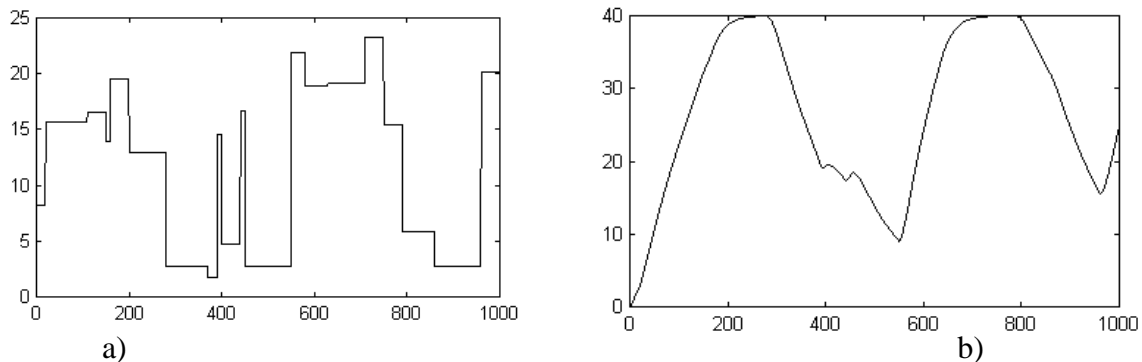
Trong đó: $A = 200\text{cm}^2$ là tiết diện ngang của 2 bể; $a_1 = 1\text{cm}^2$ là tiết diện ống nối giữa hai bể; $a_2 = 0.5\text{cm}^2$ là tiết diện ống thoát ở bể 2; $g = 9.8\text{m/s}^2 = 98\text{km/s}^2$ là gia tốc trọng trường; lưu lượng bơm cực đại của máy bơm $Q_{\max} = 18\text{dm}^3 / \text{min} = 300\text{cm}^3 / \text{s}$



Hình 2: Mô hình hệ thống bồn kép

Yêu cầu của bài toán điều khiển hệ thống là giữ cho mực chất lỏng trong bể hai bám theo một quỹ đạo tham chiếu cho trước.

Lưu lượng nước bơm vào bể thứ nhất được thể hiện ở thành phần $k.u$ trong đó u là điện áp điều khiển thay đổi từ 0 đến 24VDC, k là hệ số khuếch đại của máy bơm. Trong thực tế k là một hệ số phi tuyến phụ thuộc vào đặc tính của động cơ bơm. Để đơn giản, trong bài báo này chọn k là một hằng số khi đó lưu lượng nước bơm vào bể là tuyến tính theo điện áp u . Như vậy với lưu lượng cực đại $Q_{\max} = 300\text{cm}^3 / \text{s}$ thì $k = 12.5$.



Hình 3 a,b: Tín hiệu vào và tín hiệu ra của bồn kép

Với tập dữ liệu đầu vào bán ngẫu nhiên (hình 3a) đáp ứng đầu ra của hệ thống (mức nước h_2), có dạng như hình 3b. Quan sát đáp ứng hệ ta thấy: Quán tính của hệ thống lớn; hệ thống không đáp ứng với tín hiệu vào có độ thay đổi nhanh (tín hiệu điều khiển có tần số cao); tầm hoạt động của đầu ra từ 0 đến 40 cm do giới hạn vật lý của bể chứa.

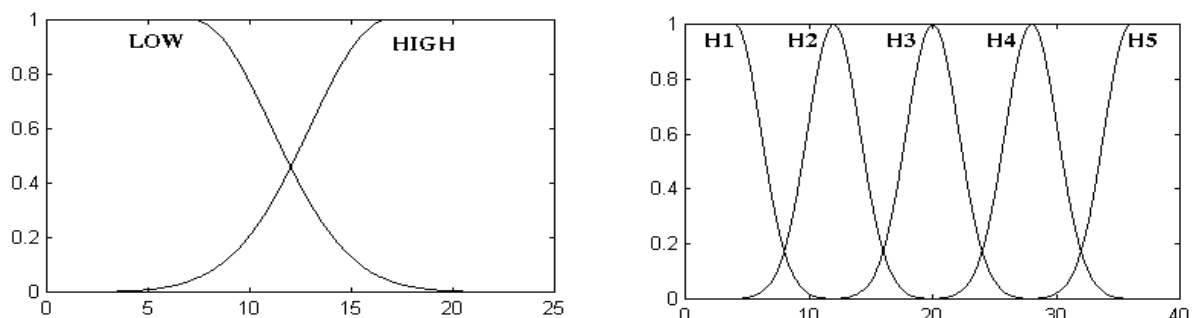
2.2. Xây dựng mô hình mờ

Sử dụng hệ mờ Takagi-Sugeno với hai đầu vào hồi quy là $u(k-1)$ và $h_2(k-1)$ và một đầu ra là $h_2(k)$ để mô tả cho hệ thống bể kép. Để thuận tiện cho việc kí hiệu, trong tập bài báo này chọn kí hiệu $h(k-1)$ thay cho $h_2(k-1)$ và $h(k)$ thay cho $h_2(k)$. Các ràng buộc trên tín hiệu vào ra:

$$0 \leq u(k) \leq 24$$

$$0 \leq h(k) \leq 40$$

- Chọn số tập mờ đầu vào $u(k-1)$ là 2, có dạng phân bố Gauss với hai tâm tại $c_1 = 7.2$ và $c_2 = 16.8$; phương sai $\sigma \approx 3.8$:



Hình 4: Tập mờ đầu vào $u(k-1)$ và ra $h(k-1)$

- Chọn số tập mờ đầu vào $h(k-1)$ là 5, có dạng phân bố Gauss với các tâm tại $c_1 = 4$, $c_2 = 12$, $c_3 = 20$, $c_4 = 28$ và $c_5 = 36$; phương sai $\sigma \approx 2$:

- Tập luật mờ tổng quát cho mô hình mờ Takagi-Sugeno có dạng:

R_j : Nếu $h(k-1)$ là $A_{j,1}$ và $u(k-1)$ là $A_{j,2}$ thì:

$$h_j(k) = w_{j,0} + w_{j,1}u(k-1) + w_{j,2}h(k-1)$$

Vì số tập mờ đầu vào $u(k-1)$ là 2 và số tập mờ đầu vào $h(k-1)$ là 5 nên có tối đa $2 \times 5 = 10$ luật mờ được xây dựng. Tức là $j = 1 \dots 10$. Như vậy ta cần xác định số lượng tham số cho mô hình là $3 \times 10 = 30$ tham số.

- Đầu ra của mô hình đối tượng điều khiển được tổng hợp như sau:

$$h(k) = \sum_{j=1}^{10} (w_{j,0} + w_{j,1}u(k-1) + w_{j,2}h(k-1)) \Phi_j([u, h], c_j, \sigma_j) \quad (1)$$

$$\text{Trong đó: } \Phi_j([u, h], c_j, \sigma_j) = \frac{\mu_j}{\sum_{j=1}^{10} \mu_j} \quad ; \quad \sum_{j=1}^{10} \Phi_j = 1 \quad (2)$$

μ_j là độ phụ thuộc của các tín hiệu hồi quy tại luật thứ j vào các tập mờ có dạng phân bố Gauss và có giá trị xác định bởi:

$$\mu_j = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(u(k-1) - c_{j,1})^2}{\sigma_{j,1}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(h(k-1) - c_{j,2})^2}{\sigma_{j,2}^2}\right)$$

c_j, σ_j là các trọng tâm và phương sai tương ứng của các tập mờ có giá trị như đã cho trong các tập mờ đầu vào ở phần trên.

2.3. Thuật toán nhận dạng tham số mô hình mờ Takagi-Sugeno

- Chọn tập dữ liệu nhận dạng các tham số mô hình gồm 2000 mẫu dữ liệu vào ra có dạng bán ngẫu nhiên theo hướng phủ toàn bộ vùng hoạt động có thể của hệ thống để phát huy tất cả các tính chất của các mô hình cục bộ. Tập dữ liệu có dạng:

$$\begin{aligned} \text{- Đặt: } \quad \theta_j &= [w_{j,0} \quad w_{j,1} \quad w_{j,2}]^T \\ \psi_j &= [1 \quad u(k-1) \quad h(k-1)]^T \end{aligned}$$

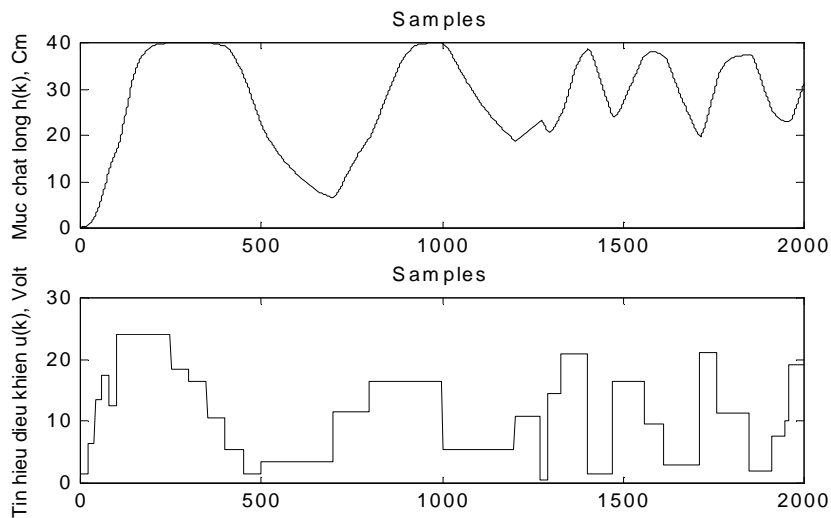
Sử dụng thuật toán LOLIMOT với tập dữ liệu nhận dạng như trên để nhận dạng các tham số của mô hình, ta được:

$$\theta_j = (\Psi_j^T Q_j \Psi_j)^{-1} \Psi_j^T Q_j h_d \quad (3)$$

với: $+ h_d = [h_d(1), h_d(2), \dots, h_d(2000)]^T$: Tập 2000 mẫu dữ liệu đầu ra nhận dạng.

$+ \Psi_j = [\psi_j(1), \psi_j(2), \dots, \psi_j(2000)]^T$: Ma trận các tín hiệu hồi quy đầu vào.

$+ Q_j = \text{diag}(\Phi_j([u(1), h(1)], c_j, \sigma_j), \dots, \Phi_j([u(2000), h(2000)], c_j, \sigma_j))$: là ma trận chéo khối và được gọi là ma trận trọng số đầu vào. Các thành phần $u(i), h(i), (i = 1 \dots 2000)$ là giá trị rời rạc của tập dữ liệu nhận dạng đã cho.



Hình 5: Tập mẫu dữ liệu nhận dạng

Kết quả của việc nhận dạng tham số mô hình theo công thức (3) ta sẽ xây dựng được một mô hình mờ TS hoàn chỉnh với 10 luật mờ để mô tả cho đối tượng điều khiển, các luật mờ được phát biểu chi tiết như sau:

R₁: Nếu h(k-1) là H1 và u(k-1) là LOW thì:

$$h_1(k) = 0.0023 + 0.0159u(k-1) + 0.9873h(k-1)$$

R₂: Nếu h(k-1) là H1 và u(k-1) là HIGH thì:

$$h_2(k) = 0.642 + 0.0068u(k-1) + 1.0115h(k-1)$$

R₃: Nếu h(k-1) là H2 và u(k-1) là LOW thì:

$$h_3(k) = 0.0048 + 0.0047u(k-1) + 0.9919h(k-1)$$

R₄: Nếu h(k-1) là H2 và u(k-1) là HIGH thì:

$$h_4(k) = 0.5609 - 0.0173u(k-1) + 1.005h(k-1)$$

R₅: Nếu h(k-1) là H3 và u(k-1) là LOW thì:

$$h_5(k) = -0.2142 + 0.0315u(k-1) + 0.9989h(k-1)$$

R₆: Nếu h(k-1) là H3 và u(k-1) là HIGH thì:

$$h_6(k) = -0.7215 + 0.0228u(k-1) + 1.0220h(k-1)$$

R₇: Nếu h(k-1) là H4 và u(k-1) là LOW thì:

$$h_7(k) = 0.0805 + 0.0189u(k-1) + 0.9881h(k-1)$$

R₈: Nếu $h(k-1)$ là H4 và $u(k-1)$ là HIGH thì:

$$h_8(k) = -0.5766 + 0.0264u(k-1) + 1.0111h(k-1)$$

R₉: Nếu $h(k-1)$ là H5 và $u(k-1)$ là LOW thì:

$$h_9(k) = -0.4922 + 0.0196u(k-1) + 0.0077h(k-1)$$

R₁₀: Nếu $h(k-1)$ là H5 và $u(k-1)$ là HIGH thì:

$$h_{10}(k) = 1.1091 + 0.0035u(k-1) + 0.9908h(k-1)$$

Đầu ra của mô hình mờ được tổng hợp theo công thức (1).

3. Kết quả mô phỏng:

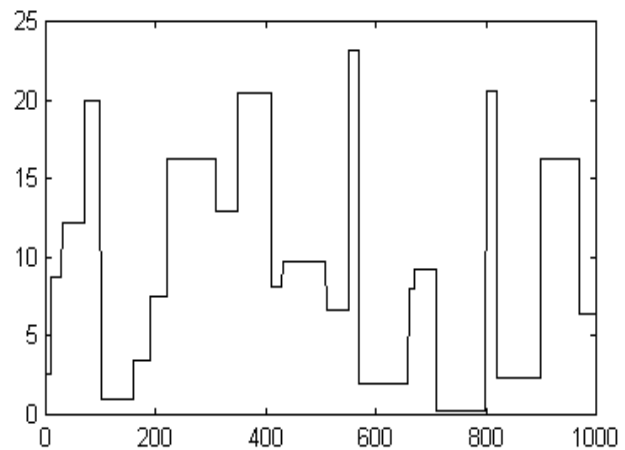
Chọn tập tín hiệu điều khiển đầu vào gồm 1000 mẫu bán ngẫu nhiên có dạng như hình 6. Mức độ chính xác của mô hình được tính theo công thức:

$$VAF = 100\% \left(1 - \frac{\text{var}(Y_m - Y)}{\text{var}(Y)} \right)$$

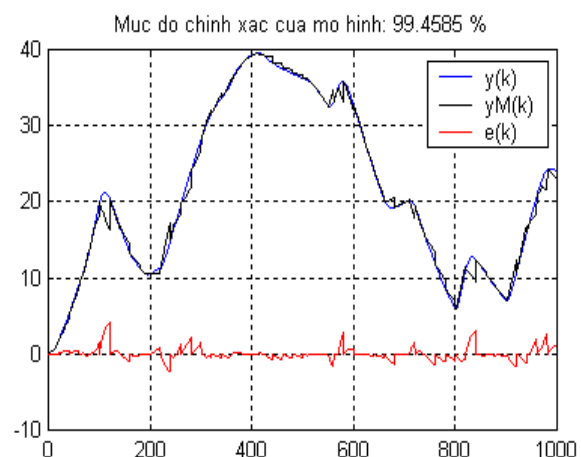
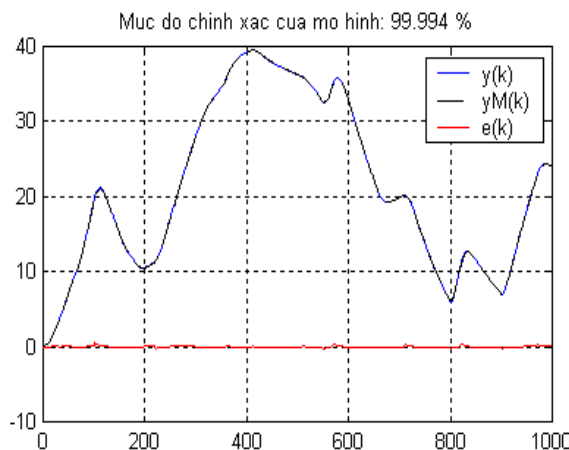
Y: là đầu ra của hệ thống và Y_m là đầu ra dự báo từ mô hình.

Đưa tập mẫu dữ liệu điều khiển vào đồng thời trên mô hình vừa nhận dạng được ở trên và đối tượng điều khiển, ta nhận được các kết quả như hình 7a,b và hình 8. Trong đó:

Hình 7a là kết quả dự báo một bước về phía trước; hình 7b là kết quả dự báo 20 bước về phía trước.




Hình 6: Tập mẫu dữ liệu điều khiển



Hình 7a,b : Kết quả dự báo một bước và dự báo 20 bước

4. Kết luận

Qua kết quả ở trên ta nhận thấy rằng: mặc dù vẫn còn xuất hiện sai số ở mô hình, đặc biệt là trong dự báo 20 bước về phía trước, nhưng mô hình trên hoàn toàn có thể áp dụng trong thuật toán điều khiển dự báo. Lý do chính vì trong thuật toán MPC, tầm dự báo luôn có giới hạn, khi tầm dự báo tăng sẽ dẫn đến tăng thời gian thực hiện thuật toán. Trong phạm vi bài báo này, tầm dự báo chỉ thay đổi trong khoảng từ 1 đến 20, tương ứng với mức độ chính xác của mô hình từ 99.9942% đến 99.5138% 

Tóm tắt

Điều khiển dự báo theo mô hình là một trong những kỹ thuật điều khiển tiên tiến được nhiều người ưa chuộng nhất trong công nghiệp. Trong hệ thống điều khiển dự báo, vấn đề xây dựng mô hình đối tượng có ý nghĩa quyết định đến chất lượng hệ điều khiển. Bài báo đề xuất một phương pháp xây dựng mô hình đối tượng phi tuyến sử dụng mô hình mờ Takagi-Sugeno. Các kết quả mô phỏng cho thấy độ chính xác và tính khả thi của mô hình.

Summary

Model Predictive Control-MPC is one of popular advanced technologies in industry. In predictive control system, the plan model decides the quality of control system. This article proposes a method of modelling non - linear plan, using Takagi-Sugeno model. The modelling results shows its the precise and possibility.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Joe Qin, Thomas A. Badgwell (2000), “An Overview of nonlinear Predictive Control Application” IEEE.
- [2]. Babuska, J.M Sousa, HB Verbrugen (2000), “Predictive Control of Nonlinear System Basic on Fuzzy and Neural Models” IEEE.
- [3]. Rolf Findeisen, Frank Allgower (2001), “An Introducton to nonlinear model Predictive Control” IEEE transaction on fuzzy System.