

## NHẬN DẠNG THAM SỐ MÔ HÌNH HỘP XÁM TUYẾN TÍNH PARAMETERS IDENTIFICATION OF LINEAR GREY BOX MODEL

*Trần Đình Khôi Quốc*  
*Đại học Đà Nẵng*

### TÓM TẮT

Nhận dạng mô hình hộp xám là dự đoán các tham số của mô hình trong đó người sử dụng biết trước một số thông tin về đối tượng. Bài báo này trình bày kỹ thuật xây dựng cấu trúc mô hình hộp xám tuyến tính cho việc dự đoán tham số qua công cụ nhận dạng của Matlab. Các tham số cần nhận dạng và các tham số đã biết được đưa vào mô hình hộp xám qua 2 vector độc lập để dễ dàng thay đổi lượng thông tin cung cấp cho mô hình. Bài báo cũng giới thiệu phương pháp nhận dạng mô hình hộp xám qua việc sử dụng trực tiếp hàm tối ưu *fmincon* trong Matlab. Gradient hàm mục tiêu được tính toán và cung cấp cho hàm tối ưu để tăng độ chính xác nhận dạng. Đánh giá hai phương pháp được thực hiện trên đối tượng bậc 2 đơn giản và trên động cơ không đồng bộ.

### ABSTRACT

The identification of grey box model is an estimate of the parameters of the model in which we know *a priori* some object information. This article presents the technique of building a grey box structure for estimating parameters by identifying a toolbox in MATLAB. Known and unknown parameters are transferred into the model by two separate vectors used in changing easily the information supplied to the model. This article also introduces another method of grey box model identification by using direct function of *fmincon* in MATLAB. The gradient of objective function is calculated and supplied to the optimization of function to increase the preciseness of identification. The evaluation of these two methods is realized on the 2<sup>nd</sup> order simple object and on the asynchronous motor.

### 1. Đặt vấn đề

Nhận dạng tham số của mô hình đối tượng có vai trò và ý nghĩa to lớn trong điều khiển tự động, là cơ sở cho việc tính chọn các bộ điều khiển hay phát hiện sự biến đổi thông số. Nhiều kỹ thuật nhận dạng đã và đang được phát triển như phương pháp bình phương bé nhất [1], phương pháp tập hợp hóa [3], phương pháp mô hình không tham số nhờ phân tích phổ tín hiệu [4], v.v... Trong bài toán nhận dạng mô hình có tham số, nhiều yếu tố ảnh hưởng đến kết quả nhận dạng như: mô hình nhận dạng, mô hình nhiễu, tín hiệu kích thích, v.v... Mô hình nhận dạng lại phụ thuộc vào việc chọn bậc của các đa thức đối với mô hình hàm truyền đạt, hay số chiều của các ma trận trạng thái đối với mô hình phương trình trạng thái. Như vậy, nếu người sử dụng hoàn toàn không có thông tin về đối tượng nhận dạng, thường gọi là **hộp đen**, thì việc nhận dạng rất khó khăn dẫn đến kết quả nhận dạng chứa các sai số do nhiều nguyên nhân khác nhau. Để minh họa, xét

một đối tượng dao động bậc 2 có mô tả toán học dưới dạng phương trình trạng thái tuyến tính gián đoạn tổng quát :

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= Ax_k + Bu_k \\ y_k &= Cx_k + Du_k\end{aligned}\quad (1)$$

trong đó 
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.01 \\ -0.01 & 0.992 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

Từ dữ liệu mô phỏng vào ra của đối tượng này với nhiễu 2% được thêm vào ngõ ra, sử dụng công cụ nhận dạng (identification toolbox) của Matlab, tác giả thu được kết quả:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 0.9526 & -0.1568 \\ 0.0125 & 1.0394 \end{bmatrix}; \hat{B} = \begin{bmatrix} 0.0307 \\ -0.0059 \end{bmatrix}; \hat{C} = \begin{bmatrix} 4.0245 \\ 20.628 \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

Mặc dù các hàm đánh giá của Matlab cho kết quả khá tốt (hàm tổn thất và PFE là  $6.1 \cdot 10^{-5}$ ) nhưng có thể nhận thấy mô hình nhận được trong (3) có sự sai khác rất lớn so với mô hình cần xác định của đối tượng trong (2). Nguyên nhân là do mô hình trạng thái của Matlab tự chọn khác với mô hình trạng thái do người sử dụng định nghĩa.

Một vấn đề được đặt ra là trong trường hợp người sử dụng đã biết một phần thông tin của đối tượng hay thông tin về mô tả toán học của mô hình đối tượng, làm thế nào cung cấp các thông tin này cho bài toán nhận dạng. Một kiểu mô hình đối tượng trong đó đã biết một phần thông tin được gọi là mô hình gần rõ, hay mô hình **hộp xám** (grey box model). Trong bài báo này, tác giả giới thiệu phương pháp xây dựng mô hình hộp xám để nhận dạng qua công cụ nhận dạng của Matlab, đồng thời xây dựng một phương pháp nhận dạng mô hình hộp xám qua các hàm tối ưu. Hai phương pháp này sẽ được ứng dụng để nhận dạng mô hình bậc 2 đơn giản trong (2) và mô hình tuyến tính của động cơ không đồng bộ.

## 2. Nhận dạng mô hình hộp xám qua công cụ nhận dạng của Matlab

Trong cấu trúc mô hình hộp xám có thông tin chưa biết và thông tin đã biết. Giả thiết đã biết trước số chiều của các ma trận trạng thái và giá trị của một vài số hạng trong các ma trận trạng thái. Các thành phần còn lại của ma trận là thông tin chưa biết cần nhận dạng. Quá trình nhận dạng mô hình hộp xám qua công cụ nhận dạng được thực hiện qua các bước sau:

*Bước 1:* Xây dựng cấu trúc mô hình hộp xám bằng dòng lệnh

$$[A, B, C, D, K, X0] = Mfilename(p, Ts, p\_apriori)$$

Các ma trận trạng thái A, B, C, D và K chứa các tham số chưa biết và đã biết. Đặt các tham số chưa biết trong vectơ  $p$ , các tham số đã biết trong vectơ  $p\_apriori$ .

*Bước 2:* Tạo mô hình ban đầu để nhận dạng mô hình hộp xám bằng lệnh

$$Minit = idgrey(Mfilename, p, 'd', p\_apriori, Ts)$$

*Bước 3:* Nhận dạng các tham số chưa biết bằng lệnh

$$Model = pem(data, Minit)$$

trong đó *data* là dữ liệu dùng cho nhận dạng.

Ví dụ sau đây sẽ trình bày cách xây dựng mô hình hộp xám cho đối tượng được mô tả trong (2). Giả sử mô hình (2) được viết lại trong (4), trong đó các số hạng trong dấu {} đã xác định, các thành phần còn lại là các tham số cần nhận dạng.

$$A = \begin{bmatrix} \{1\} & \{0.01\} \\ -0.01 & 0.992 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ \{0.1\} \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} \{1\} \\ \{0\} \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

Với giả thiết này  $p\_apriori = [1 \ 0.01 \ 0.1 \ 1 \ 0]^T$ ,  $p = [a_{21} \ a_{22} \ b_{11}]^T$ . Mô hình hộp xám được xây dựng qua m file *simple\_model* như sau:

$$[A,B,C,D,K,X0] = simple\_model(p, Ts, p\_apriori)$$

$$A=[p\_apriori(1) \ p\_apriori(2); p(1) \ p(2)];$$

$$B=[p(3); \ p\_apriori(3)];$$

$$C=[p\_apriori(4) \ p\_apriori(5)];$$

Sử dụng lệnh  $Minit = idgrey(simple\_model, p, 'd', p\_apriori, Ts)$  để tạo mô hình ban đầu, kết quả nhận dạng mô hình hộp xám trong (4) nhận được là :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0.01 \\ -0.0099 & 0.992 \end{bmatrix}; \hat{B} = \begin{bmatrix} 2.26 \cdot 10^{-5} \\ 0.1 \end{bmatrix}; \hat{C} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

So sánh kết quả nhận được trong (5) với mô hình chính xác trong (2) có thể nhận thấy các thành phần đã biết trong vectơ *p\_apriori* hoàn toàn được giữ nguyên trong kết quả nhận dạng. Các tham số chưa biết được dự đoán với độ chính xác rất cao. Ngoài ra, với việc xây dựng mô hình hộp xám qua 2 vectơ các tham số đã biết *p\_apriori* và chưa biết *p* như trên, ta có thể dễ dàng thay đổi số lượng các thông tin đã biết để cung cấp cho mô hình nhận dạng.

### 3. Nhận dạng mô hình hộp xám qua các hàm tối ưu của Matlab

Để kiểm chứng và đối chiếu kết quả nhận dạng ở trên, tác giả xây dựng một phương pháp nhận dạng mô hình hộp xám qua các hàm tối ưu của Matlab. Sử dụng mô hình sai lệch tín hiệu ra [1], hàm mục tiêu được xác định như sau:

$$f(p) = \sum_{k=1}^N e_k^2 = \sum_{k=1}^N [y_k^m - y_k(p)]^2 \quad (6)$$

trong đó *N* là chiều dài dữ liệu ;  $y_k(p)$  là tín hiệu ra của mô hình chứa vectơ các tham số *p* cần nhận dạng và  $y_k^m$  là tín hiệu ra đo lường được của đối tượng. Theo [1], vectơ tham số dự đoán là nghiệm của phương trình:

$$\hat{p} = \arg \min_p f(p) \quad (7)$$

Để giải bài toán (7), tác giả sử dụng hàm *fmincon* trong Matlab như sau:

$$\hat{p} = f \min \text{con}([f, g], p_0, \dots) \quad (8)$$

với  $g$  là đạo hàm của hàm mục tiêu theo các tham số  $p$ . Từ các định nghĩa này, tác giả xây dựng các bước để nhận dạng mô hình hộp xám bằng các hàm tối ưu của Matlab như sau:

*Bước 1:* Định nghĩa cấu trúc mô hình hộp xám trong  $m$  file qua các ma trận trạng thái A, B, C, D chứa vector các tham số chưa biết  $p$  và vector chứa các tham số đã biết  $p_{\text{apriori}}$ .

*Bước 2:* Xây dựng hàm mục tiêu theo (6)

*Bước 3:* Tính đạo hàm của hàm mục tiêu theo các tham số  $p$ .

$$g_i = \frac{\partial f(p)}{\partial p_i} = 2 \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial x_k}{\partial p_i} \right)^T C^T (Cx_k - y_k^m) \quad (9)$$

Để xác định  $\frac{\partial x_k}{\partial p_i}$ , đạo hàm theo tham số  $p_i$  của mô hình (1):

$$\frac{\partial x_{k+1}}{\partial p_i} = \frac{\partial A}{\partial p_i} x_k + A \frac{\partial x_k}{\partial p_i} + \frac{\partial B}{\partial p_i} u_k \quad (10)$$

Do đã biết trước cấu trúc mô hình hộp xám, thực hiện các phép tính  $\frac{\partial A}{\partial p_i}$  và  $\frac{\partial B}{\partial p_i}$  để tính biểu thức (10), từ đó tính được đạo hàm của hàm mục tiêu.

*Bước 4:* Xác định các tham số nhận dạng theo hàm  $fmincon$  trong (8), trong đó bắt tùy chọn  $gradobj$  để có kết quả nhận dạng chính xác.

#### 4. Ứng dụng nhận dạng tham số mô hình động cơ không đồng bộ

##### 4.1. Xây dựng mô hình hộp xám cho động cơ không đồng bộ

Hai phương pháp nhận dạng mô hình hộp xám trên đây được ứng dụng để nhận dạng tham số động cơ không đồng bộ. Theo [2], từ các phương trình cơ bản về quan hệ điện từ của động cơ không đồng bộ, chọn các biến trạng thái  $x = [\phi_{sd} \ \phi_{sq} \ i_{sd} \ i_{sq}]^T$ ; tín hiệu vào  $u = [u_{sd} \ u_{sq}]^T$ ; tín hiệu ra  $y = [i_{sd} \ i_{sq}]^T$ , các ma trận trạng thái mô tả động cơ không đồng bộ theo công thức tổng quát trong (1) như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 1 - p_1 T_s & 0 & p_5 T_s & K_\omega p_2 T_s \\ 0 & 1 - p_1 T_s & -K_\omega p_2 T_s & p_5 T_s \\ p_3 T_s & 0 & 1 - p_3 T_s & -K_\omega T_s \\ 0 & p_3 T_s & K_\omega T_s & 1 - p_3 T_s \end{bmatrix} \quad B = p_4 T_s \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

$$\text{với } p_1 = \frac{R_s + R_r}{\sigma L_s}, p_2 = \frac{L_r}{\sigma L_s}, p_3 = \frac{R_r}{L_r}, p_4 = \frac{1}{\sigma L_s}, p_5 = \frac{R_r}{\sigma L_s} \quad (12)$$

$R_s, L_s, R_r, L_r$  là điện trở, điện cảm tương ứng của stato và rôto;  $\sigma=1-L_r/L_s$ ;  $K_\omega = q\omega$  với  $q$  là số đôi cực và  $\omega$  là tốc độ quay của rôto. Giả sử trong quá trình thu nhận dữ liệu để nhận dạng, tốc độ động cơ không đổi nên  $K_\omega$  là hằng số.  $p$  là vectơ các tham số của mô hình tuyến tính cần nhận dạng. Tùy vào mức độ thông tin có được, có thể chuyển một số tham số  $p$  chưa biết thành tham số đã biết  $p_{apriori}$  để xây dựng mô hình hộp xám động cơ không đồng bộ theo (11).

**4.2. Kết quả nhận dạng**

Dữ liệu mô phỏng được tạo ra với các thông số như sau  $R_s=10$ ;  $L_s=0.38$ ;  $R_r=3.5$ ;  $L_r=0.3$ ;  $q=2$ ;  $\omega=1500$  và  $T_s=0.001$ . Nhiễu trắng có biên độ 2% được thêm vào ngõ ra. Các ma trận trạng thái cần tìm của mô hình động cơ theo công thức tổng quát ở (1) là :

$$A^* = \begin{bmatrix} 0.8313 & 0 & 0.0438 & 0.5890 \\ 0 & 0.8313 & -0.5890 & 0.0438 \\ 0.0117 & 0 & 0.9883 & -0.1571 \\ 0 & 0.0117 & 0.1571 & 0.9883 \end{bmatrix}; B^* = 0.0125 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; C^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

Giả sử cả 5 thành phần trong vectơ  $p$  đều chưa xác định. Thực hiện nhận dạng với 3 phương pháp trên cùng dữ liệu, kết quả nhận được cho trong bảng 1.

**Bảng 1.** Kết quả nhận dạng mô hình động cơ không đồng bộ qua 3 phương pháp

(i) Mô hình hộp đen; (ii) Mô hình hộp xám với công cụ nhận dạng; (iii) Mô hình hộp xám với hàm tối ưu

No	$\hat{A}$	$\hat{B}$	$\hat{C}$
(i)	$\begin{bmatrix} 0.7260 & 0.0611 & 0.1240 & 0.1675 \\ -0.3029 & 1.1250 & 0.3578 & 0.3144 \\ 0.0158 & -0.4902 & -0.1818 & -0.0265 \\ -0.0064 & -0.0954 & 0.4174 & 0.0833 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.1156 & -0.1156 \\ -0.3646 & -0.3646 \\ 1.6148 & 1.6148 \\ -1.3960 & -1.3960 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.4353 & 1.0585 \\ -0.8484 & -0.6801 \\ -0.0957 & -0.0964 \\ -0.0138 & -0.0249 \end{bmatrix}$
(ii)	$\begin{bmatrix} 0.8312 & 0 & 0.0434 & 0.5903 \\ 0 & 0.8312 & -0.5903 & 0.0434 \\ 0.0117 & 0 & 0.9884 & -0.1571 \\ 0 & 0.0117 & 0.1571 & 0.9884 \end{bmatrix}$	$0.0125 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^T$
(iii)	$\begin{bmatrix} 0.8312 & 0 & 0.0438 & 0.5889 \\ 0 & 0.8312 & -0.5889 & 0.0438 \\ 0.0117 & 0 & 0.9883 & -0.1571 \\ 0 & 0.0117 & 0.1571 & 0.9883 \end{bmatrix}$	$0.0125 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^T$

Các kết quả nhận dạng trong bảng 1 chứng tỏ với mô hình hộp đen (i), kết quả nhận dạng không thể chấp nhận được. Bằng việc cung cấp một số thông tin qua mô hình hộp xám, so sánh kết quả đạt được với mô hình chính xác của đối tượng trong (13) có thể nhận thấy phương pháp (ii) và (iii) mang lại kết quả nhận dạng có độ chính xác rất cao.

## 5. Kết luận

Qua việc xây dựng mô hình hộp xám cho công cụ nhận dạng của Matlab và ứng dụng các hàm tối ưu vào các mô hình hộp xám này, bài báo đã giới thiệu hai phương pháp nhận dạng cho các mô hình tuyến tính đã biết một phần thông tin, còn gọi là hộp xám. Kết quả nhận dạng đã chứng tỏ rằng khi xây dựng tốt cấu trúc của mô hình thì kết quả nhận dạng sẽ rất chính xác, tránh được các sai số do mô hình gây ra. Phương pháp nhận dạng mô hình hộp xám này có thể được ứng dụng để nhận dạng nhanh một đối tượng hay theo dõi sự biến đổi của một thông số nào đó trong mô hình.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Ljung, *System identification. Theory for the User*. Princetice Hall 1995.
- [2] G. Grellet, G. Clerc, *Actionneur électriques*. Eyrolle 1997.
- [3] Trần Đình Khôi Quốc, Xử lý dữ liệu nhóm cho phương pháp nhận dạng tập hợp cấu trúc êlip. *Tạp chí Tự động hóa ngày nay*, chuyên san tháng 12/2005.
- [4] Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh, *Nhận dạng hệ thống điều khiển*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật 2001.