

TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHI TUYẾN TRÊN CƠ SỞ LOGIC MỜ, MẠNG NƠ RON

LÊ HÙNG LÂN, NGUYỄN VĂN TIÊM

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các hệ thống điều khiển phi tuyến, người ta luôn nghiên cứu tìm ra những phương pháp điều khiển thích nghi nhằm nâng cao chất lượng điều khiển. Xu hướng sử dụng lý thuyết điều khiển hiện đại như logic mờ [1, 4, 6] và mạng nơ ron [7 - 8] để nhận dạng thành phần phi tuyến và tính toán lượng điều khiển để bù lại ảnh hưởng phi tuyến cũng được quan tâm. Các công trình [1, 4], cũng đã dựa trên việc tính toán nhận dạng phi tuyến thành từng phần tuyến tính, trên cơ sở đó tính toán hiệu chỉnh tham số PID. Trong [2 - 3], lại sử dụng nguyên lý giữ nguyên PID đồng thời thiết kế thêm mạch điều khiển bù trực tiếp. Bài báo này sẽ tổng hợp bộ điều khiển thích nghi trên cơ sở PID kết hợp với logic mờ, mạng nơ ron cho đối tượng phi tuyến có phần động học tuyến tính ở dạng tổng quát bậc n .

2. ĐẶT BÀI TOÁN

Trong thực tế điều khiển, các đối tượng điều khiển khi xét đến ảnh hưởng của các yếu tố như ma sát, điều kiện môi trường, nhiễu,... thì đa số các đối tượng điều khiển đều có bản chất phi tuyến. Xét một lớp đối tượng điều khiển có động học cơ bản của phần tuyến tính trong trường hợp tổng quát là khâu quán tính bậc n như sau:

$$P(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{c}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + a_{n-2}s^{n-2} + \dots + a_1s + a_0}, \quad (1)$$

với phần tuyến tính (1), người ta thường sử dụng bộ điều khiển PID ở dạng (2):

$$u_{PID}(t) = u_0(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \dot{e}(t) + k_{D_2} \ddot{e}(t) + \dots + k_{D_{n-1}} e^{(n-1)}(t). \quad (2)$$

Thực tế đối tượng điều khiển phải được mô tả bằng mô hình bất định sau:

$$y^{(n)}(t) = -a_{n-1}y^{(n-1)}(t) - a_{n-2}y^{(n-2)}(t) - \dots - a_1\dot{y}(t) - a_0y(t) + cu(t) + c[f(y(t), \dot{y}(t), \ddot{y}(t), \dots, y^{(n-1)}(t)) + d(t)], \quad (3)$$

trong đó $f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)})$ là thành phần phi tuyến và ta giả thiết là hàm phi tuyến trơn (có đạo hàm); $d(t)$ là nhiễu tác động vào hệ thống, đây là thành phần ngẫu nhiên không biết trước.

Như vậy đối tượng (3) bao gồm sự có mặt đầy đủ của động học phần tuyến tính (1), phần phi tuyến và nhiễu. Khi tác động của phi tuyến và nhiễu còn yếu thì có thể sử dụng bộ điều khiển (2). Khi có nhiễu và phi tuyến tác động mạnh vào hệ thống thì bộ điều khiển (2) không đáp ứng được chất lượng điều khiển. Vấn đề đặt ra là phải thiết kế bộ điều khiển thích nghi để nâng cao chất lượng HTĐK (hệ thống điều khiển). Tiếp theo chúng tôi sẽ đưa ra hai phương án thiết kế tổng hợp bộ điều khiển thích nghi dựa trên cơ sở logic mờ, mạng nơ ron.

2. TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN TRÊN CƠ SỞ LOGIC MỜ

Các bước tiến hành như sau

- Bước 1: Tìm tham số PID của (2) cho phần tuyến tính của đối tượng (1) bằng các phương pháp đã biết.
- Bước 2: Xây dựng bộ đánh giá TSK và thiết kế bổ sung mạch điều khiển dựa trên bộ đánh giá TSK.

2.1. Xấp xỉ phần phi tuyến bằng bộ đánh giá TSK

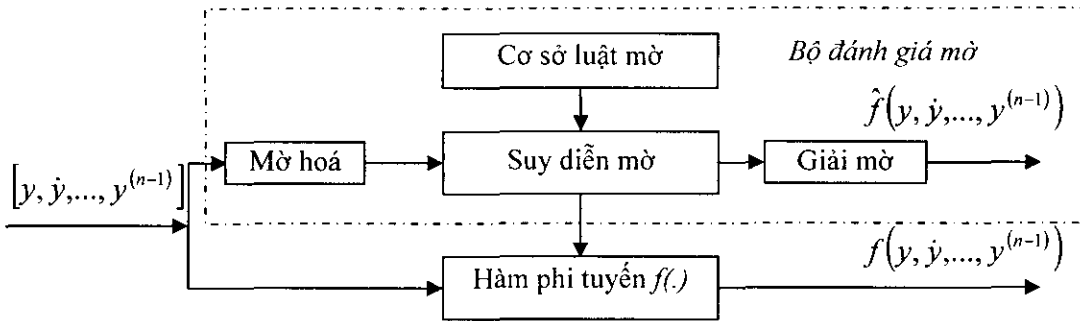
Theo giả thiết ở trên thì $f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)})$ có đạo hàm và có khả năng tuyến tính hoá từng đoạn. Khi đó mô hình mờ TSK sau là thích hợp để mô tả hàm $f(\cdot)$:

$$R_i: \text{IF } y \text{ is } A_i \text{ AND } \dot{y} \text{ is } B_{1,i} \text{ AND } \dots y^{(n-1)} \text{ is } B_{n-1,i} \\ \text{THEN } f_i = s_{n-1,i}y^{(n-1)} + s_{n-2,i}y^{(n-2)} + \dots + s_{1,i}\dot{y} + t_i y + v_i; \quad i = 1, 2, \dots, M,$$

nếu sử dụng bộ mờ hoá singleton và bộ giải mờ trung bình trọng tâm thì hàm truyền phi tuyến $f(\cdot)$ có thể xấp xỉ với độ chính xác bất kỳ bằng đánh giá:

$$\hat{f}(\cdot) = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_i f_i}{\sum_{i=1}^M \mu_i}, \quad (4)$$

trong đó μ_i là độ tin cậy của luật thứ i , (có thể được tính bằng $\min\{\mu_i^A, \mu_{1,i}^B, \dots, \mu_{n-1,i}^B\}$, hay tích $\{\mu_i^A \cdot \mu_{1,i}^B \cdot \dots \cdot \mu_{n-1,i}^B\}$). Mô hình mờ xấp xỉ hàm phi tuyến như hình 1.



Hình 1. Mô hình mờ xấp xỉ hàm phi tuyến $f(\cdot)$

Khi đó ta viết lại (4) như sau:

$$\hat{f}(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}) = \phi^T(t) \theta(t), \quad (5)$$

trong đó:

$$\phi^T(t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \mu_i} [\mu_1 \psi^T(t) \quad \mu_2 \psi^T(t) \quad \dots \quad \mu_M \psi^T(t)], \quad \psi^T(t) = [y^{(n-1)}(t) \quad \dots \quad \dot{y}(t) \quad y(t) \quad 1],$$

các tham số chưa biết:

$$\theta(t) = [\theta_1(t) \quad \theta_2(t) \quad \dots \quad \theta_M(t)]; \quad \theta_i(t) = [s_{n-1,i} \quad s_{n-2,i} \quad \dots \quad s_{1,i} \quad t_i \quad v_i].$$

2.2. Điều khiển thích nghi kết hợp với PID

Với đối tượng (3) ta xây dựng luật điều khiển như sau:

$$u(t) = \frac{1}{c}(d_1(t) + u_{PID}(t)) - \hat{f}(y(t), \dot{y}(t), \dots, y^{(n-1)}(t)) - f_{bu}(t), \quad (6)$$

trong đó $d_1 = y_d^{(n)}(t) + a_{n-1}y_d^{(n-1)}(t) + \dots + a_1\dot{y}_d(t) + a_0y_d(t)$.

Thay (6) vào (3) ta được: $y^{(n)}(t) = -a_{n-1}y^{(n-1)}(t) - a_{n-2}y^{(n-2)}(t) - \dots - a_1\dot{y}(t) - a_0y(t) +$

$$\begin{aligned} & c \left[\frac{1}{c} (y_d^{(n)}(t) + a_{n-1}y_d^{(n-1)}(t) + \dots + a_1\dot{y}_d(t) + a_0y_d(t) + u_{PID}(t)) - \hat{f}(\cdot) - f_{bu}(t) \right] + c(f(\cdot) + d(t)) \\ & \Leftrightarrow y_d^{(n)}(t) - y^{(n)}(t) + a_{n-1}(y_d^{(n-1)}(t) - y^{(n-1)}(t)) + \dots + a_1(\dot{y}_d(t) - \dot{y}(t)) + a_0(y_d(t) - y(t)) = \\ & \quad -u_{PID}(t) - c(f(\cdot) - \hat{f}(\cdot)) - c(d(t) - f_{bu}(t)). \end{aligned} \quad (7)$$

Định nghĩa sai số bám:

$$e(t) = y_d(t) - y(t), \quad (8)$$

trong đó $y_d(t)$ là quỹ đạo đặt điều khiển mong muốn. Từ (8) và (7) ta có:

$$\begin{aligned} & e^{(n)}(t) + a_{n-1}e^{(n-1)}(t) + a_{n-2}e^{(n-2)}(t) + \dots + a_1\dot{e}(t) + a_0e(t) + \\ & k_p e(t) + k_I \int e(t)dt + k_{D_1}\dot{e}(t) + k_{D_2}\ddot{e}(t) + \dots + k_{D_{n-1}}e^{(n-1)}(t) = -c(f(\cdot) - \hat{f}(\cdot)) - c(d(t) - f_{bu}(t)) \\ & \Leftrightarrow e^{(n)}(t) + (k_{D_{n-1}} + a_{n-1})e^{(n-1)}(t) + (k_{D_{n-2}} + a_{n-2})e^{(n-2)}(t) + \dots + (k_{D_1} + a_1)\dot{e}(t) + \\ & \quad + (k_p + a_0)e(t) + k_I \int e(t)dt = -c(f(\cdot) - \hat{f}(\cdot)) - c(d(t) - f_{bu}(t)). \end{aligned} \quad (9)$$

Định nghĩa véc tơ sai số bám:

$$E(t) = \left[\int e(t)dt \quad e(t) \quad \dot{e}(t) \quad \ddot{e}(t) \quad \dots \quad e^{(n-1)}(t) \right]^T \quad (10)$$

và sai số đánh giá:

$$\theta_e(t) = \theta^*(t) - \theta(t). \quad (11)$$

Khi đó có thể viết lại phương trình (9) ở dạng sau:

$$\dot{E}(t) = A_e E + B_f + B_d - B_c F_{bu}, \quad (12)$$

với:
$$A_e = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ (-k_I) & (-k_p - a_0) & (-k_{D_1} - a_1) & (-k_{D_2} - a_2) & \dots & (-k_{D_{n-1}} - a_{n-1}) \end{bmatrix};$$

$$B_f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -c(f(.) - \hat{f}(.)) \end{bmatrix}; B_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -cd \end{bmatrix}; B_c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -c \end{bmatrix}.$$

Trong phương trình Lyapunov:

$$A_e^T P + P A_e = -Q; \quad (13)$$

P, Q là ma trận đối xứng xác định dương, thỏa mãn (13) thì hệ thống ổn định, chẳng hạn:

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdot & \cdot & p_{1,n+1} \\ p_{21} & p_{22} & \cdot & \cdot & p_{2,n+1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{n+1,1} & p_{n+1,2} & \cdot & \cdot & p_{n+1,n+1} \end{bmatrix}; Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & q_{22} & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & q_{n+1,n+1} \end{bmatrix};$$

$$q_{ii} > 0, i = 1, 2, \dots, n+1.$$

Ta chọn luật thích nghi cho bộ đánh giá mờ TSK:

$$\dot{\theta}(t) = -\theta_e(t) = c\gamma\phi(t)P_{n+1}E; \gamma > 0. \quad (14)$$

$$\text{Thành phần bù nhiễu: } f_{bu} = -(D^u + \varepsilon)\text{sign}(P_{n+1}E), \quad (15)$$

$$\text{với các giới hạn: } |d(t)| \leq D^u; |f(.) - \hat{f}_{opt}(.)| \leq \varepsilon. \quad (16)$$

Trong (16) D^u là một hệ số dương, ý nghĩa của nó chính là giới hạn trên của nhiễu tác động vào hệ thống; ε là một hệ số, nó chính là sai số yêu cầu khi tính toán nhận dạng thành phần phi tuyến. Trên thực tế cần phải có giới hạn về nhiễu và sai số nhận dạng mong muốn.

Định lý 1. Hệ thống điều khiển (1-3) với các luật (6), (14-15) là ổn định tiệm cận.

Chứng minh

Chọn hàm Lyapunov xác định dương:

$$V(E, \theta_e) = \frac{1}{2} E^T P E + \frac{1}{2\gamma} \theta_e^T \theta_e; \gamma > 0. \quad (17)$$

Lấy đạo hàm (17), ta có:

$$\dot{V}(E, \theta_e) = \frac{1}{2} (\dot{E}^T P E + E^T P \dot{E}) + \frac{1}{2\gamma} (\dot{\theta}_e^T \theta_e + \theta_e^T \dot{\theta}_e) = \frac{1}{2} (\dot{E}^T P E + E^T P \dot{E}) + \frac{1}{\gamma} \theta_e^T \dot{\theta}_e$$

3. TỔNG HỢP THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN BẰNG KỸ THUẬT KẾT HỢP PID VÀ MẠNG NƠ RON RBF

Các bước tiến hành

- Bước 1: Tìm tham số PID của (2) cho phần tuyến tính của đối tượng (1) bằng các phương pháp đã biết.
- Bước 2: Xây dựng bộ đánh giá RBF và thiết kế bổ sung mạch điều khiển dựa trên bộ đánh giá RBF.

3.1. Xấp xỉ phần phi tuyến bằng bộ đánh giá RBF

Giả thiết rằng các trạng thái hệ thống $Y = [y \quad \dot{y} \quad \ddot{y} \quad \dots \quad y^{(n-1)}]^T$ nằm trên tập compact $\Omega \in R^n$ (trong trường hợp tổng quát). Mục tiêu điều khiển là đưa y bám theo quỹ đạo mong muốn y_d .

Định nghĩa sai số bám $e(t) = y_d(t) - y(t)$, ta có thể viết lại (3) như sau:

$$e^{(n)} = -a_{n-1}e^{(n-1)} - a_{n-2}e^{(n-2)} - \dots - a_1\dot{e} - a_0e - cu - c[f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + d + \dot{d}_1], \quad (24)$$

với

$$d_1 = -\frac{1}{c}y_d^{(n)} - \frac{a_{n-1}}{c}y_d^{(n-1)} - \frac{a_{n-2}}{c}y_d^{(n-2)} - \dots - \frac{a_1}{c}\dot{y}_d - \frac{a_0}{c}y_d. \quad (25)$$

Vì $f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)})$ là hàm phi tuyến tron nên có thể áp dụng mạng xuyên tâm - RBFN (Radial Basic Function network) để xấp xỉ với giả thiết có đủ số hàm cơ sở $\phi(\cdot)$ trên tập compact: $\Omega = \{Y \| Y_d - Y \| \leq M\}$; $Y_d = [y_d \quad \dot{y}_d \quad \ddot{y}_d \quad \dots \quad y_d^{(n-1)}]^T$;

$$f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)}) = \sum_{i=1}^m \omega_i^* \phi_i(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + \varepsilon, \quad (26)$$

trong đó: ω_i^* là các trọng số “lí tưởng”, ε là sai số xấp xỉ thoả mãn $|\varepsilon| \leq \varepsilon_M$, c_i là véctor n chiều thể hiện trọng tâm hàm cơ sở thứ i , σ_i là phương sai thể hiện chiều rộng của hàm cơ sở.

Nói chung các trọng số lí tưởng ω_i^* không biết và cần đánh giá trong thiết kế bộ điều khiển. Cần lưu ý là tập Ω và hằng số giới hạn ε_M có thể lớn tùy ý.

3.2. Điều khiển thích nghi kết hợp với PID

Bằng cách đặt biến trạng thái hệ thống

$$z = \left[\int_0^t e(\tau) d\tau \quad e \quad \dot{e} \quad \ddot{e} \quad \dots \quad e^{(n-1)} \right]^T, \quad (27)$$

từ (24) ta có mô hình trạng thái tương đương:

$$\dot{z} = Az + Bu + B[f(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n-1)}) + d + d_1] \quad (28)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & -a_0 & -a_1 & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -c \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Khi tác động phi tuyến và nhiễu còn yếu có thể sử dụng bộ điều khiển PID chuẩn ban đầu (2):

$$u_0 = K_0^T z, \quad (30)$$

trong đó:

$$K_0^T = [k_I \quad k_P \quad k_{D_1} \quad k_{D_2} \quad \dots \quad k_{D_{n-1}}]. \quad (31)$$

Để thiết kế bổ sung mạch thích nghi ta chọn siêu mặt trượt sau:

$$s(t) = K_0^T z, \quad (32)$$

khi đó:

$$\dot{s} = K_0^T \dot{z} = K_0^T (Az + Bu + B(f(\cdot) + d + d_1)). \quad (33)$$

Nếu ta chọn luật điều khiển như sau:

$$u = ku_0 + u_{fd} + u_{ad}, \quad (34)$$

trong đó: u_{fd} là tín hiệu điều khiển phản hồi, u_{ad} là tín hiệu điều khiển thích nghi, thì:

$$\dot{s} = (K_0^T B d_1 + K_0^T A z + K_0^T B u_{fd}) + k K_0^T B s + (K_0^T B u_{ad} + K_0^T B (f(\cdot) + d)). \quad (35)$$

Đặt:

$$u_{ad} = -\hat{f}(\cdot) + \hat{\theta}.sign(s) + \bar{d}_M.sign(s) \quad (36)$$

với $\bar{d}_M = d_M + \eta$, $\eta > 0$ bất kỳ, $\hat{f}(\cdot)$ là đánh giá ước lượng của $f(\cdot)$ và để ý đến quan hệ: $f(\cdot) = f^*(\cdot) + \varepsilon$ ta có thể biến đổi thành phần thứ ba của biểu thức (35) như sau:

$$\begin{aligned} K_0^T B u_{ad} + K_0^T B f(\cdot) + K_0^T B d &= K_0^T B (-\hat{f}(\cdot) + \hat{\theta}.sign(s) + \bar{d}_M.sign(s)) + K_0^T B (f^*(\cdot) + \varepsilon) + K_0^T B d \\ &= -K_0^T B (\hat{f}(\cdot) - f^*(\cdot)) + K_0^T B (\varepsilon + \hat{\theta}.sign(s)) + K_0^T B (d + \bar{d}_M.sign(s)) \end{aligned} \quad (37)$$

khi đó, nếu tiếp tục đặt:

$$u_{fd} = -d_1 - [K_0^T B]^{-1} K_0^T A z \quad (38)$$

thì cuối cùng ta sẽ có:

$$\begin{aligned} \dot{s} &= K_0^T B d_1 + K_0^T A z + K_0^T B (-d_1 - [K_0^T B]^{-1} K_0^T A z) + k K_0^T B u_0 \\ &\quad - K_0^T B (\hat{f}(\cdot) - f^*(\cdot)) + K_0^T B (\varepsilon + \hat{\theta}.sign(s)) + K_0^T B (d + \bar{d}_M.sign(s)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{s} &= K_0^T B d_1 + K_0^T A z - K_0^T B d_1 - K_0^T A z + k K_0^T B u_0 \\
&\quad - K_0^T B (\hat{f}(\cdot) - f^*(\cdot)) + K_0^T B (\varepsilon + \hat{\theta} \cdot \text{sign}(s)) + K_0^T B (d + \bar{d}_M \cdot \text{sign}(s)) \\
\dot{s} &= k K_0^T B s - K_0^T B \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i \phi_i + K_0^T B (\varepsilon + \hat{\theta} \cdot \text{sign}(s)) + K_0^T B (d + \bar{d}_M \cdot \text{sign}(s)),
\end{aligned} \tag{39}$$

trong đó:

$$\tilde{\omega}_i = \hat{\omega}_i - \omega_i^*. \tag{40}$$

Chọn các luật thích nghi:

$$\dot{\hat{\omega}} = -\eta_1 s \phi_i \tag{41}$$

$$\dot{\hat{\theta}} = \eta_2 |s|, \tag{42}$$

trong đó η_1, η_2 là các hằng số dương.

Định lí 2. Hệ thống điều khiển (1-3), với các luật (34), (41-42) là ổn định tiệm cận.

Chứng minh

Chọn hàm Lyapunov như sau:

$$V(t) = \frac{1}{2} \left(s^2 - \frac{1}{\eta_1} K_0^T B \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i^2 - \frac{1}{\eta_2} K_0^T B (\varepsilon_M - \hat{\theta})^2 \right), \tag{43}$$

với cách chọn hàm $V(t)$ như (43) thì hàm $V(t)$ là xác định dương. Khi đó:

$$\begin{aligned}
\dot{V}(t) &= s \dot{s} - \frac{1}{\eta_1} K_0^T B \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i \dot{\tilde{\omega}}_i - \frac{1}{\eta_2} K_0^T B (\varepsilon_M - \hat{\theta}) \left(-\dot{\hat{\theta}} \right) \\
&= s \dot{s} + K_0^T B s \sum_{i=0}^m \tilde{\omega}_i \phi_i + K_0^T B (\varepsilon_M - \hat{\theta}) |s| \\
&= k K_0^T B s^2 - K_0^T B s \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i \phi_i + K_0^T B s (\varepsilon + \hat{\theta} \cdot \text{sign}(s)) + K_0^T B s (d + \bar{d}_M \cdot \text{sign}(s)) \\
&\quad + K_0^T B s \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_i \phi_i + K_0^T B (\varepsilon_M - \hat{\theta}) |s| \\
&= k K_0^T B s^2 + K_0^T B (s \varepsilon + |s| \varepsilon_M) + K_0^T B (s d + |s| \bar{d}_M \cdot \text{sign}(s)) + K_0^T B s \hat{\theta} \cdot \text{sign}(s) - K_0^T B \hat{\theta} |s|.
\end{aligned}$$

Đề ý rằng $s \cdot \text{sign}(s) = |s|$, do đó:

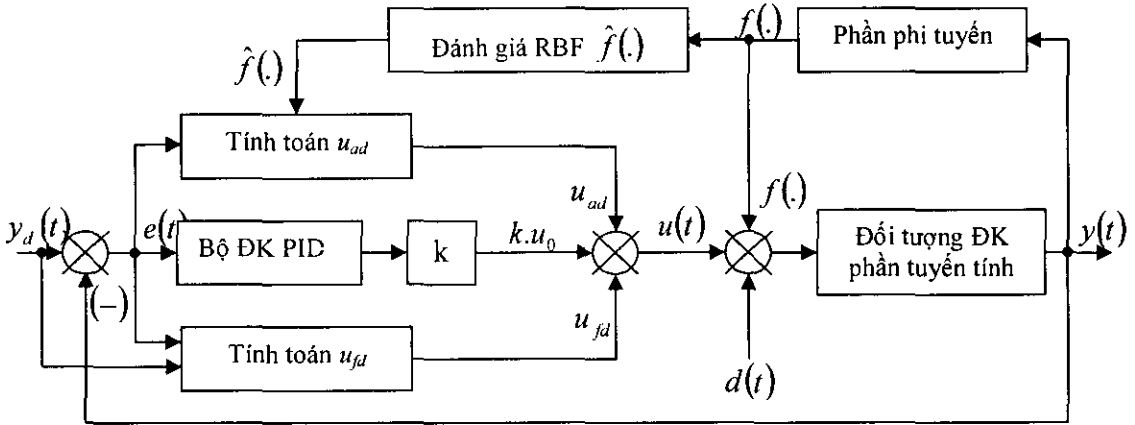
$$\dot{V}(t) = k K_0^T B s^2 + K_0^T B (s \varepsilon + |s| \varepsilon_M) + K_0^T B (s d + |s| \bar{d}_M) + K_0^T B |s| \hat{\theta} - K_0^T B \hat{\theta} |s|,$$

và cuối cùng ta tính được:

$$\dot{V}(t) = k K_0^T B s^2 + K_0^T B (\varepsilon s + \varepsilon_M |s|) + K_0^T B (d s + \bar{d}_M |s|), \tag{44}$$

trong đó ε là sai số xấp xỉ, ε_M là sai số xấp xỉ lớn nhất cho phép (giới hạn trên của sai số), d là nhiễu tác động vào hệ thống, $\bar{d}_M$ là giới hạn trên của nhiễu, và với điều kiện sau: $|\varepsilon| \leq \varepsilon_M$, $|d| \leq \bar{d}_M$, do đó $(\varepsilon.s + \varepsilon_M |s|) > 0$; $(d.s + \bar{d}_M |s|) > 0$. Mặt khác $k > 0$, $K_0^T B < 0$, do đó tất cả các tín hiệu trong hệ thống đều có giới hạn, suy ra $\dot{V}(t) < 0$. Hệ thống ổn định theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov, định lí đã được chứng minh.

Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển thích nghi trên cơ sở bộ đánh giá RBF (hình 3).



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc HTĐK thích nghi đối tượng phi tuyến trên cơ sở bộ đánh giá RBF

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Ví dụ hệ thống điều khiển chống bó cứng bánh xe ô tô. Hệ thống phải đảm bảo yêu cầu độ trượt tương đối giữa bánh xe và mặt đường phải đạt giá trị tối ưu $\lambda_0 = 20\%$, trong khi phanh. Các biểu thức của chuyển động của một trong 4 bánh xe ô tô như (45), mô men và lực tác động lên bánh xe (hình 6).

$$\begin{aligned} J\dot{\omega} &= rF_x - T_b \\ m\dot{v} &= -F_x \end{aligned} \quad (45)$$

trong đó: m là $\frac{1}{4}$ khối lượng xe; v là tốc độ của xe; ω là tốc độ của bánh xe; F_z là lực pháp tuyến; F_x là lực ma sát bánh xe. T_b là mô men phanh; r là bán kính bánh xe; J là mô men quán tính. Độ trượt của bánh xe được định nghĩa như sau [5]:

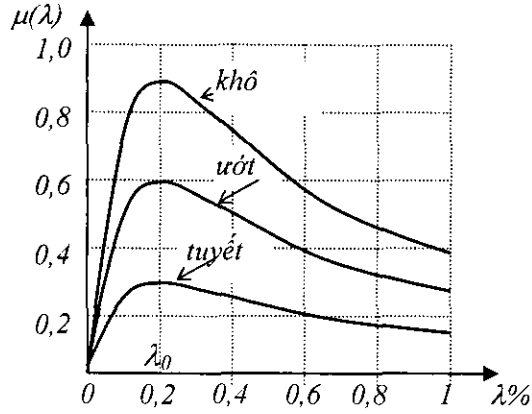
$$\lambda = \frac{v - \omega r}{v}, \quad (46)$$

khi bánh xe bị bó cứng hoàn toàn thì $\lambda = 1$, khi xe chuyển động tự do thì $\lambda = 0$.

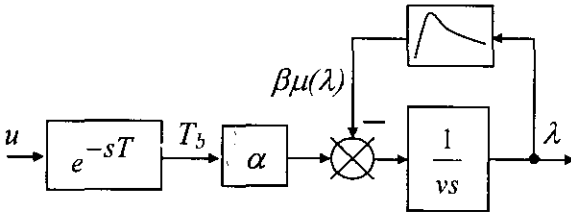
Lực ma sát bánh xe F_x được định nghĩa bởi:

$$F_x = F_z \mu(\lambda, \mu_H, \alpha, F_z, v), \quad (47)$$

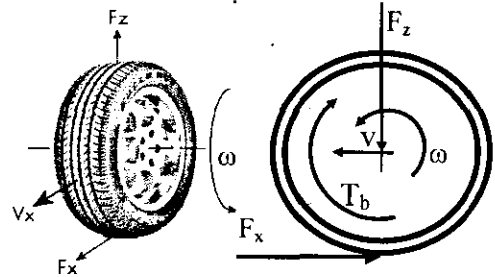
ở đây $\mu(\lambda, \mu_H, \alpha, F_z, v)$ là hệ số ma sát giữa lốp xe và mặt đường, đây là một hàm phi tuyến với một kiểu phụ thuộc vào độ trượt (hình 4) [9], μ_H là hệ số ma sát lớn nhất và thay đổi theo điều kiện mặt đường, α là góc lái. Chúng ta chỉ quan tâm đến trường hợp không có góc lái ($\alpha = 0$). Mô hình đối tượng ABS theo độ trượt như hình 5.



Hình 4. Hệ số bám dọc theo λ khi phanh



Hình 5. Thiết kế mô hình đối tượng ABS



Hình 6. Các mô men và lực tác động lên bánh xe

Các thông số của xe như sau:

$$J = 1,0 \left[\text{kg.m}^2 \right]; m = 450 \left[\text{kg} \right]; r = 0,32 \left[\text{m} \right]; F_z = 4414 \left[\text{N} \right]; \beta = 451,584 \left[\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right];$$

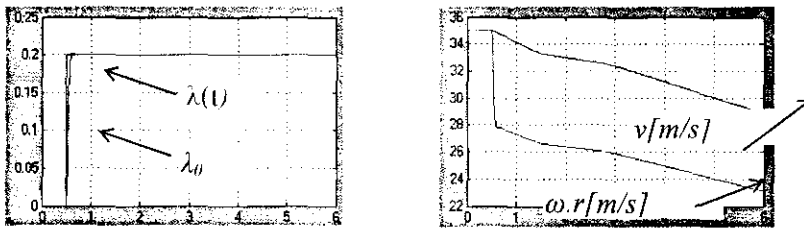
$$\alpha = 0,32 \left[\frac{1}{\text{kg.m}} \right]; \tau = T = 14 \left[\text{ms} \right] = 0,014 \left[\text{s} \right]; v = 126 \left[\frac{\text{Km}}{\text{h}} \right] = 35 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right];$$

$$W_{ABS_TT}(s) = \frac{c}{s^2 + as + b}; c = \frac{\alpha}{T.v}; a = \frac{T.\beta.k}{T.v}; b = \frac{\beta.k}{T.v}; c = 0,6531;$$

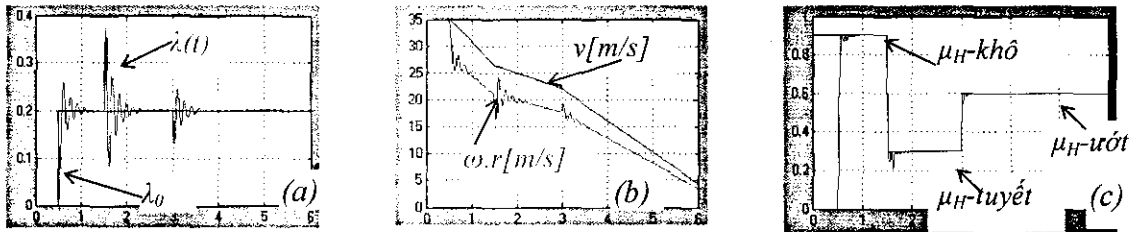
$$a = 129,4894; b = 4147,2.$$

$$\text{Tham số bộ PID như sau: } k_p = 2,5808.10^3; k_i = 1,8434.10^5; k_D = 10.$$

Phần phi tuyến chính là hệ số ma sát giữa bánh xe với mặt đường và là một hàm phụ thuộc vào độ trượt λ (hình 4). Kết quả khi chỉ tính toán đến phần tuyến tính (hình 7), độ trượt $\lambda(t)$ bám tốt độ trượt tối ưu λ_0 mong muốn. Khi tính toán đến phần phi tuyến và chỉ sử dụng PID trong quá trình phanh mà ô tô chạy từ đường khô, sang đường tuyết và sau đó sang đường ướt (có nghĩa là điều kiện mặt đường thay đổi (hình 8c)), ta thấy ngay chất lượng phanh không đảm bảo độ trượt tối ưu (hình 8a.), khi đó xe ô tô sẽ bị mất lái gây nguy hiểm. Kí hiệu $v[m/s]$ là tốc độ dài của xe, $\omega.r[m/s]$ là tốc độ của bánh xe quy đổi sang tốc độ dài (hình 8b).

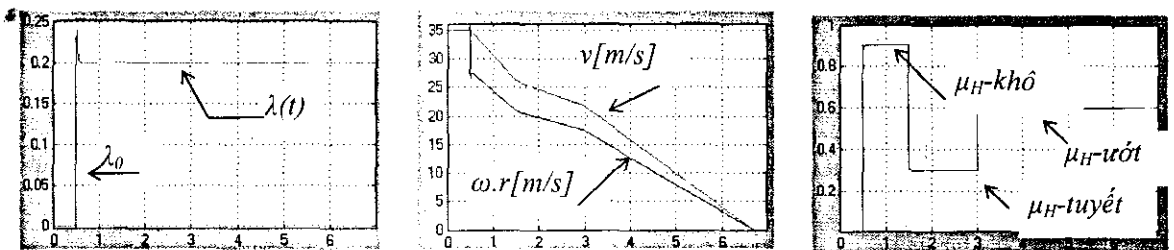


Hình 7. Các đáp ứng của hệ thống điều khiển ABS tuyến tính

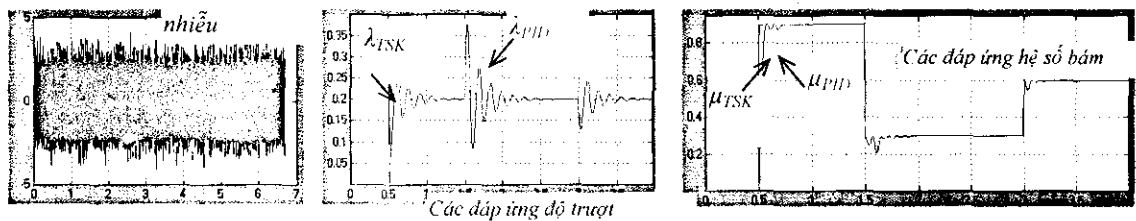


Hình 8. Các đáp ứng của hệ thống điều khiển ABS phi tuyến sử dụng PID

Kết quả khi áp dụng thuật toán thứ nhất (hình 9, hình 10). Nhìn vào kết quả đó ta thấy thuật toán thứ nhất đã cải thiện chất lượng điều khiển rất tốt, mặc dù khi phanh trong điều kiện mặt đường thay đổi, trong điều kiện có nhiễu, độ trượt $\lambda(t)$ vẫn bám tốt giá trị đặt tối ưu $\lambda_0 = 0,2$.



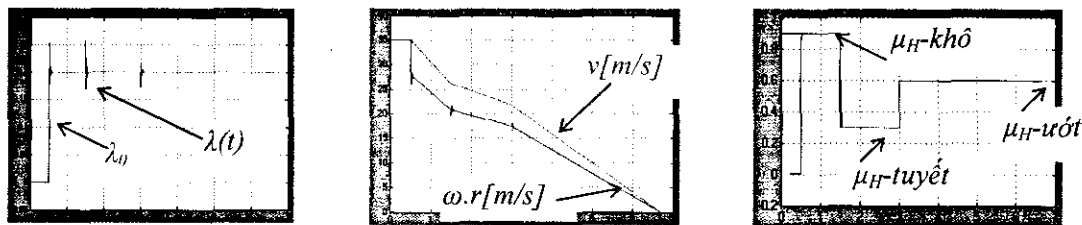
Hình 9. Các đáp ứng của hệ thống điều khiển mờ thích nghi ABS phi tuyến khi chưa có nhiễu



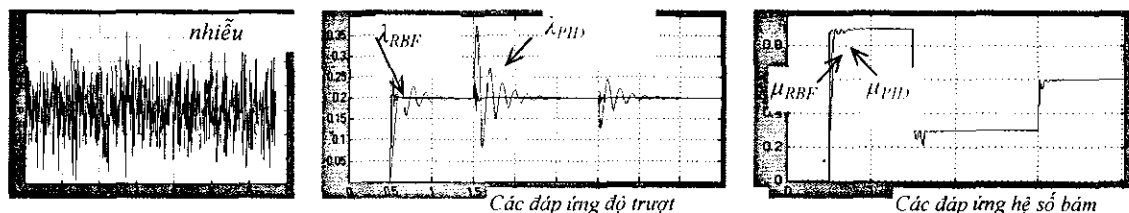
Hình 10. Các đáp ứng của HTĐK mờ thích nghi ABS khi tính đến nhiễu tác động

Kết quả khi áp dụng thuật toán thứ hai cũng cho chất lượng điều khiển tốt (hình 11, hình 12). Mặc dù khi phanh trong điều kiện mặt đường thay đổi, có sự tác động của nhiễu, độ trượt

$\lambda(t)$ vẫn bám tốt giá trị đặt tối ưu λ_0 . Như vậy xe ô tô luôn đảm bảo độ trượt mong muốn khi phanh và không bị mất lái.



Hình 11. Các đáp ứng của hệ thống điều khiển thích nghi ABS sử dụng RBFN khi chưa có nhiễu



Hình 12. Các đáp ứng của HTĐK thích nghi ABS sử dụng RBFN khi tính đến nhiễu tác động

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã tổng hợp được hai thuật toán điều khiển thích nghi đối tượng phi tuyến. Đối tượng phi tuyến có phần động học tuyến tính cơ bản dạng tổng quát bậc n , phần phi tuyến chưa biết trong trường hợp tổng quát phụ thuộc vào trạng thái đầu ra và các trạng thái đạo hàm của đầu ra. Nhiễu tác động vào hệ thống cũng chưa biết. Bản chất của các thuật toán là dựa trên cơ sở PID kết hợp với logic mờ, mạng nơ ron. Khi phần phi tuyến, nhiễu tác động mạnh vào hệ thống thì hệ thống sẽ tự động tính toán lượng điều khiển thích nghi thông qua mạch bù bổ sung vào bộ điều khiển PID ban đầu. Các kết quả mô phỏng khi áp dụng cho hệ thống điều khiển chống bó cứng bánh xe ô tô đã làm sáng tỏ hiệu quả của các thuật toán đã tổng hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cao Tiến Huỳnh, Đào Tuấn, Trần Quang Oánh, Nguyễn Văn Tiềm - Điều khiển mờ thích nghi áp dụng cho đối tượng chuyển động, Chuyên san Kỹ thuật điều khiển tự động, Tự động hoá ngày nay, Hội khoa học công nghệ tự động Việt Nam, 2004, tr. 16-22.
2. Lê Hùng Lân, Nguyễn Văn Tiềm - Xây dựng thuật toán điều khiển mờ thích nghi áp dụng để điều khiển đối tượng chuyển động trên cơ sở bộ đánh giá TSK, Hội nghị khoa học kỹ thuật đo lường toàn quốc lần thứ IV, Tuyển tập báo cáo khoa học, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2005, tr. 666-671.
3. Lê Hùng Lân, Nguyễn Văn Tiềm, Trần Quang Oánh - Kỹ thuật kết hợp PID và mạng nơ ron trong điều khiển thích nghi hệ phi tuyến, Thông báo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về Tự động hoá, 2002, tr. 143-148.
4. Trần Quang Oánh, Nguyễn Văn Tiềm, Lê Hùng Lân - Điều khiển thích nghi gián tiếp chuyển động trên cơ sở các bộ xấp xỉ mờ, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ 5 về Tự động hoá, 2002, tr. 289-294.