

TỔNG HỢP HỆ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO MỘT LỚP ĐỐI TƯỢNG PHI TUYẾN CÓ CÁC THAM SỐ THAY ĐỔI TRONG DẢI RỘNG

Ngô Trí Nam Cường^{1*}, Lê Văn Chương²

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp tổng hợp hệ thống điều khiển thích nghi cho một lớp đối tượng phi tuyến MIMO có tham số thay đổi trong dải rộng, có nhiễu bên ngoài tác động không đo được. Các thành phần tham số thay đổi, đặc tính phi tuyến và nhiễu ngoài được nhận dạng và bù trừ trên cơ sở lý thuyết điều khiển thích nghi, luật điều khiển được xây dựng trên cơ sở điều khiển trượt, và nhờ đó, hệ thống điều khiển có khả năng kháng các yếu tố bất định nói trên.

Từ khóa: Điều khiển tự động; Điều khiển thích nghi; Đối tượng phi tuyến; Điều khiển trượt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Lớp đối tượng điều khiển phi tuyến có các tham số thay đổi trong dải rộng rất thường gặp trong các lĩnh vực công nghiệp, trong giao thông vận tải, trong các công trình thủy lợi,... Đối với lớp đối tượng này, các luật điều khiển truyền thống chỉ phát huy hiệu quả khi các tham số của đối tượng là cố định hoặc thay đổi không đáng kể, biên độ phi tuyến và nhiễu ngoài không lớn. Các phương pháp điều khiển trượt đang được quan tâm nghiên cứu [3-6], các phương pháp này giữ được ổn định cho hệ thống khi đặc tính tham số, thành phần phi tuyến thay đổi trong một phạm vi nhất định, thường là trong phạm vi nhỏ, nếu đối tượng điều khiển có các thành phần thay đổi trong dải rộng sẽ tạo ra hiệu ứng chattering mạnh, gây ra nhiều bất lợi. Cùng với đó, khi các yếu tố bất định thay đổi vượt ra khỏi giới hạn cho trước, điều kiện tồn tại chế độ trượt bị phá vỡ, hệ sẽ rời khỏi chế độ trượt. Đây là tồn tại của các công trình trên. Các tài liệu [1, 2] đề xuất phương pháp tổng hợp luật điều khiển thích nghi cho lớp đối tượng phi tuyến SISO với tham số cố định và có chất lượng điều khiển cao.

Dưới đây, bài báo trình bày phương pháp tổng hợp hệ thống điều khiển thích nghi cho lớp đối tượng phi tuyến MIMO có các tham số thay đổi trong dải rộng, có nhiễu thành phần phi tuyến và chịu tác động của nhiễu bên ngoài không đo được.

2. ĐẶT BÀI TOÁN

Xét lớp đối tượng điều khiển mà động học của nó được mô tả bằng phương trình:

$$\dot{X} = AX + BU + \bar{F}(X) + D(t), \quad (1)$$

trong đó: $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ là véc tơ trạng thái của đối tượng; $U = [u_1, u_2, \dots, u_m]^T$ là véc tơ điều khiển; $\bar{F}(X) = [\bar{f}_1(X), \bar{f}_2(X), \dots, \bar{f}_n(X)]^T$ là véc tơ phi tuyến thay đổi không biết trước và bị chặn; $D(t) = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$ là véc tơ nhiễu ngoài không đo được bị chặn; cặp ma trận (A, B) có kích thước tương ứng $(n \times n)$, $(m \times n)$ là cặp ma trận điều khiển được, có các phần tử thay đổi trong dải rộng.

Để thuận lợi trong quá trình thiết kế sau này, ta viết lại phương trình (1) dưới dạng:

$$\dot{X} = [A_1 + \Delta A_0]X + [B_1 + \Delta B_0]U + \bar{F}(X) + D(t), \quad (2)$$

trong đó: $A = A_1 + \Delta A_0$ với A_1 là ma trận có các phần tử không đổi, ΔA_0 là ma trận có các phần tử Δa_{ij} thay đổi trong dải rộng; $B = B_1 + \Delta B_0$ với B_1 là ma trận có các phần tử không thay đổi, ΔB_0 là ma trận có phần tử Δb_{ij} thay đổi trong dải rộng.

$$\text{Đặt:} \quad F(X) = \Delta A_0 X + \bar{F}(X), \quad (3)$$

thay (3) vào (2) ta có phương trình:

$$\dot{X} = A_1 X + [B_1 + \Delta B_0]U + F(X) + D(t). \quad (4)$$

Mô hình nhận dạng các thành phần thay đổi có trong phương trình (4) như sau:

$$\dot{X}_m = A_1 X_m + [B_1 + \Delta \hat{B}_m]U + \hat{F}(X) + \hat{D}(t), \quad (5)$$

trong đó: $X = [x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}]^T$ là véc tơ trạng thái của mô hình; $U = [u_1, u_2, \dots, u_m]^T$ là véc tơ điều khiển của mô hình; $\hat{F}(X) = [\hat{f}_1(X), \hat{f}_2(X), \dots, \hat{f}_n(X)]^T$ là véc tơ đánh giá của $F(X)$; $\hat{D}(t) = [\hat{d}_1, \hat{d}_2, \dots, \hat{d}_n]^T$ là véc tơ đánh giá của $D(t)$.

3. TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI

3.1. Tổng hợp luật nhận dạng các thành phần thay đổi trong dải rộng

Biến đổi phương trình (4) và phương trình (5) ta nhận được phương trình sai số:

$$\dot{E} = A_1 E + [\Delta \tilde{B}]U + \tilde{F}(X) + \tilde{D}(t), \quad (6)$$

trong đó:

$$E = X - X_m, \quad (7)$$

$$\Delta \tilde{B} = \Delta B_0 - \Delta \hat{B}_m, \quad (8)$$

$$\tilde{F}(X) = F(X) - \hat{F}(X), \quad (9)$$

$$\tilde{D}(t) = D(t) - \hat{D}(t). \quad (10)$$

Ta sử dụng mạng nơ ron RBF để xấp xỉ véc tơ hàm $F(X)$ có các phần tử:

$$f_i(X) = \sum_{j=1}^L w_{ij}^* \phi_{ij}(X) + \varepsilon_i, \quad (11)$$

$i = \overline{1, \dots, n}$; $j = \overline{1, \dots, L}$ với số lượng hàm cơ sở đủ lớn để đảm bảo sai số $|\varepsilon_i| < \varepsilon_i^m$, $w_{ij}^* = \text{const}$ là trọng số lý tưởng. Hàm cơ sở được chọn có dạng:

$$\phi_{ij}(X) = \exp\left(-\|X - C_{ij}\|^2 / 2\sigma_{ij}^2\right), \quad (12)$$

trong đó, C_{ij} biểu diễn tâm của hàm cơ sở $\phi_{ij}(X)$, và σ_{ij} độ trải rộng hàm cơ sở.

Véc tơ đánh giá hàm phi tuyến $\hat{F}(X)$ được thiết lập thông qua hàm cơ sở (12) với trọng số hiệu chỉnh $\hat{w}_{ij}$, có các phần tử:

$$\hat{f}_i(X) = \sum_{j=1}^L \hat{w}_{ij} \phi_{ij}(X), \quad i = \overline{1, \dots, n}. \quad (13)$$

Quá trình học của mạng nơ ron RBF là quá trình hiệu chỉnh trọng số $\hat{w}_{ij}$ so với sai lệch trọng số lý tưởng $\tilde{w}_{ij} \rightarrow 0$: $\tilde{w}_{ij} = w_{ij}^* - \hat{w}_{ij}$. (14)

Để xác định điều kiện ổn định của hệ (6) ta chọn hàm Lyapunov dạng:

$$V = E^T P E + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \tilde{b}_{ij}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L \tilde{w}_{ij}^2 + \sum_{i=1}^n \tilde{d}_i^2, \quad (15)$$

trong đó, P $n \times n$ là ma trận đối xứng xác định dương. Lấy đạo hàm hai vế của (15) :

$$\dot{V} = \dot{E}^T P E + E^T P \dot{E} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \dot{b}_{ij} \Delta \tilde{b}_{ij} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L \dot{w}_{ij} \tilde{w}_{ij} + 2 \sum_{i=1}^n \dot{d}_i \tilde{d}_i. \quad (16)$$

Hệ (6) sẽ ổn định nếu đạo hàm của hàm Lyapunov $\dot{V} < 0$. Thay (6) vào (16) tiếp tục biến đổi ta có:

$$\begin{aligned} \dot{V} = & E^T (A_1^T P + P A_1) E + 2 U^T \Delta \tilde{B}^T P E + 2 E^T P \tilde{F}(X) + 2 E^T P \tilde{D}(t) + \\ & + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \dot{b}_{ij} \Delta \tilde{b}_{ij} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L \dot{w}_{ij} \tilde{w}_{ij} + 2 \sum_{i=1}^n \dot{d}_i \tilde{d}_i. \end{aligned} \quad (17)$$

Thay các biểu thức (9), (11) và (13) vào (17) và rút điều kiện để $\dot{V}$ ta có:

$$E^T (A_1^T P + P A_1) E + 2 E^T P \varepsilon < 0; \quad (18)$$

$$2 U^T \Delta \tilde{B}^T P E + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta \dot{b}_{ij} \Delta \tilde{b}_{ij} = 0; \quad (19)$$

$$2 E^T P \left[\sum_{j=1}^L \tilde{w}_{1j} \phi_{ij}(X) \dots \sum_{j=1}^L \tilde{w}_{nj} \phi_{ij}(X) \right]^T + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^L \dot{w}_{ij} \tilde{w}_{ij} = 0; \quad (20)$$

$$2 E^T P \tilde{D}(t) + 2 \sum_{i=1}^n \dot{d}_i \tilde{d}_i = 0. \quad (21)$$

Từ (18) biến đổi về trái của bất phương trình:

$$E^T (A_1^T P + P A_1) E + 2 E^T P \varepsilon = -E^T Q E + 2 \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \bar{P}_i E < 0, \quad (22)$$

với Q là ma trận xác định dương $Q = -(A_1^T P + P A_1)$; $\bar{P}_i$ là dòng thứ i của ma trận P . Áp dụng các bất đẳng thức trong [7] ta biến đổi tiếp về trái bất phương trình (22):

$$-E^T Q E + 2 \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \bar{P}_i E < -r_{\min}(Q) \|E\|^2 + 2 \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \|\bar{P}_i\| \|E\| < 0, \quad (23)$$

Trong đó: $r_{\min}(Q)$ là giá trị riêng nhỏ nhất của ma trận Q .

Như vậy, để thỏa mãn bất phương trình (18) từ (23) ta phải có:

$$\|E\| > 2 \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \|\bar{P}_i\| / r_{\min}(Q). \quad (24)$$

Giải các phương trình (19-21) ta có:

$$\Delta \dot{b}_{ij} = -u_j \bar{P}_i E, \quad i = \overline{1, \dots, n} \quad \text{và} \quad j = \overline{1, \dots, m}; \quad (25)$$

$$\dot{w}_{ij} = -\bar{P}_i E \phi_{ij}(X), \quad i = \overline{1, \dots, n} \quad \text{và} \quad j = \overline{1, \dots, L}; \quad (26)$$

$$\dot{d}_i = -\bar{P}_i E, \quad i = \overline{1, \dots, n}. \quad (27)$$

Nếu thỏa mãn đồng thời (24-27) thì đạo hàm $\dot{V} < 0$ nên hệ (6) ổn định tiệm cận.

Từ (8) và (25) chú ý ma trận ΔB_0 có các phần tử biến đổi chậm nghĩa là $\Delta \dot{b}_{ij}^0 \approx 0$, ta có luật nhận dạng phần tham số thay đổi mà ma trận ΔB_0 có các phần tử:

$$\Delta b_{ij} = \Delta \hat{b}_{ij}^m = u_j \bar{P}_i E \rightarrow \Delta \hat{b}_{ij}^m = \int u_j \bar{P}_i E dt + \Delta b_{ij}^{m0}, \quad (28)$$

Δb_{ij}^{m0} là giá trị khởi tạo ban đầu. Từ (9), (13), (14) và (26) chú ý trọng số lý tưởng $w_{ij}^* = \text{const}$ nên $\dot{w}_{ij}^* = 0$ ta có luật nhận dạng véc tơ hàm phi tuyến $F(X)$:

$$f_i(X) \approx \hat{f}_i(X) = \sum_{j=1}^L \hat{w}_{ij} \phi_{ij}(X); \quad \dot{\hat{w}}_{ij} = \bar{P}_i E \phi_{ij}(X) \quad i = \overline{1, \dots, n}, \quad (29)$$

Từ (10) và (27) chú ý nhiễu ngoài biến đổi chậm nên $\dot{d}(t) \approx 0$ ta có luật nhận dạng véc tơ nhiễu ngoài không đo được $D(t)$:

$$d_i(t) = \hat{d}_i(t) = \int \bar{P}_i E dt. \quad (30)$$

Các kết quả nhận dạng ở mục này dùng để tổng hợp luật điều khiển được trình bày trong phần tiếp theo.

3.2. Tổng hợp luật điều khiển

Định lý: Lóp đối tượng phi tuyến MIMO có tham số thay đổi trong dải rộng và chịu nhiễu tác động từ bên ngoài không đo được (1) sẽ bám theo véc tơ tín hiệu mong muốn X_d , nếu chọn luật điều khiển U :

$$U = U_{smc} + U_b, \quad (31)$$

$$U_b = -H \left[\left[\Delta \hat{b}_{ij}^m \right] U + \left[\hat{f}_i(X) \right]^T + \left[\hat{d}_i(t) \right]^T \right], \quad i = \overline{1, \dots, n} \quad \text{và} \quad j = \overline{1, \dots, m}; \quad (32)$$

$$\Delta \hat{b}_{ij}^m = \int u_j \bar{P}_i E dt + \Delta b_{ij}^{m0};$$

$$\hat{f}_i(X) = \sum_{j=1}^L \hat{w}_{ij} \phi_{ij}(X), \quad i = \overline{1, \dots, n} \quad \text{và} \quad \dot{\hat{w}}_{ij} = \bar{P}_i E \phi_{ij}(X);$$

$$\hat{d}_i(t) = \int \bar{P}_i E dt;$$

$$U_{smc} = \begin{cases} -[CB_1]^{-1} [\delta \text{sgn}(s_1), \delta \text{sgn}(s_2), \dots, \delta \text{sgn}(s_i)]^T & \text{khi } S \neq 0, i = \overline{1, \dots, m} \\ -[CB_1]^{-1} [CA_1 \tilde{X} + CA_1 X_d - C\dot{X}_d] & \text{khi } S = 0 \end{cases}; \quad (33)$$

$$H = B_1^T [B_1 B_1^T]^{-1}; \quad \tilde{X} = X - X_d; \quad S = C\tilde{X};$$

A_1, B_1 là cặp ma trận tham số hằng, $\bar{P}_i$ là dòng thứ i của ma trận đối xứng xác định dương P , ε_i là sai số xấp xỉ mạng nơ ron RBF, C là ma trận hằng số, δ là hệ số dương nhỏ.

Chứng minh:

Phương trình (4) được viết lại dưới dạng:

$$\dot{X} = A_1 X + B_1 U + \Delta B_0 U + F(X) + D(t). \quad (34)$$

$$\text{Ta đặt:} \quad F^* = \Delta B_0 U + F(X) + D(t), \quad (35)$$

với $F^* = [f_1^*, f_2^*, \dots, f_2^*]^T$. Thay (35) vào (34) ta có:

$$\dot{X} = A_1 X + B_1 U + IF^*, \quad (36)$$

trong đó, I là ma trận đơn vị. Ta thay U (31) của định lý vào (36) ta có:

$$\dot{X} = A_1 X + B_1 U_{smc} + B_1 U_b + IF^* . \quad (37)$$

Từ (37) ta thấy rằng, véc tơ F^* sẽ được bù trừ khi:

$$B_1 U_b + IF^* = 0 . \quad (38)$$

Vấn đề tiếp theo là phải tạo ra véc tơ tín hiệu U_b thỏa mãn phương trình (38), với giả thiết $\det(B_1 B_1^T) \neq 0$ ta chọn véc tơ U_b như sau:

$$U_b = -HF^* , \quad (39)$$

trong đó, H là ma trận hệ số khếch đại và $H = B_1^T [B_1 B_1^T]^{-1}$.

Từ các biểu thức (28), (29), (30) thay thế F^* bằng $\hat{F}^*$ ta có:

$$F^* \simeq \hat{F}^* = \Delta \hat{B}_m U + \hat{F}(X) + \hat{D}(t) . \quad (40)$$

Từ (39) và (40) ta có véc tơ tín hiệu được đưa tới đầu vào của đối tượng để bù trừ thành phần bất định thay đổi ở (35) sẽ là:

$$U_b = -H\hat{F}^* . \quad (41)$$

Như đã phân tích ở trên ta thay (41) vào (37) sẽ có:

$$\dot{X} = A_1 X + B_1 U_{smc} - B_1 H\hat{F}^* + IF^* . \quad (42)$$

Phương trình (42) cho ta thấy rằng, véc tơ F^* được bù trừ khi:

$$-B_1 H\hat{F}^* + IF^* = 0 . \quad (43)$$

Từ (28), (29), (30) và (41) chú ý tới (40), (43) ta có:

$$U_b = -H \left[[\Delta \hat{b}_{ij}^m] U + [\hat{f}_i(X)]^T + [\hat{d}_i(t)]^T \right], \quad i = \overline{1, \dots, n}, \quad j = \overline{1, \dots, m} . \quad (44)$$

Với véc tơ tín hiệu U_b (44) được đưa tới đầu vào của đối tượng, nhờ vậy, các thành phần bất định thay đổi trong dải rộng được bù trừ và khi đó (42) trở thành:

$$\dot{X} = A_1 X + B_1 U_{smc} . \quad (45)$$

Tiếp đến với hệ (45) luật điều khiển được xây dựng trên cơ sở Sliding mode control. Véc tơ sai lệch giữa véc tơ trạng thái của đối tượng và véc tơ trạng thái mong muốn X_d :

$$\tilde{X} = X - X_d \rightarrow X = \tilde{X} + X_d . \quad (46)$$

$$\text{Thay (46) vào (45) ta có: } \dot{\tilde{X}} = A_1 \tilde{X} + B_1 U_{smc} + A_1 X_d - \dot{X}_d . \quad (47)$$

$$\text{Đối với hệ (47) siêu mặt trượt được chọn dưới dạng [8]: } S = C\tilde{X} , \quad (48)$$

$$\text{trong đó, } C \text{ là ma trận hằng số, } S = [s_1, s_2, \dots, s_m]^T = 0 . \quad (49)$$

Vấn đề đặt ra tiếp theo là phải xác định luật điều khiển U_{smc} đảm bảo đưa hệ (47) tiến về siêu mặt trượt (48) và giữ nó ở trên đó.

Luật điều khiển U_{smc} có cấu trúc như sau :

$$U_{smc} = \begin{cases} U_s & \text{khi } S \neq 0 \\ U_{eq} & \text{khi } S = 0 \end{cases} ; \quad (50)$$

Trong đó: U_s là thành phần điều khiển đưa hệ (47) tiến về siêu mặt trượt (48); U_{eq} là thành phần điều khiển tương đương giữ hệ (47) ở lại trên siêu mặt trượt (48).

$$\text{Từ (50) ta có thể viết lại thành: } U_{smc} = U_{eq} + U_s \quad (51)$$

$$U_{eq} \text{ được xác định theo [8]: } \dot{S} = C\dot{X} = 0, \quad (52)$$

$$\text{từ (47) và (52) ta có: } C(A_1\tilde{X} + B_1U_{eq} + A_1X_d - \dot{X}_d) = 0. \quad (53)$$

$$\text{Từ (53) ta thu được } U_{eq}: U_{eq} = -[CB_1]^{-1}[CA_1\tilde{X} + CA_1X_d - C\dot{X}_d] \quad (54)$$

Tiếp đến ta tìm thành phần U_s đưa hệ (47) tiến về siêu mặt trượt (48).

$$\text{Đối với siêu mặt trượt (48) ta chọn hàm Lyapunov: } V = 1/2S^TS \quad (55)$$

$$\text{Điều kiện tồn tại chế độ trượt khi: } \dot{V} = S^T\dot{S} < 0. \quad (56)$$

thay (47) và (51) vào (56), chú ý đến (52), (53) ta có:

$$\dot{V} = S^T[C(A_1\tilde{X} + B_1U_{eq} + CA_1X_d - C\dot{X}_d) + CB_1U_s] < 0. \quad (57)$$

$$\text{Bất phương trình (57) tương đương với: } S^T[CB_1U_s] < 0. \quad (58)$$

Tóm lại, để thỏa mãn (56) từ (58) ta có:

$$U_s = -[CB_1]^{-1}[\delta \text{sgn}(s_1), \delta \text{sgn}(s_2), \dots, \delta \text{sgn}(s_i)]^T, \quad i = \overline{1, \dots, m}, \quad (59)$$

δ là hệ số dương nhỏ.

Thay (54) và (59) vào (50) ta có luật điều khiển U_{smc} :

$$U_{smc} = \begin{cases} -[CB_1]^{-1}[\delta \text{sgn}(s_1), \delta \text{sgn}(s_2), \dots, \delta \text{sgn}(s_i)]^T & \text{ khi } S \neq 0, i = \overline{1, \dots, m} \\ -[CB_1]^{-1}[CA_1\tilde{X} + CA_1X_d - C\dot{X}_d] & \text{ khi } S = 0 \end{cases}. \quad (60)$$

Như vậy, luật điều khiển (34) trong đó với luật điều khiển bù trừ (44) và luật điều khiển trượt (60) thì hệ (1) sẽ bám véc tơ tín hiệu mong muốn X_d .

Định lý được chứng minh.

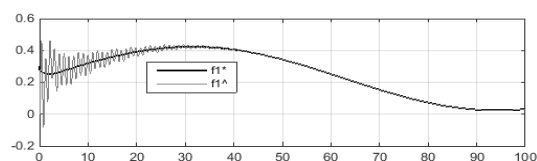
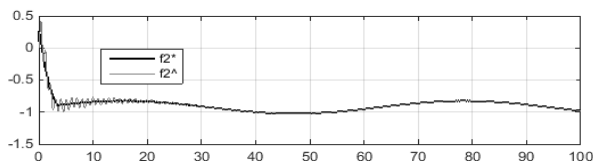
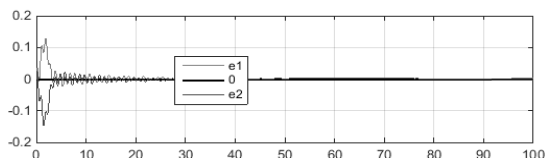
4. MÔ PHỎNG VÀ KIỂM CHỨNG KẾT QUẢ

Giả sử động học đối tượng phi tuyến có các tham số thay đổi trong dải rộng, có nhiều được mô tả bằng phương trình:

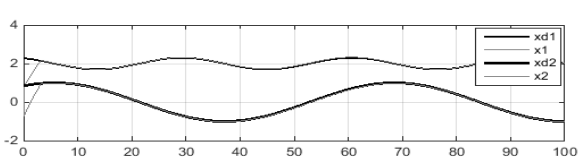
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.1 + 0.01\sin(t) & 0 \\ -0.0606 - 0.02\sin(t) & -0.018 - 0.01\sin(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 14.953 + 0.12\sin(t) & -14.95 - 0.05\sin(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1\exp(-x_1) + 0.004x_2^2 \\ 0.1\exp(-x_1) - a \tan(x_2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2\sin(0.1t) + 0.2 \\ 0.1\sin(0.2t) \end{bmatrix}. \quad (61)$$

Với đối tượng (61) sử dụng bộ điều khiển (31), chúng ta tiến hành mô phỏng bằng phần mềm

Matlab - Simulink.

Hình 1. Kết quả nhận dạng f_1^* .Hình 2. Kết quả nhận dạng f_2^* .

Hình 3. Sai số bù trừ



Hình 4. Đáp ứng véc tơ tín hiệu đặt.

Hình 1, 2 cho thấy, kết quả nhận dạng $\hat{f}_1, \hat{f}_2$ của các thành phần thay đổi trong dải rộng f_1^*, f_2^* đúng như yêu cầu, tức là sai số nhận dạng đã tiệm cận về 0. Hình 3 thể hiện kết quả bù trừ f_1^*, f_2^* từ kết quả nhận dạng $\hat{f}_1, \hat{f}_2$, ta thấy, cơ cấu bù đáp ứng yêu cầu, sai số bù tiệm cận không. Hình 4 khẳng định chất lượng điều khiển được đảm bảo, tức là đáp ứng của hệ thống $[x_1, x_2]^T$ đã bám chặt véc tơ tín hiệu đặt mong muốn $[x_1^d, x_2^d]^T$. Kết quả mô phỏng này đã lần nữa minh chứng tính đúng đắn và hiệu quả của luật điều khiển bài báo đề xuất.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được phương pháp tổng hợp hệ thống điều khiển thích nghi cho lớp đối tượng điều khiển phi tuyến MIMO có tham số thay đổi trong dải rộng, có nhiễu. Đã tổng hợp được khối nhận dạng các thành phần thay đổi trong dải rộng của lớp đối tượng (1); Kết quả thu được là luật cập nhật của phần tham số động học thay đổi, luật nhận dạng véc tơ hàm phi tuyến bất định, luật cập nhật vectơ nhiễu. Từ các kết quả nhận dạng, bài báo đã xây dựng cơ cấu bù, làm cho hệ (1) trở nên bất biến với các phần thay đổi và nhiễu ngoài tác động lên hệ. Đã tổng hợp được luật điều khiển trượt để hệ luôn bám chặt véc tơ tín hiệu đầu vào mong muốn. Phương pháp bài báo đề xuất có ưu điểm là hệ điều khiển luôn đảm bảo chất lượng điều khiển tốt, ngay cả khi động học của đối tượng thay đổi không biết trước trong dải rộng và chịu nhiễu ngoài; hệ có tính thích nghi và kháng nhiễu tốt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cao Tiến Huỳnh, Nguyễn Vũ, Nguyễn Trung Kiên, Ngô Trí Nam Cường, "Về một phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi cho một lớp đối tượng phi tuyến dưới tác động của nhiễu bên ngoài", Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự, số 17 (2012), tr. 6-15.
- [2]. Ngô Trí Nam Cường, "Một phương pháp nhận dạng và bù trừ các thành phần bất định cho một lớp đối tượng phi tuyến", Tạp chí Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự, số 17 (2017), tr. 53-61.
- [3]. A. S. I. ZINOBER and P. LIU, "Robust Control of Nonlinear Uncertain Systems via Sliding Mode with Backstepping Design", UKACC International Conference on control '96, 2-5 Sep1996, IEE 1996, pp.281-286.
- [4]. Dr Sarah Spurgeon, Mr Raymond Davies, "A Nonlinear Design Approach for Sliding Mode Control Systems", Proceeding of the Conference on Decision and Control San Antonio, Texas. December 1993, pp. 1440-1445.
- [5]. Shuanghe Yu, Xinghuo Yu, "Robust Global Terminal Sliding Mode Control of SISO Nonlinear Uncertain Systems", IEEE Conference on Decision and Control Sydney, Australia December, 2000, pp.2198-2203.

- [6]. Yuri B. Shtessel and Ilya A. Shkolnikov, "Causal nonminimum phase output tracking in mimo nonlinear systems in sliding mode: Satable system centrer technique", Proceedings of the 38th Conference on Decision & Control Phoenix, Arizona USA December 1999, pp.4790-4795.
- [7]. James M. Ortega, "Matrix Theory", Plenum Press 1987.
- [8]. Utkin, Vadim, "Sliding Modes in Control and Optimization", Springer Verlag Berlin, Heidelberg 1992.

ABSTRACT

SYSTHESIS OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR A CLASS OF NONLINEAR WITH VARIABLE PARAMETERS IN THE WIDE RANGE

The paper presents a method of synthesizing an adaptive control system for a class of nonlinear MIMO that parameters vary in a wide range and under exogenous disturbances. The variable parameter components, nonlinear characteristics, and exogenous disturbance are identified and compensated on the basis of adaptive control theory. The control law is built on the basis of sliding control, and thus the control system are resistant to the uncertainties. The proposed paper control system is adaptable, robust, and ensures good control quality.

Keywords: Automatic control; Adaptive control; Nonlinear plants; Sliding mode control.

Nhận bài ngày 04 tháng 12 năm 2020

Hoàn thiện ngày 08 tháng 01 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 6 năm 2021

Địa chỉ: ¹ Công ty CP Systemtec;

² Trường Đại học Vinh.

* Email: ncuong792000@gmail.com.