

Tổng hợp thuật toán thích nghi dùng mạng nơ ron cho hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu Ra đa

The synthesis of adaptive algorithm using neural network for the range coordinate tracking system of radar target

Nguyễn Tăng Cường
Học viện Kỹ thuật Quân sự
e-Mail: ntcuong210@gmail.com
Nguyễn Vũ Hoài Nam
Học viện Kỹ thuật Quân sự
e-Mail: nguyenvuhoainam.mta@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu xây dựng thuật toán thích nghi cho hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa trong điều kiện có yếu tố bất định trong phương trình trạng thái mục tiêu. Yếu tố bất định thể hiện ở trường hợp không có được mô hình trạng thái chuẩn xác nhưng giới hạn được xét là hệ liên tục và giới nội. Bài báo đề xuất giải pháp khắc phục thông tin bất định dựa trên tiếp cận xây dựng bộ lọc thích nghi tối ưu các quá trình giới nội sử dụng tuyến tính hóa theo chuỗi Taylor và mạng nơ ron kết hợp với tối ưu hóa tín hiệu điện áp điều khiển vị trí xung cửa bám cự ly mục tiêu ra đa. Điểm mới của nghiên cứu này so với các công trình đã được công bố là: a/ thuật toán thích nghi tối ưu được chỉnh định bằng mạng nơ ron theo thông tin từ kênh quan sát để khắc phục yếu tố có thành phần hàm bất định trong phương trình trạng thái để xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa; b/ đề xuất cấu trúc hệ kín thích nghi bám tọa độ cự ly của mục tiêu ra đa với điện áp phản hồi tối ưu điều khiển vị trí xung cửa trong hệ. Phần mô phỏng so sánh hiệu quả của thuật toán mới với các thuật toán trước đây sẽ được trình bày trong các bài báo khác.

Từ khóa: hệ bám ra đa thích nghi, lọc thích nghi tối ưu, mạng nơ ron.

Abstract

The research paper presents the a synthesis of adaptive algorithm for radar tracking system to determine the range coordinate of radar target in systems with linear process models acted upon by uncertain state inputs. The uncertain state inputs represent the effect of unmodeled disturbances acting on the system and but are assumed to be continuous and bounded. The neural network is trained online to estimate the uncertain inputs. The paper solution presents an approach for construction of adaptive optimal filter with adaptive state estimation for a class of bounded process based on combination of linearization by Taylor series approximation, of augmenting linear system by neural network adaptive element, and of using optimal voltage control for the target range tracking system. The novel results of

paper in comparison with other publications: a/ the optimal adaptive algorithm augmented by neural network with information extracted from observer channel to improve the state estimation in condition of uncertain state process for determining range coordinate of radar target; b/ the proposal of close feedback structure scheme for adaptive radar tracking the target range with optimal voltage signal to control the position of window pulse in the range tracking system of radar target.

Keywords: adaptive radar tracking system, adaptive optimal filter, neural network.

1. Phần mở đầu

Xét đặt vấn đề cho bài toán tổng hợp thuật toán thích nghi của hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa với điều kiện bất định trong phương trình trạng thái mục tiêu ra đa. Hệ xác định tọa độ cự ly tuân theo phương trình trạng thái dạng tổng quát sau đây [1,2,6].

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(x, t) + Bu + x_x + B_1 g_1(x(t), z_1(t)), \\ \dot{z}_1(t) &= f_{z_1}(x(t), z_1(t), z_2(t)), \quad z_1(0) = z_{10} \\ \dot{z}_2(t) &= f_{z_2}(x(t), z_1(t), z_2(t)), \quad z_2(0) = z_{20} \end{aligned} \quad (1)$$

Kênh quan sát

$$U_{np}(t) = U_c(x, t) + x_u(t)$$

$$x(0) = x_0$$

Hoặc biểu diễn ở dạng tường minh cho phương trình trạng thái mở rộng $x = [x_{OT}, x_y]^T$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{OT} &= f_{OT}(x_{OT}, t) + \xi_{OT} + B_{1OT} g_{1OT}(x_{OT}(t), z_1(t)) \\ \dot{x}_y &= f_y(x_y, t) + \xi_y + B_{1y} g_{1y}(x_y(t), z_1(t)) + Bu \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó, x_y - vector trạng thái n_1 chiều đặc trưng cho các thông số tác động chỉnh định; x_{OT} - vector trạng thái n_2 chiều đặc trưng cho các thông số được chỉnh định; $x = [x_y, x_{OT}]^T$ - vector trạng thái mở rộng $n_x = n_1 + n_2$ chiều;

Như vậy:

$$x = [x_{OT}, x_y]^T \hat{I} D_x \hat{I} R^{n_x}, z_1 \hat{I} D_{z_1} \hat{I} R^{n_{z_1}} \quad \text{và}$$

$$z_2 \hat{I} D_{z_2} \hat{I} R^{n_{z_2}} \text{ là các trạng thái của hệ thống, } D_x, D_{z_1},$$

D_{z_2} là các tập đóng; $f(x): D_x \rightarrow R^n$ là một hàm phi tuyến đã biết trong miền $D_x \left(f(x,t) = \begin{bmatrix} f_{or}(x_{or}) \\ f_y(x_y) \end{bmatrix} \right)$;

$$B_1 = \begin{bmatrix} B_{1or} & 0 \\ 0 & B_{1y} \end{bmatrix} \text{ ma trận các hệ số đã biết; } U_c(x(t))$$

là hàm véc tơ đã biết, $f_{z_1}(x, z_1, z_2): D_x \times D_{z_1} \times D_{z_2} \rightarrow R^{n_{z_1}}$ và

$f_{z_2}(x, z_1, z_2): D_x \times D_{z_1} \times D_{z_2} \rightarrow R^{n_{z_2}}$ là các hàm chưa biết rõ mô hình, có đầu vào là các quá trình động học; $z_1(t), z_2(t)$ ẩn chưa biết rõ,

$$g_1(x, z_1) = [g_{1or}(x_{or}, z_1), g_{1y}(x_y, z_1)]^T: D_x \times D_{z_1} \rightarrow D_{g_1}$$

là hàm chưa biết rõ mô hình, z_1 có giới hạn trên \bar{z}_1 và $U_{np}(t)$ là một vector các giá trị đo lường được.

$n_z = n_{z_1} + n_{z_2}$ kích cỡ chiều chưa biết của đối tượng động học chưa rõ mô hình, nên $n = n_x + n_z$ cũng là chưa biết.

Cụ thể hóa các tham số của hệ phương trình (1) qua quy chiếu theo nguyên lý hoạt động rút gọn của hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa R . Xét phương trình trạng thái dạng cụ thể sau:

$$\dot{R} = -k_{r1}R + \xi_r + B_1 g_1(x(t), z_1(t)) \quad (3)$$

Ở đây: k_{r1} là hệ số hằng; ξ_r là tạp trắng tạo hình với kỳ vọng toán học bằng không với mật độ phổ một bên cho trước $G_{\xi_{ra}}$. Cự ly R tại thời điểm bắt đầu đo t_0 là $R(t_0)$. Từ công thức (3) có thể thấy đại lượng $T_r = 1/k_{r1}$ đặc trưng cho hằng số thời gian của lọc tạo hình tần thấp với các tham số đầu vào và đầu ra tương ứng là x_r và R .

Một thành phần được định dạng chức năng đặt trước cho bài toán tổng hợp là bộ điều khiển vị trí xung cửa bảm cự ly mục tiêu ra đa với chức năng điều khiển thay đổi giá trị tham số xung cửa R_y . Tham số R_y phản ánh vị trí xung cửa cự ly - theo thời gian hoạt động - cần bảm phải trùng với vị trí xung ra đa phản xạ thu được. Tham số R_y của bộ điều khiển vị trí xung cửa bảm cự ly được thay đổi theo biểu thức sau:

$$\dot{R}_y = b_{ur} u_r \quad (4)$$

Trong đó: b_{ur} là hệ số tỷ lệ bằng tốc độ thay đổi của R_y khi u_r có giá trị bằng một. Tại thời điểm ban đầu t_0 , cự ly tại thời điểm ban đầu là $R_y = R_y(t_0)$.

Đề biểu diễn dưới dạng véc tơ - ma trận cho (3) và (4) ta sử dụng các ký hiệu ma trận và véc tơ sau:

$$X = \begin{bmatrix} R \\ R_y \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} k_{r1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_{ur} \end{bmatrix},$$

$$u = u_r, \xi_x^T = [\xi_r \quad 0]$$

Xét tín hiệu thu về là chùm các xung vô tuyến với sóng mang là tín hiệu điều hòa và chùm xung được điều chế biên độ với đường bao dạng hình chuông (biên độ xung là U_{np} ; chu kỳ lặp xung - T_u ; độ rộng xung tương đương τ_u và tần số mang ω của các xung đó là biết trước). Lúc này, ứng với độ dài của một xung vuông có biên độ U_{np} và diện tích đúng bằng

diện tích xung của chùm xung chuông đang xét. Xung vô tuyến thu được với chỉ số i ($i=1, 2, \dots$) tại cự ly R [2,3,4]:

$$u_{np1} = U_{np} \exp \left[-\frac{\pi}{2\tau_u^2} \left(t - iT_u - \frac{2R}{c} \right)^2 \right] \times \cos \left[\omega \left(t - \frac{2R}{c} \right) \right] + \xi_{u1} \quad (5)$$

Trong đó: ξ_{u1} là tạp trắng với kỳ vọng toán bằng không và mật độ phổ một bên cho trước là $G_{\xi_{u1}}$. Ngoài

ra, ta cũng giả thiết rằng, bộ điều khiển vị trí xung cửa R_y là một khâu không quán tính có điện áp ra là:

$$u_{np2} = k_{ry} R_y + \xi_{uy} \quad (6)$$

Trong đó: k_{ry} là hệ số truyền đạt của bộ điều khiển vị trí xung cửa R_y , còn ξ_{uy} là tạp trắng với kỳ vọng toán bằng không và mật độ phổ một bên cho trước $G_{\xi_{ry}}$.

Điện áp U_{np1} và U_{np2} tạo ra véc tơ quan sát U_{np} . Bài báo xét bài toán tổng hợp đối với hệ tuyến tính, nên mối liên hệ giữa điện áp U_{np} với cự ly R cần phải được tuyến tính hóa theo chuỗi Taylor tại điểm giá trị ước lượng \hat{R} của cự ly R dưới dạng tuyến tính hóa sau

$$u_{np1} = u_{c1}(\hat{R}) + \frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} (R - \hat{R}) + \xi_{u1} \quad (7)$$

Trong đó:

$$u_{c1}(\hat{R}) = U_{np} \exp \left[-\frac{\pi}{2\tau_u^2} \left(t - iT_u - \frac{2\hat{R}}{c} \right)^2 \right] \times \cos \left[\omega \left(t - \frac{2\hat{R}}{c} \right) \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} = \frac{\partial u_{np1}}{\partial \hat{R}} \Big|_{(R=\hat{R})} = \frac{2U_{np}}{c} \exp \left[-\frac{\pi}{2\tau_u^2} \left(t - iT_u - \frac{2\hat{R}}{c} \right)^2 \right] \times \left\{ \frac{\pi}{\tau_u^2} \left(t - iT_u - \frac{2\hat{R}}{c} \right) \right\} \times \cos \left[\omega \left(t - \frac{2\hat{R}}{c} \right) \right] + \omega \sin \left[\omega \left(t - \frac{2\hat{R}}{c} \right) \right] \quad (9)$$

Kết hợp (6) và (7) ta sẽ nhận được phương trình kênh quan sát dạng ma trận - véc tơ sau:

$$u_{np}(t) = Hx + \xi_u(t) + u_c(\hat{x})$$

Trong đó:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} & 0 \\ 0 & k_{ry} \end{bmatrix}, u_c(\hat{x}) = \begin{bmatrix} u_{c1}(\hat{R}) \\ k_{ry}(\hat{R}_y) \end{bmatrix}$$

$$\xi_u^T = [\xi_{u1} \quad \xi_{uy}]$$

Để giải quyết bài toán đặt ra, bài báo sẽ xây dựng thuật toán bộ lọc tuyến tính cận tối ưu thích nghi (dùng mạng nơ ron) đồng thời với xác định cấu trúc hệ kín bảm cự ly mục tiêu ra đa với điện áp phản hồi tối ưu cho bộ điều khiển vị trí xung cửa.

2. Xây dựng thuật toán thích nghi dùng mạng nơ ron cho hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa

Lời giải bài toán xây dựng thuật toán thích nghi dùng mạng nơ ron tổng quát cho lớp các hệ bám vô tuyến điện tử đã được trình bày trong công trình [6]. Hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa trong điều kiện có yếu tố bất định trong phương trình trạng thái mục tiêu là một trường hợp riêng cụ thể của lớp các hệ bám vô tuyến điện tử nêu trên. Do vậy, bài báo này dựa trên cách tiếp cận và kết quả ở [6] để phát triển thuật toán thích nghi dùng mạng nơ ron cho hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa.

Theo [2,6], dạng tuyến tính hóa của phương trình trạng thái (1) và (2) như sau:

$$\dot{\hat{x}}(t) = F(\hat{x})x + f(\hat{x}) - F(\hat{x})\hat{x} + Bu + x_x + B_1g_1(x(t), Z(t)) \quad (10)$$

$$F_{OT}(\hat{x}_{OT}, t) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_{OT1}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OT1}} & \frac{\partial f_{OT1}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OT2}} & \dots & \frac{\partial f_{OT1}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OTn2}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{OTm2}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OT1}} & \frac{\partial f_{OTm2}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OT2}} & \dots & \frac{\partial f_{OTm2}(\hat{x}_{OT}, t)}{\partial \hat{x}_{OTn2}} \end{pmatrix}$$

$$F_y(\hat{x}_{OT}, t) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_{y1}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{y1}} & \frac{\partial f_{y1}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{y2}} & \dots & \frac{\partial f_{y1}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{ym2}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{ym2}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{y1}} & \frac{\partial f_{ym2}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{y2}} & \dots & \frac{\partial f_{ym2}(\hat{x}_y, t)}{\partial \hat{x}_{ym2}} \end{pmatrix}$$

với $i = 1 \div n_2, j = 1 \div n_2, k = 1 \div n_1, l = 1 \div n_1$.

Theo [6], kênh quan sát phi tuyến (1) xấp xỉ gần đúng bởi phương trình tuyến tính (tuyến tính hóa tại điểm ước lượng \hat{x}).

$$U_{np}(t) = H(\hat{x})x + x_n(t) + u_c(\hat{x}, t) - H(\hat{x})\hat{x} \quad (11)$$

Trong đó: $H(\hat{x})$ là ma trận chuyển vị Jacobi

$$H(\hat{x}) = \left. \frac{\partial u_c(x, t)}{\partial x} \right|_{(x=\hat{x})} = \frac{\partial u_c(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}} \quad (12)$$

$$H(\hat{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_{c1}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_1} & \dots & \frac{\partial u_{c1}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial u_{cm}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_1} & \dots & \frac{\partial u_{cm}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_m} \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$H(\hat{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_{c1}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_1} & \dots & \frac{\partial u_{c1}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial u_{cm}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_1} & \dots & \frac{\partial u_{cm}(\hat{x}, t)}{\partial \hat{x}_m} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Với các bước tuyến tính hóa như trên, bài toán có các hàm phi tuyến tường minh $f(x)$, $u_c(x)$ có thể đưa được về dạng sử dụng kết quả của lý thuyết lọc tối ưu tuyến tính.

Các thành phần bất định trong phương trình trạng thái (5) và (2) sẽ được ước lượng xấp xỉ dùng mạng nơ ron theo các sai số động học được trình bày sau đây.

Áp dụng định lý 1 trong [1]: xét véc tơ trạng thái n_x chiều $x(t)$ của hệ phi tuyến quan sát được:

$$\dot{\hat{x}} = f(x(t)) \quad (15)$$

$$u_{np}(t) = h(x(t))$$

Trong đó:- Hàm véc tơ $f(\hat{x}, t) = \begin{pmatrix} f_{OT}(\hat{x}_{OT}, t) \\ f_y(\hat{x}_y, t) \end{pmatrix}$

- Ma trận khối

$$F(\hat{x}, t) = \begin{pmatrix} F_{OT}(\hat{x}_{OT}, t) & 0_1 \\ 0_2 & f_y(\hat{x}_y, t) \end{pmatrix}$$

Ở đây

$$F_{OT}(\hat{x}_{OT}, t) = \left. \frac{\partial f_{OT}(x_{OT}, t)}{\partial x_{OT}} \right|_{(x_{OT} = \hat{x}_{OT})}$$

$$F_y(\hat{x}_{OT}, t) = \left. \frac{\partial f_y(y, t)}{\partial x_y} \right|_{(x_y = \hat{x}_{OT})}$$

Là ma trận chuyển vị Jacobi kích thước $n_2' \times n_2$ và $n_1' \times n_1$, 0_1 và 0_2 là ma trận không kích thước $n_2' \times n_1$ và $n_1' \times n_2$.

Khi triển khai đầy đủ:

Xét các tọa độ $x(t)$ nằm trong khối cầu n_x chiều, bán kính \bar{r} thuộc R^{n_x} .

$$B_r = \{x(t) \in R^{n_x}, x(t) \in \bar{r}\}$$

Giả định đầu ra (lượng quan sát) của hệ thống $u_{np}(t) \in R^m$ và có vi phân đến bậc (n_x-1) là giới nội.

Khi đó với số $\epsilon^* > 0$ tồn tại một tập các trọng số giới nội và có thời gian trễ dương: $d > 0$ sao cho hàm $f(x(t))$ trong (15) có thể xấp xỉ hóa trên tập đóng B_r bằng mạng nơ ron tham số tuyến tính.

$$f(x(t)) = M^T s(m(t)) + e(m(t)), \|M\|_F \leq M^*$$

Với $\|M\|_F \leq M^*$, $\|e(m(t))\|_F \leq \epsilon^*$

Sử dụng véc tơ đầu vào:

$$m(u_{np}(t), d) = [D_d^{(0)} u_{np}^T(t) \dots D_d^{(n-1)} u_{np}^T(t)]^T \hat{I} \in R^{nm} \quad (16)$$

$$\|m(t)\| \leq m^*$$

Trong đó các ký hiệu thành phần vi phân (sai phân) hữu hạn xác định bởi:

$$D_d^{(0)} u_{np}^T(t) @ u_{np}^T(t)$$

$$D_d^{(1)} u_{np}^T(t) @ \frac{u_{np}^T(t) - u_{np}^T(t-d)}{d}$$

$$D_d^{(k)} u_{np}^T(t) @ \frac{D_d^{(k-1)} u_{np}^T(t) - D_d^{(k-1)} u_{np}^T(t-d)}{d}$$

$k=1,2,\dots$ và $\mu^*>0$ là giới nội và đơn điệu trong B_r .
Sử dụng định lý 1 trên để xem xét xấp xỉ hàm $g_I(x,z_I)$
dùng mạng nơ ron được xác định trên tập đóng:

$$D_{g_1} = \left\{ (x, z_1) : x \in D_x \text{ và } R^{n_x}; z_1 \in D_{z_1} \text{ và } R^{n_{z_1}} \right\}$$

Với D_{z_1} và D_x là các tập đóng

$$g_1(x, z_1) = M^T s(m(t) + e(m(t))), \quad (17)$$

$$\|M\|_F \text{ và } \|e(m)\| \leq e^*$$

Trong đó M^* ký hiệu giới hạn trên đã biết của chuẩn Frobenius của các trọng số trong phương trình (14), μ là vector các thành phần vi phân hữu hạn của giá trị đo lường $u_{np}(t)$ trong (16); $\delta(x)$ - hàm sigmoid cho mạng nơ ron:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

Áp dụng lý thuyết lọc tối ưu tuyến tính cho các phương trình trạng thái tuyến tính hóa (10) và xấp xỉ hàm bất định bởi mạng nơ ron (17), nhận được sơ đồ tổng quát của bộ lọc tối ưu thích nghi như sau:

$$\begin{aligned} \hat{x} &= f(\hat{x}, t) + K_M \hat{u}_{np}(t) - u_c(\hat{x}, t) \\ &+ Bu + B_1 J_{ad}(t) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\dot{\hat{x}} = F(\hat{x})\hat{x} + K_M [u_{np}(t) - u_c(\hat{x}, t) - m] +$$

$$Bu + B_1 \cdot \mathcal{G}_{ad}(t) \quad (19)$$

Trong đó: $K_M = 2DH^T(\hat{x})G_{xx}^{-1}$ là ma trận các hệ số khuếch đại của bộ lọc, D là ma trận hàm tương quan hậu nghiệm, G_{xx} là ma trận cường độ tạp trắng kênh quan sát, $\mathcal{G}_{ad}(t)$ là véc tơ đầu ra mạng nơ ron thực hiện xấp xỉ hóa hàm bất định $g_I(x, z_I)$, \hat{M} là ước lượng của trọng số được chỉnh định online. Luật chỉnh định mạng nơ ron cho \hat{M} là:

$$\dot{\hat{M}}(t) = G_M \left\{ s(m(t))u_{np}^T(t) + k_s (\|\bar{u}_{np}(t)\|) \hat{M}(t) \right\} \quad (20)$$

Trong đó: $u_{np} @ u_{np}(t) - \hat{u}_{np}(t)$, k_s - hệ số luật chỉnh, (xem (2) và $\Gamma_M > 0$ - tốc độ học của mạng nơ ron.

Ký hiệu $e(t) @ x(t) - \hat{x}(t)$ ta có thể đưa ra sai số động học của bộ lọc như sau:

$$\begin{aligned} e(t) &= f(x(t)) - f(\hat{x}(t)) + B_1 g_1(x(t), z_1(t)) \\ &- B_1 J_{ad}(t) - K_M \hat{u}_{np}(t) - u_c(\hat{x}, t) \end{aligned} \quad (21)$$

Thay thế $J_{ad}(t) = M^T s(m(t))$, phương trình (14) vào (17), thành phần sai số của các trọng số mạng nơ ron, có thể viết lại sai số động học $e(t)$ dưới dạng khác:

$$\begin{aligned} e(t) &= f(x(t)) - f(\hat{x}(t)) + B_1 M(t) s(m(t)) \\ &+ B_1 x(m(t)) - K_M \hat{u}_{np}(t) - u_c(\hat{x}, t) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\dot{\hat{M}}(t) = -G_M \left\{ s(m(t))\bar{u}_{np}^T(t) + k_s (\bar{u}_{np}(t)) \hat{M}(t) \right\}$$

Trong phương trình bộ lọc thích nghi (18,19), thành phần ma trận phương sai hậu nghiệm D được tìm từ phương trình Ricatti sau:

$$\dot{B} = F(\hat{x})D + DF^T(\hat{x}) - 2DH^T(\hat{x})D + 0,5G_{xx} \quad (23)$$

Trong đó G_{xx} - ma trận cường độ tạp trắng $\zeta_x(t)$

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{1r} & D_{1ry} \\ D_{21} & D_{22} & D_{2r} & D_{2ry} \end{bmatrix}$$

Trong đó D - Ma trận các phương sai hậu nghiệm D_r, D_{ry}, D_{rry}

Bài toán xác định điện áp tối ưu cho bộ điều khiển vị trí xung cửa bám cự ly mục tiêu được tìm từ điều kiện tối thiểu hóa phiếm hàm chất lượng:

$$\hat{J} = M_{dk} \int_{t_0}^t (R - R_y)^2 + \frac{1}{K} \int_{t_0}^t u_r^2(t) dt \quad (24)$$

Ở đây, $M_{dk}\{\cdot\}$ - ký hiệu phép toán lấy kỳ vọng xác suất trong điều kiện quan sát thể hiện $U_{np}(t)$ (xử lý tín hiệu quan sát). Trong điều kiện bài toán này với những phương trình trạng thái, quan sát là tuyến tính và với tiêu chuẩn chất lượng dạng (24), thì ta có thể tìm điều khiển tối ưu theo phương pháp nguyên lý cực đại Pôntraghin ngẫu nhiên cho điều khiển cục bộ (local control) và tìm được véc tơ điều khiển tối ưu u_{er} như đã trình bày trong [2]:

$$u = u_r = KB_{ur}(\hat{R} - \hat{R}_y) \quad (25)$$

Trong đó: \hat{R}, \hat{R}_y là những giá trị ước lượng cự ly mục tiêu R và cự ly xung cửa R_y .

Thay các giá trị vật lý của các ma trận và véc tơ của hệ xác định cự ly mục tiêu như trong các công thức ở phần đặt vấn đề của bài báo vào các biểu thức (19) và (23) và triển khai tường minh dưới dạng vô hướng ta nhận được:

- Phương trình khối đánh giá của bộ lọc tạo lập các ước lượng cận tối ưu xác định cự ly mục tiêu ra đa R và cự ly xung cửa R_y .

$$\dot{\hat{R}} = -k_r \hat{R} + D_r z_{rc1} + D_{rrc} z_{rc2} + B_1 J_{ad}(t) \quad (26)$$

$$\dot{\hat{R}}_y = D_{ry} z_{rc1} + D_{ry} z_{rc2} + b_{ur} u_r \quad (27)$$

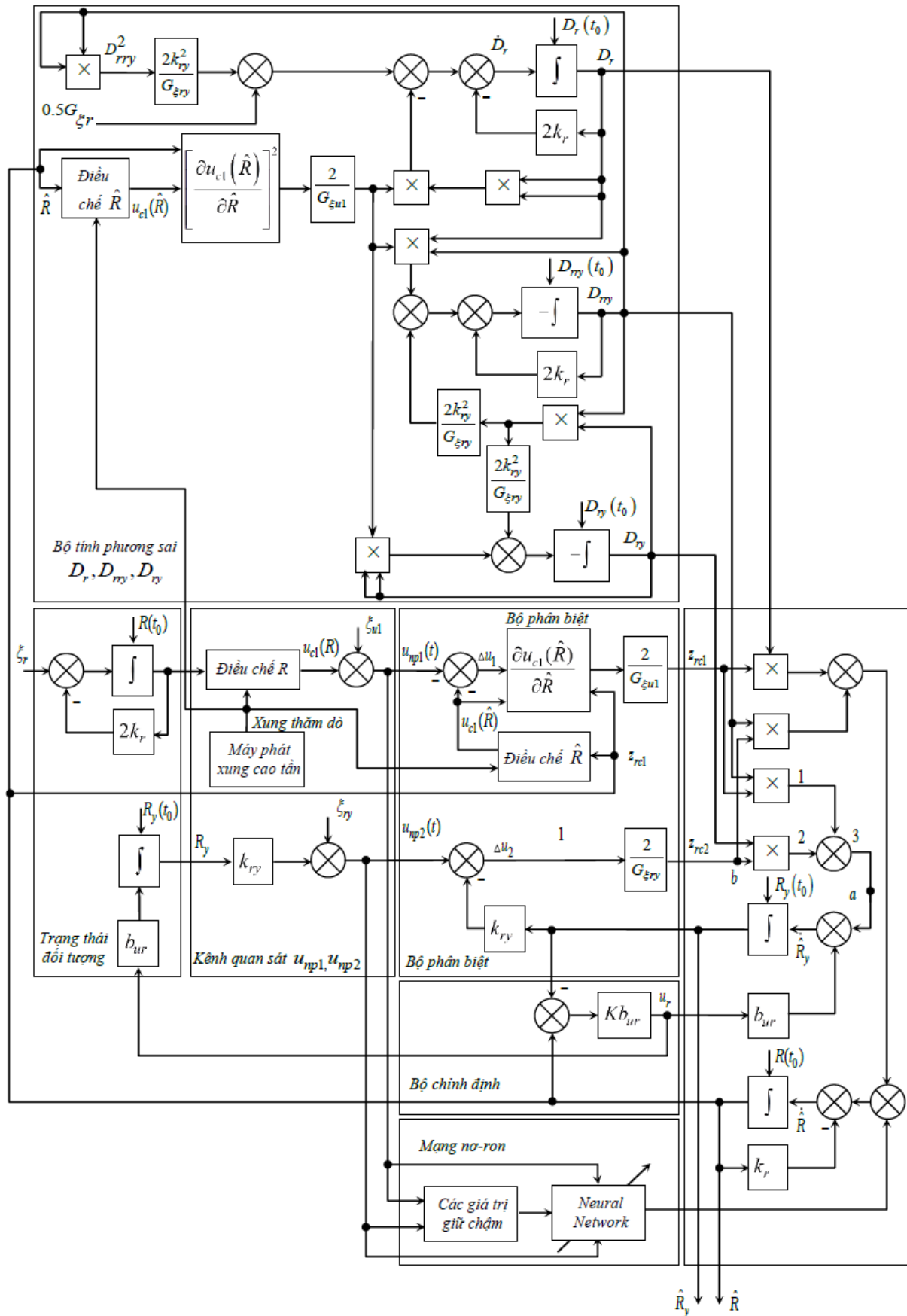
$$R(t_0), R_y(t_0)$$

Trong đó: z_{rc1}, z_{rc2} - các đại lượng vô hướng tạo thành véc tơ z_{rc} của bộ phân biệt.

$$z_{rc1} = \frac{2}{G_{\xi_{u1}}} \frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} [u_{np1} - u_{c1}(\hat{R})] \quad (28)$$

$$z_{rc2} = \frac{2}{G_{\xi_{u2}}} [u_{np2} - k_{ry}(\hat{R}_y)] \quad (29)$$

- Phương trình khối chỉnh xác của bộ lọc tạo lập các phương sai hậu nghiệm của sai số lọc



H.1: Sơ đồ cấu trúc hệ bám thích nghi dùng mạng nơ-ron cho hệ xác định tọa độ cực ly mục tiêu Ra đa

$$\dot{D}_r = -2k_{r1}D_r - \frac{2}{G_{\xi_{11}}} \left[\frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} \right]^2 D_r^2 - \frac{2k_{ry}^2}{G_{\xi_{ry}}} D_{rry}^2 + 0,5G_{\xi_r} \quad (30)$$

$$\dot{D}_{rry} = -k_{r1}D_{rry} - \frac{2}{G_{\xi_{11}}} \left[\frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} \right]^2 D_r D_{rry} - \frac{2k_{ry}^2 D_{ry} D_{rry}}{G_{\xi_{ry}}} \quad (31)$$

$$\dot{D}_{ry} = -\frac{2}{G_{\xi_{11}}} \left[\frac{\partial u_{c1}(\hat{R})}{\partial \hat{R}} \right]^2 D_{rry} - \frac{2k_{ry}^2 D_{ry}^2}{G_{\xi_{ry}}} \quad (32)$$

Trong các phương trình từ (28) - (32) tất cả các thông số đều đã biết, trừ các phương sai ban đầu khi $t=t_0$. $D_r(t_0), D_{rry}(t_0), D_{ry}(t_0)$ Các điều kiện ban đầu này cần xác định từ ý nghĩa vật lý thực tế. Sau khi giải được các phương trình này, có thể tìm ra quy luật biến đổi của $D_r(t), D_{rry}(t), D_{ry}(t)$ theo thời gian và dưới dạng các chương trình tương ứng đưa vào các bộ khuếch đại với các hệ số truyền $D_r(t), D_{rry}(t), D_{ry}(t)$ (H.1). Sơ đồ cấu trúc động học (H.1) của hệ thích nghi dùng mạng nơ ron để xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa trong điều kiện bất định trong phương trình trạng thái mục tiêu ra đa được tổng hợp có kết hợp với bộ điều khiển tối ưu vị trí xung cửa.

3. Kết luận

Điểm mới đóng góp về mặt khoa học của bài báo so với các công trình đã được công bố là đề xuất và xây dựng được cấu trúc hệ xác định tọa độ cự ly mục tiêu ra đa trên cơ sở tổng hợp thuật toán bộ lọc tuyến tính cận tối ưu thích nghi với chỉnh định dùng mạng nơ ron theo thông tin từ kênh quan sát để khắc phục yếu tố có thành phần hàm bất định trong phương trình trạng thái. Thuật toán lọc thích nghi được xây dựng ở đây không chỉ đưa ra các ước lượng cho cự ly mục tiêu ra đa R và cự ly xung cửa R_r mà còn kết hợp đồng thời với xây dựng đặc tính phân lập tối ưu [6], tổng hợp được với bộ điều khiển tối ưu vị trí xung cửa để nâng cao chất lượng toàn hệ thống. Dẫn dắt chứng minh các kết quả thuật toán trong bài báo khi thực hiện riêng biệt công đoạn xây dựng bộ lọc tối ưu thích nghi và công đoạn xây dựng bộ điều khiển tối ưu vị trí xung cửa có cơ sở khoa học tin cậy dựa trên định lý phân tách riêng hai công đoạn tối ưu hóa này (lọc tối ưu và điều khiển tối ưu) mà không ảnh hưởng đến tính khoa học tổng quát (đúng cho các hệ tuyến tính ngẫu nhiên). Do nội dung của bài báo đã khá lớn, nên phần mô phỏng so sánh hiệu quả của thuật toán mới với các thuật toán trước đây sẽ được trình bày riêng biệt trong các bài báo khác (nội dung mô phỏng cũng có dung lượng khá

lớn do có nhiều điểm tính tế nên cần được giải trình chi tiết, tin cậy các luận cứ khoa học).

Tài liệu tham khảo:

- [1] E. Lavretsky, N. Hovakimyan, and A. Calise: Upper bounds for approximation of continuous time dynamics using delayed outputs and feedforward neural networks. IEEE Transaction on Automatic Control, 48(9):1606-1610, 2003
- [2] М.В. Максимов, В.И. Меркупов: Радиоэлектронные следящие системы. Москва «Радио и связь», 1990
- [3] Первачев С.В.: Радиоавтоматика. Москва «Радио и связь», 1982.
- [4] Артемьев. В. М. и другие: Управление в системах с разделением времени. Минск, высшая школа, 1987.
- [5] Nguyễn Tăng Cường, Vũ Đức Trường: Xây dựng thuật toán lọc thích nghi sử dụng tuyến tính hóa thống kê và mạng nơ ron. Hội nghị toàn quốc lần thứ 6 về Cơ Điện tử - VCM-2012.
- [6] Lê Hải Hà, Nguyễn Vũ Hoài Nam, Nguyễn Tăng Cường : Tổng hợp thuật toán lọc xấp xỉ tuyến tính thích nghi với đặc tính phân biệt tối ưu. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật.-Số 169(7- 2015) - Học viện KTQS.



Nguyễn Vũ Hoài Nam, sinh năm 1975, ông tốt nghiệp đại học ngành Tên lửa phòng không và cao học tự động hóa tại Học viện Kỹ thuật Quân sự, năm 2000 và 2010. Ông hiện là Giảng viên tại Khoa Kỹ thuật điều khiển, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hướng nghiên cứu chính là: xử lý tín hiệu ra đa, lọc tối ưu thích nghi, mạng nơ ron trong xử lý tín hiệu.



Nguyen Tang Cuong was born in 1950, Assc. Professor, Ph.D, Lecture in Le Quy Don Technical University. He received University Education, Ph.D Degree and Post-graduate Technology Practics from Minsk Air Defence Missile Engineering University, and Bauman Moscow State Technical University. He published more than 80 scientific papers in technical related fields of Automation, Flight Equipment Control, Computer System, Signal Processing and Industrial Control System.