

ỨNG DỤNG MẠNG NƠ - RÔN TRUYỀN THẮNG NHIỀU LỚP TRONG THIẾT BỊ LÁI TỰ ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN HƯỚNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU NGẦM

APPLICATION OF MULTILAYER FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS INTO AN AUTOPILOT FOR HEADING OF AN UNDERWATER VEHICLE

Phạm Hữu Đức Dục

Trường Đại học Kinh tế-Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT

Tàu ngầm hoạt động thường gặp các chướng ngại vật trên hành trình. Vì vậy vấn đề đặt ra là cần trang bị cho nó một thiết bị lái tự động có mức độ thông minh cao, không cần có người điều khiển, mà tàu ngầm vẫn đi qua được các chướng ngại vật theo một hành trình đã định trước. Bài báo này giới thiệu động học hướng chuyển động của tàu ngầm, sau đó đề xuất một giải pháp ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp đóng vai trò là thiết bị lái tự động hướng chuyển động trang bị cho tàu ngầm loại Remus với mục đích là làm tăng mức độ thông minh của thiết bị này và thực hiện mô phỏng trên phần mềm Matlab. Kết quả mô phỏng ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp cho thiết bị lái tự động hướng chuyển động của tàu ngầm loại Remus sẽ cho thấy tính ưu việt và khả thi của giải pháp này.

ABSTRACT

When an underwater vehicle runs, it usually has to face up with a lot of obstacles on its itinerary. Hence, the matter is that it needs an intelligent autopilot which helps the vehicle be able to go through the obstacles to follow the target itinerary. This article is purposed to both introduce the heading of underwater vehicle model and propose a solution applying multilayer feed forward networks into an autopilot used for the heading of Remus underwater vehicle with the aim of increasing an intelligence level of an autopilot and it is simulated by Matlab software. The result of the simulation in the Matlab software when using feed forward neural networks into an autopilot used for heading of an underwater vehicle in an autopilot shows that the solution is advantageous and feasible.

I. MỞ ĐẦU

Tàu ngầm hoạt động thường gặp các chướng ngại vật trên hành trình. Để nó có thể vượt qua chúng, cần thay đổi hướng chuyển động theo lộ trình hợp lý. Với tàu ngầm có người điều khiển, hướng chuyển động được điều chỉnh bằng cách thực hiện quay tay lái điều khiển bánh lái. Có khá nhiều trường hợp cần khảo sát phía dưới mặt nước nhưng gây nguy hiểm cho thủy thủ đoàn, do đó cần có một loại tàu ngầm được trang bị thiết bị lái tự động có độ thông minh cao không có người điều khiển, cho phép hướng chuyển động của tàu ngầm bám theo được hướng chuyển động mẫu đã được định trước. Như vậy cần thiết kế một bộ điều khiển thích nghi đóng vai trò là thiết bị lái tự động có độ thông minh cao trang bị cho tàu ngầm sao cho hướng chuyển động của nó

bám theo được hướng chuyển động mong muốn xác định trước mà không cần có người điều khiển.

Mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp có nhiều ưu điểm là có cấu trúc đơn giản, có luật học lan truyền ngược của sai lệch tin cậy. Vì vậy ứng dụng nó trong các lĩnh vực nhận dạng, nhận mẫu và điều khiển sẽ đáp ứng được yêu cầu đặt ra.

Bài báo này đề xuất một giải pháp ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp đóng vai trò là thiết bị lái tự động trang bị cho tàu ngầm loại Remus làm việc phía dưới mặt nước, ở độ sâu không đổi, bám theo được hướng chuyển động mong muốn để làm tăng mức độ thông minh của thiết bị này, không đề cập đến điều khiển tàu ngầm thực hiện lặn sâu hoặc nổi lên mặt nước.

II. ĐỘNG HỌC HƯỚNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU NGẦM

Phần này đưa ra mô hình hướng chuyển động của tàu ngầm, không nghiên cứu đến mô hình lặn sâu, nổi lên. Theo [1] mô hình tàu ngầm được thiết lập với các giả thiết sau.

Mô hình ở dạng vật rắn tuyệt đối; sự quay của trái đất không ảnh hưởng đến các thành phần chuyển động của tàu ngầm; tàu ngầm có kết cấu là đối xứng theo trục dọc thân tàu; tàu ngầm đang chuyển động thẳng, đều với tốc độ chuyển động nhỏ, ở độ sâu không đổi, trên mặt phẳng nằm ngang, phía dưới mặt nước. Do đó khi cần xác định vectơ tốc độ thay đổi hướng r một cách gần đúng, chỉ cần quan tâm về độ lớn của nó, còn yếu tố về phương và chiều có thể coi là không thay đổi. Sau đây là các phương trình mô tả tác động của các lực thành phần làm tàu ngầm bị lắc và bị lệch hướng ảnh hưởng đến hướng chuyển động của nó:

$$u_r = U_0 \quad (1)$$

$$m\dot{v}_r = -mU_0 r + \Delta Y_f \quad (2)$$

$$I_{zz}\dot{r} = \Delta N_f \quad (3)$$

$$\dot{\psi} = r \quad (4)$$

m là khối lượng của tàu ngầm; u_r là tốc độ chuyển động của tàu ngầm với $u_r = U_0 = \text{const}$; $v_r, \dot{v}_r$ tương ứng là tốc độ, gia tốc lắc; ψ là hướng chuyển động; $r, \dot{r}$ tương ứng là tốc độ, gia tốc chuyển hướng; I_{zz} là mômen quán tính.

Với các giả thiết trên cho phép tồn tại sự cân bằng giữa lực đẩy thủy lực và phản lực giống như trọng lượng và lực đẩy của nước làm tàu ngầm nổi lên. Các lực thủy động học có quan hệ với tốc độ, gia tốc của tàu ngầm khi bị lắc hoặc bị lệch hướng so với hướng ban đầu (giả thiết là đường thẳng). Do tàu ngầm có kết cấu đối xứng theo trục dọc thân tàu nên các thông số thay đổi theo phương nằm ngang độc lập với nhau. [1] đã đưa ra các phương trình sau đây mô tả sự thay đổi của các lực thủy động học làm tàu ngầm bị lắc, bị lệch hướng theo phương nằm ngang:

$$\Delta Y_f = f(v_r, dv_r/dt, r, dr/dt, \delta_r, t) \quad (5)$$

$$\Delta N_f = f(v_r, dv_r/dt, r, dr/dt, \delta_r, t) \quad (6)$$

Lực tác động của bánh lái được phân thành hai thành phần tuyến tính là: $Y_\delta \delta_r$ và $N_\delta \delta_r$ (δ_r là góc của bánh lái). Thực hiện khai triển (5), (6) theo chuỗi Taylo, biến đổi có ΔY_f và ΔN_f tương ứng là thay đổi của lực tác động ngang làm tàu ngầm bị lắc và mômen quay làm tàu ngầm bị lệch hướng, viết ở dạng phương trình tuyến tính sau đây:

$$\Delta Y_f = Y_{\dot{v}_r} \dot{v}_r + Y_{v_r} v_r + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_r r + Y_\delta \delta_r \quad (7)$$

$$\Delta N_f = N_{\dot{v}_r} \dot{v}_r + N_{v_r} v_r + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_r r + N_\delta \delta_r \quad (8)$$

trong đó các hệ số của hai phương trình tuyến tính (7), (8) có dạng sau đây:

$$Y_{\dot{v}_r} = \frac{\partial Y_f}{\partial \dot{v}_r}; Y_{v_r} = \frac{\partial Y_f}{\partial v_r}; Y_{\dot{r}} = \frac{\partial Y_f}{\partial \dot{r}}; Y_r = \frac{\partial Y_f}{\partial r};$$

$$N_{\dot{v}_r} = \frac{\partial N_f}{\partial \dot{v}_r}; N_{v_r} = \frac{\partial N_f}{\partial v_r}; N_{\dot{r}} = \frac{\partial N_f}{\partial \dot{r}}; N_r = \frac{\partial N_f}{\partial r}$$

Từ các phương trình (1) đến (8) thực hiện các phép biến đổi được phương trình trạng thái động học hướng chuyển động của tàu ngầm viết ở dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}_r} & -Y_{\dot{r}} & 0 \\ -N_{\dot{v}_r} & I_{zz} - N_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{v_r} & Y_r - mU_0 & 0 \\ N_{v_r} & N_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (9)$$

III. ỨNG DỤNG MẠNG NƠ - RÔN TRUYỀN THĂNG NHIỀU LỚP TRONG THIẾT BỊ LÁI TỰ ĐỘNG ĐIỀU KHIỂN HƯỚNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU NGẦM LOẠI REMUS

Phần này trình bày một giải pháp ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thăng nhiều lớp trong thiết bị lái tự động điều khiển thích nghi hướng chuyển động của tàu ngầm loại Remus. Loại tàu ngầm này được thiết kế tại phòng thí nghiệm Oceanographic Systems, Wood's Hole Oceanographic Institute [1], được sử dụng để hoạt động khảo sát thủy văn ở vùng nước có độ sâu từ 40 đến 100 feet. Nó có bốn vây ở sườn,

hai nằm ngang và hai thẳng đứng. Mô hình tàu ngầm loại Remus trình bày tại hình 1.



Hình 1. Mô hình tàu ngầm loại Remus

3.1 Xây dựng bài toán điều khiển

Phần này trình bày giải pháp thiết kế thiết bị lái tự động ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp, thỏa mãn điều kiện khi hướng chuyển động mong muốn ψ_d thay đổi thì góc quay của bánh lái δ_r sẽ thay đổi một cách tự động nhằm thực hiện tác động điều khiển làm cho hướng chuyển động của tàu ngầm ψ luôn bám theo được ψ_d cho trước. Từ (9) thực hiện biến đổi, phương trình trạng thái động học của tàu ngầm có dạng:

$$\dot{x} = Ax + B\delta_r \quad (10)$$

$$A = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}_r} & -Y_{\dot{r}} & 0 \\ -N_{\dot{v}_r} & I_{zz} - N_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{v_r} & Y_r & -mU_0 & 0 \\ N_{v_r} & N_r & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}_r} & -Y_{\dot{r}} & 0 \\ -N_{\dot{v}_r} & I_{zz} - N_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$x = [v_r \ r \ \psi]^T \quad (11)$$

Giả thiết tồn tại ma trận nghịch đảo:

$$\det \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}_r} & -Y_{\dot{r}} & 0 \\ -N_{\dot{v}_r} & I_{zz} - N_{\dot{r}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \neq 0 \quad (12)$$

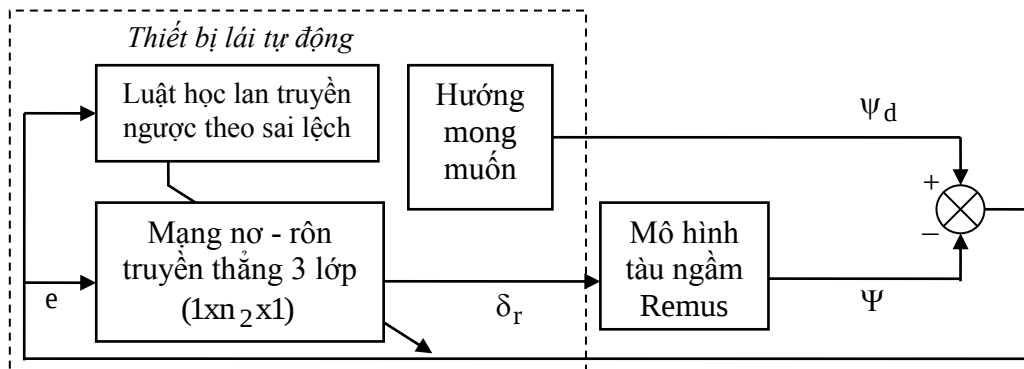
$$\text{hay: } (m - Y_{\dot{v}_r})(I_{zz} - N_{\dot{r}}) - N_{\dot{v}_r} Y_{\dot{r}} \neq 0$$

3.2 Thiết lập sơ đồ điều khiển

Hình 2 là sơ đồ thiết bị lái tự động điều khiển thích nghi hướng chuyển động tàu ngầm theo phương pháp mô hình mẫu ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp. Mạng nơ - rôn $(1 \times n_2 \times 1)$ đóng vai trò là thiết bị lái tự động có nhiệm vụ tạo tín hiệu điều khiển là góc bánh lái δ_r thay đổi tự động làm cho hướng chuyển động của tàu ngầm ψ luôn bám theo được hướng chuyển động mẫu mong muốn ψ_d đã được cho trước. Sơ đồ bộ điều khiển ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp trong thiết bị lái tự động của tàu ngầm trình bày ở hình 3. Mạng nơ - rôn $(1 \times n_2 \times 1)$ gồm có ba lớp: lớp vào có số nút là $n_1 = 1$ đưa tín hiệu sai lệch $e = \psi_d - \psi$ vào mạng; lớp ra có số nút là $n_3 = 1$ đưa tín hiệu điều khiển là góc quay của bánh lái là δ_r điều khiển hướng chuyển động của tàu ngầm; lớp ẩn có số nút là n_2 cần được xác định trong quá trình điều khiển.

3.3 Quá trình điều khiển

Phần này trình bày luật học lan truyền ngược theo sai lệch [2] để tìm luật điều



Hình 2. Sơ đồ ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng 3 lớp $(1 \times n_2 \times 1)$ trong thiết bị lái tự động của tàu ngầm loại Remus

chính ma trận trọng số và bias của mạng ($1 \times n_2 \times 1$) là: $w_1 = [w_{mj}]_{n_2 \times 1}$; $w_2 = [w_{im}]_{1 \times n_2}$ ma trận bias: $b_2 = [b_m]_{1 \times n_2}$; $b_3 = [b_i]_{1 \times 1}$ (với $j=1$; $m=1,2,\dots,n_2$; $i=1$) để tạo ra được tín hiệu điều khiển góc lái tự động δ_r sao cho ψ luôn bám theo được ψ_d cho trước, tức là sai lệch điều khiển đạt cực tiểu. Luật cập nhật bộ các giá trị điều chỉnh của mạng $1 \times n_2 \times 1$ như sau:

Lớp ra :

$$w_{im}(k) = w_{im}(k-1) + \Delta w_{im}(k) \quad (13)$$

$$\Delta w_{im}(k) = \eta \sigma_i(k) a(v_m(k) - b_m(k))$$

$$b_i(k) = b_i(k-1) + \Delta b_i(k) \quad (14)$$

trong đó: $\Delta b_i(k) = -\eta \sigma_i(k)$ (với $i=1$)

$$\sigma_i(k) = a'(v_i(k) - b_i(k))e(k) \quad (15)$$

$$v_i(k) = \sum_{m=1}^{n_2} w_{im}(k) a(v_m(k) - b_m(k)) \quad (16)$$

(với $m=1,2,\dots,n_2$; $i=1$).

Lớp ẩn: $w_{mj}(k) = w_{mj}(k-1) + \Delta w_{mj}(k)$ (17)

$$\Delta w_{mj}(k) = \eta \sigma_m a(v_j(k) - b_j(k))$$

$$b_m(k) = b_m(k-1) + \Delta b_m(k) \quad (18)$$

$$\Delta b_m(k) = -\eta \sigma_m(k)$$

$$\sigma_m(k) = a'(v_m(k) - b_m(k)) \sum_{i=1}^1 w_{im}(k) \sigma_i(k) \quad (19)$$

$$v_m(k) = \sum_{j=1}^1 w_{mj}(k) x_j(k) = w_{mj}(k) e(k) \quad (20)$$

($j=1$; $m=1,2,\dots,n_2$; $i=1$); $\Delta w_{im}(k), \Delta b_i(k)$ tương ứng là thay đổi trọng số liên kết giữa các nút ở lớp ẩn với các nút ở lớp ra, thay đổi bias của nút ở lớp ra tại thời điểm thứ k ; $\Delta w_{mj}(k), \Delta b_m(k)$ tương ứng là thay đổi trọng số liên kết giữa các nút ở lớp vào với các nút ở lớp ẩn và thay đổi bias của nút ở lớp ẩn tại thời điểm thứ k ; $\sigma_i(k), \sigma_m(k)$ là sai lệch

tương ứng của nút thứ i lớp ra và nút thứ m lớp ẩn tại thời điểm thứ k ; $v_m(k), v_i(k)$ tương ứng là trọng lượng của nút thứ m ở lớp ẩn và nút thứ i ở lớp ra tại thời điểm thứ k ; $x_j(k)$ là tín hiệu vào nút thứ j lớp vào tại thời điểm thứ k ; η là hệ số học ($0 \leq \eta \leq 1$); $x_j(k) = e(k)$; $j=1$) $a(\cdot)$ là hàm chuyển đổi tang hyperbolic:

$$a(\text{net}) = \frac{2}{1 + e^{-2\text{net}}} - 1; \quad a'(\text{net}) = \frac{\partial a(\text{net})}{\partial \text{net}};$$

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^T e(k)^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^T [\psi_d(k) - a(v_3(k) - b_3(k))]^2 \quad (21)$$

Sử dụng các công thức từ (13) đến (21) tìm bộ thông số điều chỉnh là các ma trận trọng số, bias của mạng ($1 \times n_2 \times 1$) thỏa mãn điều kiện $E \leq E_{cp}$ (22) (E_{cp} là sai lệch cho phép); $e(k)$ là sai lệch tại thời điểm thứ k ; T là số lượng điểm lấy mẫu của chu kỳ học; $k=(1,2,\dots,T)$. Nếu chưa thỏa mãn, tiếp tục thay đổi số nút ở lớp ẩn n_2 cho đến khi thỏa mãn (22). Chú ý cần đảm bảo yêu cầu thiết bị lái tự động cần có cấu trúc không quá phức tạp, do đó số nút ở lớp ẩn n_2 của mạng ($1 \times n_2 \times 1$) cần có giá trị nhỏ nhất mà vẫn đảm bảo điều kiện (22).

3.4 Kết quả mô phỏng

Thực hiện mô phỏng trên Matlab với các thông số của tàu ngầm loại Remus [1]: $m=3(\text{kg})$; $U_0 = 1.543(\text{m/s})$;

$$Y_{\dot{v}_r} = -35.5(\text{kg}),$$

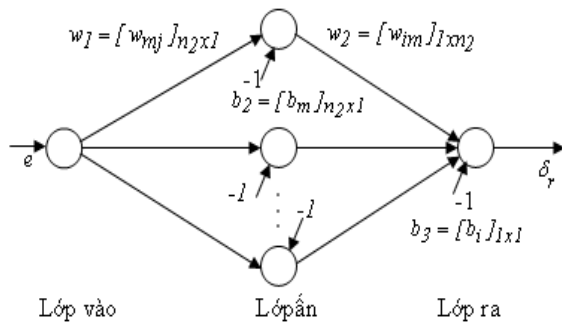
$$Y_{\dot{r}} = 1.93(\text{kgm} / \text{rad}), \quad Y_{v_r} = -66.6(\text{kg} / \text{s}),$$

$$Y_r = 2.2(\text{kgm} / \text{s}), \quad N_{\dot{v}_r} = 1.93(\text{kgm}),$$

$$N_{\dot{r}} = -4.88(\text{kgm}^2 / \text{rad}), \quad N_{v_r} = -4.47(\text{kgm} / \text{s}),$$

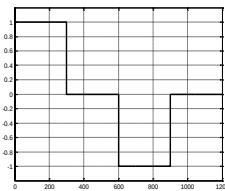
$$I_{zz} = 3.45(\text{kg} / \text{m}^3), \quad N_r = -6.87(\text{kgm}^2 / \text{s}),$$

$$N_d = -34.6 / 3.5(\text{kgm} / \text{s}^2), \quad Y_d = 50.6 / 3.5(\text{kgm} / \text{s}^2),$$

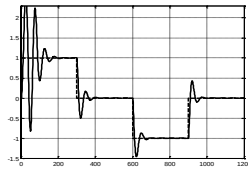


Hình 3. Sơ đồ mạng nơ - rôn truyền thẳng 3 lớp ($1 \times n_2 \times 1$) trong thiết bị lái tự động.

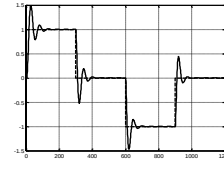
hướng chuyển động mong muốn ψ_d biểu diễn tại đồ thị hình 4. Thực hiện mô phỏng với phần mềm Matlab. Kết quả mô phỏng được trình bày trên các đồ thị từ hình 5 đến hình 11. Các đồ thị từ hình 5 đến hình 9 tương ứng mô tả hướng mong muốn ψ_d (nét đứt) và hướng sau



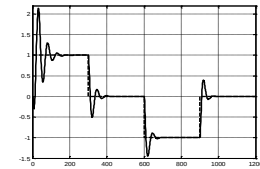
Hình 4. Đồ thị hướng mong muốn ψ_d



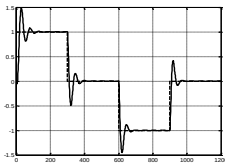
Hình 5. Hướng mong muốn ψ_d (nét đứt), hướng chuyển động ψ (nét liền) sử dụng mạng ($1 \times 2 \times 1$)



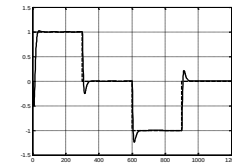
Hình 6. Hướng mong muốn ψ_d (nét đứt), hướng chuyển động ψ (nét liền) sử dụng mạng ($1 \times 3 \times 1$)



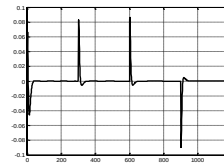
Hình 7. Hướng mong muốn ψ_d (nét đứt), hướng chuyển động ψ (nét liền) sử dụng mạng ($1 \times 4 \times 1$)



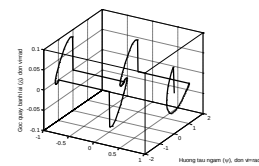
Hình 8. Hướng mong muốn ψ_d (nét đứt), hướng chuyển động ψ (nét liền) sử dụng mạng ($1 \times 5 \times 1$)



Hình 9. Hướng mong muốn ψ_d (nét đứt), hướng chuyển động ψ (nét liền) sử dụng mạng ($1 \times 6 \times 1$)



Hình 10. Đồ thị tín hiệu điều khiển góc quay của bánh lái δ_r khi sử dụng mạng ($1 \times 6 \times 1$)



Hình 11. Đồ thị ba chiều mô tả quan hệ (ψ_d, ψ, δ_r) khi sử dụng mạng ($1 \times 6 \times 1$).

Các đồ thị hình 9 và hình 10 cho thấy hướng chuyển động ψ của tàu ngầm khi sử dụng mạng ($1 \times 6 \times 1$) bám theo được hướng chuyển động mong muốn ψ_d với độ đập mạch và độ quá điều chỉnh là nhỏ và tín hiệu điều

điều khiển ψ (nét liền) khi lần lượt sử dụng các loại mạng nơ - rôn truyền thẳng: ($1 \times 2 \times 1$), ($1 \times 3 \times 1$), ($1 \times 4 \times 1$), ($1 \times 5 \times 1$), ($1 \times 6 \times 1$). Dễ nhận thấy tín hiệu ψ đã bám theo được ψ_d nhưng ở các mức độ khác nhau. Cần chọn loại mạng nơ - rôn truyền thẳng có số nút ở lớp ẩn $n_2 = 6$, tức là chọn được mạng nơ - rôn truyền thẳng ba lớp có cấu trúc là ($1 \times 6 \times 1$) đóng vai trò là thiết bị lái tự động cho tàu ngầm vì có hướng sau điều khiển ψ (nét liền) bám theo hướng mong muốn ψ_d (nét đứt) (hình 9) tốt nhất. Đồ thị hình 10, hình 11 mô tả tín hiệu điều khiển bánh lái δ_r và đồ thị không gian 3 chiều mô tả quan hệ giữa ba tín hiệu (ψ_d, ψ, δ_r) ứng với trường hợp sử dụng mạng ($1 \times 6 \times 1$).

khiến δ_r có độ đập mạch nhỏ phù hợp với yêu cầu đặt ra đối với thiết bị lái tự động cho tàu ngầm. Kết quả ma trận trọng số và bias điều chỉnh tại thời điểm $k = 1200$ của mạng ($1 \times 6 \times 1$):

$$\begin{aligned}
w_1(1200) &= [0.1495 \ -0.1685 \ 0.1960 \ 0.1624 \ 0.0741 \ -0.1315]^T \\
w_2(1200) &= [0.1615 \ -0.0294 \ 0.1066 \ -0.0100 \ 0.1800 \ -0.1924] \\
b_2(1200) &= [0.0929 \ 0.0593 \ 0.1602 \ 0.0698 \ 0.1151 \ 0.0308] \\
b_3(1200) &= [-0.0442].
\end{aligned}$$

IV. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng đã cho thấy giải pháp ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng (1x6x1) trong thiết bị lái tự động trong điều khiển thích nghi hướng chuyển động của tàu ngầm loại Remus là phù hợp, vì hướng chuyển động ψ đã bám sát theo được hướng chuyển động mẫu mong muốn Ψ_d . Ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp trong điều khiển là một hướng nghiên cứu mới, chưa được ứng dụng

nhiều tại nước ta. Giải pháp này góp phần khẳng định hướng nghiên cứu ứng dụng mạng nơ - rôn truyền thẳng nhiều lớp là đúng đắn và là lĩnh vực cần được quan tâm hơn nữa. Đây thực sự là một giải pháp mới, cải thiện được mức độ thông minh của thiết bị lái tự động điều khiển thích nghi hướng chuyển động của tàu ngầm nói riêng và có thể ứng dụng nó trong các lĩnh vực điều khiển hệ tuyến tính hoặc phi tuyến khác nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lynn Renee Fodrea, *Obstacle avoidance control for the Remus autonomous underwater vehicle*, Monterey, California, 2002.
2. C.T. Lin, C.S. George Lee; *Neural Fuzzy systems*; Prentice Hall International, 1996.
3. Astrom K.J., Wittenmark B., *Adaptive Control*, Reading, MA: Addison Wesley, 1989.
4. Eduardo F. Camacho, Carlos Bordón; *Model Predictive Control*; Springer Verlag London Limited, 1999.
5. <http://www.mathworks.com>; *Matlab-the Language of Technical Computing*; 1996.

Địa chỉ liên hệ: Phạm Hữu Đức Dục - Tel: 0913.238632; Email: phdduc.uneti@moet.edu.vn
 Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật công nghiệp
 Số 456, Minh Khai, Hà Nội