
**ĐIỀU KHIỂN HƯỚNG ĐI VÀ ĐỘ SÂU CỦA PHƯƠNG TIỆN NGẦM
TỰ HÀNH BẰNG MẠNG NƠ- RON THÍCH NGHI**
HEADING AND DEPTH CONTROL OF AUTOMOTIVE UNDERWATER
VEHICLES USING ADAPTIVE NEURAL NETWORK

TS. NGUYỄN PHÙNG HƯNG
Khoa Điều khiển tàu biển, Trường ĐHHH
KS. VÕ HỒNG HẢI

** Học viên cao học - Bảo đảm ATTH khóa 2006-2009, Trường ĐHHH*

Tóm tắt:

Bài báo trình bày về ứng dụng của bộ điều khiển nơ-ron thích nghi trong điều khiển hướng và độ sâu của phương tiện ngầm tự hành. Các thí nghiệm mô phỏng trên máy tính sử dụng phần mềm Matlab được tiến hành nhằm chứng tỏ tính hiệu quả và khả thi của bộ điều khiển nơ-ron dưới tác động của nhiễu trong thiết bị đo và ảnh hưởng của dòng chảy ngầm đến chuyển động của phương tiện.

Abstract:

This paper presents an application of adaptive neural network to heading control and depth control of an autonomous underwater vehicle. To show the effectiveness and feasibility of the neural network controller under the influence of noise and submarine current, computer simulations (using MATLAB software) of heading and depth control task are presented.

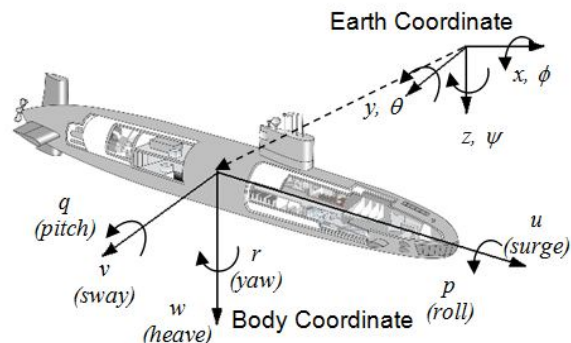
1. Giới thiệu

Hiện nay, tàu ngầm và phương tiện ngầm được phát triển rộng rãi nhằm phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau, trong đó có việc thăm dò và khai thác tài nguyên nằm trong lòng biển. Các phương tiện ngầm này thường được điều khiển từ xa (trên tàu mẹ) và làm những công việc ở độ sâu mà con người thường khó thực hiện được. Trong lĩnh vực quân sự, hiện nay hải quân các nước phát triển các phương tiện chiến đấu và phục vụ theo hướng thay thế các hệ thống có người lái (điều khiển trực tiếp) bằng các hệ thống điều khiển từ xa và tự hành. Điều này cho phép đảm bảo an toàn cho kíp nhân viên vận hành, tinh giản được quân số đồng thời lại nâng cao hiệu quả sử dụng các hệ thống như vậy trong hoạt động của Hải quân.

Điều khiển phương tiện ngầm là một thách thức lớn đối với các kỹ sư điều khiển bởi vì bản chất phi tuyến hỗn hợp của chính phương tiện ngầm và môi trường mà nó hoạt động. Các phương pháp điều khiển thông thường như bộ điều khiển (viết tắt là BDK) kiểu tỷ lệ - tích phân - vi phân (PID) không thể cho ra kết quả thỏa mãn trong bài toán điều khiển được thí nghiệm trên phương tiện ngầm. Vì vậy, các hệ thống điều khiển chất lượng cao cho phương tiện ngầm cần phải có khả năng học và cập nhật sự biến thiên của các hệ số thủy động học và động học của tàu ngầm để đạt được chất lượng điều khiển mong muốn.

Mạng nơ-ron nhân tạo trong hàng hải đã được chú ý và phát triển mạnh trong những năm gần đây. Với các công trình nghiên cứu đã được nhiều tác giả trình bày trong [3], [4], [5],... áp dụng trong điều khiển tàu biển, mạng nơ-ron đã thể hiện được tính ưu việt của nó với khả năng giải quyết những tình huống điều khiển phức tạp và có tốc độ tính toán cao phù hợp với những ứng dụng điều khiển theo thời gian thực.

Tuy nhiên, việc ứng dụng lý thuyết điều khiển bằng mạng nơ-ron trong điều khiển phương tiện ngầm vẫn còn tương đối mới mẻ trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Gần đây, có nhiều phương pháp thích nghi dùng mạng nơ-ron nhân tạo đã được giới thiệu để điều khiển chuyển động của



Hình 1: Các hệ tọa độ của tàu ngầm

phương tiện ngầm. Polycarpou [5] đã đề xuất phương pháp điều khiển thích nghi dùng mạng nơ-ron cho lớp các hệ thống phi tuyến phản hồi chặt (strict-feedback nonlinear systems), trong đó các hàm độ lợi điều khiển đã được biết chính xác. Zhang và các đồng tác giả [6] đã mở rộng kết quả nghiên cứu trên thành các hệ thống phi tuyến phản hồi chặt tổng quát với giả thiết các hàm độ lợi điều khiển không được biết, và các tác giả đã sử dụng thuật toán lan truyền ngược để điều chỉnh các hàm trọng lượng của mạng nơ-ron.

Trong [3], tác giả đã đề xuất một BDK nơ-ron thích nghi tự động giữ hướng tàu và điều khiển tàu theo quỹ đạo dựa trên BDK đề xuất trong [8] bằng một số cải tiến và nâng cấp (Adaptive Neural Network by Adaptive Interaction-ANNAI). BDK nơ-ron này có khả năng huấn luyện trực tuyến và không cần đến giai đoạn huấn luyện các hàm trọng lượng của mạng từ trước. Ngoài ra, hai thông số của BDK là *bước học* (learning rate) và *số lần huấn luyện trong một chu trình* (number of iterations) được tự động cập nhật đồng thời.

Trong bài báo này, chúng tôi mở rộng kết quả nghiên cứu trong [3] để ứng dụng trong thiết kế BDK hướng và độ sâu cho phương tiện ngầm. Khi phương tiện ngầm hoạt động dưới nước, nó chuyển động trong sáu bậc tự do và chịu ảnh hưởng của dòng chảy, các ảnh hưởng của sóng, gió có thể bỏ qua. Các kết quả mô phỏng được minh họa để chứng minh tính khả thi và hiệu quả của BDK này.

2. Phương trình động học tàu ngầm (phương tiện ngầm)

Chuyển động của tàu ngầm trong 6 bậc tự do được mô tả sử dụng hai hệ tọa độ (HTĐ) trong hình sau:

Trong đó hệ tọa độ hệ tọa độ cố định trên trái đất (Earth coordinate, gọi là hệ tọa độ n), hệ tọa độ cố định trên phương tiện ngầm (Body coordinate, gọi là hệ tọa độ b), cả hai hệ tọa độ có trục Z hướng xuống phía dưới.

Trạng thái động học của phương tiện ngầm được biểu diễn bằng các phương trình phi tuyến sáu bậc tự do như sau [1]:

$$M(v)\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (2)$$

Ở đó, $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$ là véc-tơ vị trí và định hướng trong hệ tọa độ cố định trên trái đất, $v = [u, v, \omega, p, q, r]^T$ là véc-tơ vận tốc và vận tốc góc trong hệ tọa độ cố định trên vật thể, $J(\eta)$ là ma trận biến đổi; $M(v) \in R^{6 \times 6}$ là ma trận quán tính (bao gồm cả khối lượng gia tăng); $C(v) \in R^{6 \times 6}$, $D(v) \in R^{6 \times 6}$ tương ứng là ma trận ly tâm Coriolis (bao gồm cả khối lượng gia tăng) và ma trận suy giảm; $g(\eta) \in R^6$ là véc-tơ các lực và mô men trọng lượng, lực và mô men nổi. τ là véc-tơ đầu vào điều khiển.

Theo [1], ta có phương trình chuyển động tuyến tính của hướng đi như sau:

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} & 0 \\ mx_G & I_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r & 0 \\ -N_v & mx_G u_0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \\ 0 \end{bmatrix} \delta_R \quad (3)$$

Trong đó, v là vận tốc ngang, r là vận tốc góc quay trở, ψ là góc hướng đi và δ_R là độ lệch góc bẻ lái.

3. Điều khiển hướng

Dựa theo tài liệu [6], ta có thể sử dụng hàm mục tiêu cho BDK dưới dạng:

$$E_{1k} = \frac{1}{2} [\rho_1 (\psi_k^d - \psi_k)^2 + \lambda_1 \delta_{Rk}^2 + \sigma_1 r_k^2], \quad (4)$$

trong đó, δ_{Rk} và r_k lần lượt là góc bẻ lái và tốc độ đổi hướng phương tiện ngầm tại thời điểm k , các hằng số ρ_1 , λ_1 , và σ_1 tương ứng là hệ số tỷ lệ, hệ số phản hồi góc bẻ lái và hệ số vi phân hướng đi.

BĐK nơ-ron được chọn là một mạng nơ-ron nhiều lớp truyền thẳng có một lớp ẩn. Mạng gồm bốn nơ-ron lớp vào, sáu nơ-ron lớp ẩn và một nơ-ron lớp ra tương tự như đã mô tả ở [3]. Trong đó, w_{ij} là ký hiệu hàm trọng lượng của nơ-ron lớp ra, w_{jp} là ký hiệu hàm trọng lượng nơ-ron lớp ẩn. Các chỉ số p , i và j tương ứng là số lượng nơ-ron lớp vào, lớp ra và lớp ẩn. Các tín hiệu vào của BĐK chỉ gồm sai số hướng đi của phương tiện ngầm và các giá trị trễ của sai số này. Ký hiệu ψ_k^d là hướng đi mong muốn và ψ_k là hướng đi thực tế của phương tiện ngầm, nhiệm vụ của BĐK là tính toán góc bẻ lái phù hợp để hàm mục tiêu (4) đạt cực tiểu bằng luật cập nhật trọng số sau:

$$\dot{w}_{1jp} = O_{1p}[\phi_{1j} \text{sig}(-I_{1j}) + \gamma_1 \cdot 0] = O_{1p} \phi_{1j} \text{sig}(-I_{1j}), \quad (5)$$

$$\dot{w}_{1ij} = \gamma_1 \cdot \text{sig}(I_{1j}) \cdot (\rho_1 e_{1k} + \lambda_1 \delta_{Rk} + \sigma_1 r_k) = \gamma_1 \cdot O_{1j} \cdot (\rho_1 e_{1k} + \lambda_1 \delta_{Rk} + \sigma_1 r_k). \quad (6)$$

Chỉ số 1 biểu thị BĐK nơ-ron thứ nhất dùng cho điều khiển hướng, trong đó $e_{1k} = \psi_k^d - \psi_k$, và

$$O_{1j} = \text{sig}(I_{1j}) = \frac{1}{1 + \exp(-I_{1j})}, \quad (7)$$

$$I_{1j} = \sum_p (w_{1jp} O_{1p}) + \beta_{1j}, \quad (8)$$

$$\phi_{1j} = w_{1ij} \cdot \dot{w}_{1ij}. \quad (9)$$

4. Điều khiển độ sâu

Tương tự (4) ta chọn hàm mục tiêu cho BĐK độ sâu như sau:

$$E_{2k} = \frac{1}{2} [\rho_2 (z_k^d - z_k)^2 + \lambda_2 \delta_{Sk}^2 + \sigma_2 w_k^2 + \kappa_2 \theta_k^2], \quad (10)$$

trong đó ρ_2 , λ_2 , σ_2 , và κ_2 là hằng số; z_k^d , z_k là độ sâu mong muốn và độ sâu thực; δ_{Sk} là góc bẻ của bánh lái độ sâu; w_k là tốc độ theo phương đứng; và θ_k là góc chúi của phương tiện ngầm (được thêm vào nhằm hạn chế góc chúi trong quá trình thay đổi độ sâu). Luật cập nhật trọng số trong trường hợp này, áp dụng phương pháp biến đổi trong [3], được tính như sau:

$$\dot{w}_{2jp} = O_{2p}[\phi_{2j} \text{sig}(-I_{2j}) + \gamma_2 \cdot 0] = O_{2p} \phi_{2j} \text{sig}(-I_{2j}), \quad (11)$$

$$\dot{w}_{2ij} = \gamma_2 \cdot \text{sig}(I_{2j}) \cdot (\rho_2 e_{2k} + \lambda_2 \delta_{Sk} + \sigma_2 w_k)$$

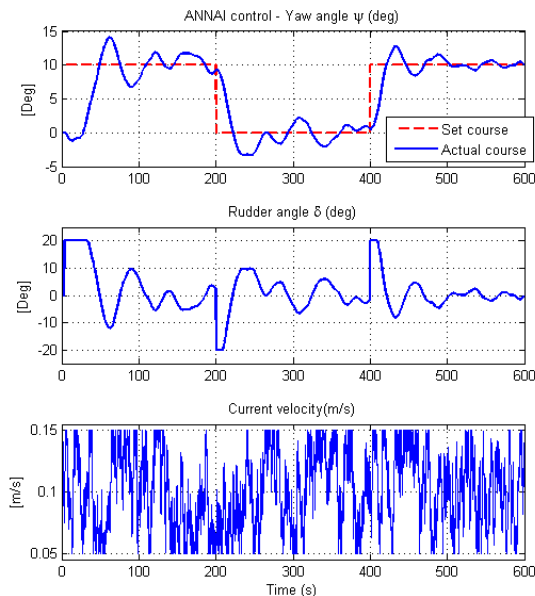
$$= \gamma_2 \cdot O_{2j} \cdot (\rho_2 e_{2k} + \lambda_2 \delta_{Sk} + \sigma_2 w_k) \quad (12)$$

Chỉ số 2 biểu thị BĐK nơ-ron thứ hai dùng cho điều khiển độ sâu, trong đó

$$e_{2k} = z_k^d - z_k.$$

5. Kết quả mô phỏng

Trong phần này, chúng tôi dùng mô hình toán học của một phương tiện ngầm để cung cấp các trạng thái dùng cho

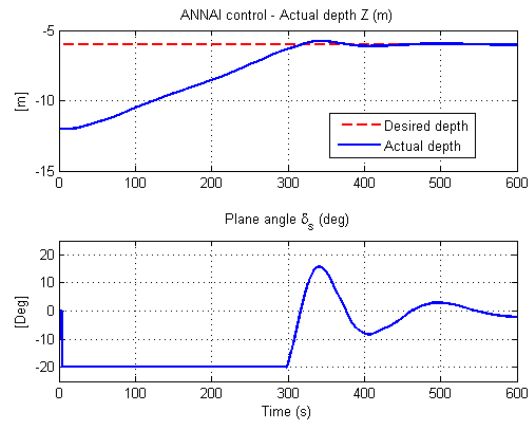


Hình 2: Kết quả mô phỏng điều khiển hướng

các thí nghiệm mô phỏng. Mô hình phương tiện ngầm được dùng là mô hình thông số thực của loại *phương tiện ngầm tự hành NPS AUVII* được giới thiệu trong [1], [2]. Để mô phỏng ảnh hưởng của tín hiệu nhiễu trong thiết bị đo, chúng tôi dùng một tín hiệu ngẫu nhiên phân bố trong khoảng $[-0.2^\circ, +0.2^\circ]$. Dòng chảy được sử dụng là mô hình toán của dòng chảy bề mặt (2 chiều) ảnh hưởng đến hướng đi, hướng dòng 110° và tốc độ biến thiên trong khoảng $[0,05\text{m/s}, 0,145\text{m/s}]$ phù hợp với kích thước của mô hình phương tiện ngầm.

Tính phi tuyến của động cơ thực hiện cũng được xét đến, phạm vi giới hạn của góc bề lái cho hướng và độ sâu là $[-20^\circ, +20^\circ]$ tốc độ bề lái là $[-2,5^\circ/\text{s}, +2,5^\circ/\text{s}]$. Hướng đi mong muốn được đặt theo ba giai đoạn là 10° từ giây thứ 0 đến giây thứ 200, tiếp theo là 0° đến giây thứ 400, cuối cùng là 10° từ giây 400 đến 600. Trong tất cả các tình huống, tốc độ ban đầu của phương tiện ngầm là $0,3 \text{ m/s}$. Độ sâu ban đầu là 12m , độ sâu tàu sẽ đạt được là 6m .

Trên Hình 2 là kết quả của điều khiển hướng. Dưới tác động của dòng chảy và nhiễu, hướng đi của phương tiện được điều khiển với đáp ứng tốt, bám sát hướng đi mong muốn. Do quá trình tự thích nghi của BDK nơ-ron, tham số của BDK được điều chỉnh theo thời gian và chất lượng điều khiển hướng được nâng lên theo thời gian, có thể quan sát trên Hình 2 ở ba giai đoạn. Mức độ bề lái giảm đi nhưng độ dao động của hướng đi giảm mặc dù tác động của dòng chảy hầu như không đổi. Hình 3 biểu diễn kết quả điều khiển sự thay đổi độ sâu. Từ độ sâu ban đầu 12m phương tiện đạt độ sâu mong muốn là 6m . Hình 4 là vết chuyển động của phương tiện ngầm. Giá trị trục Z âm biểu thị độ sâu dưới mặt nước.

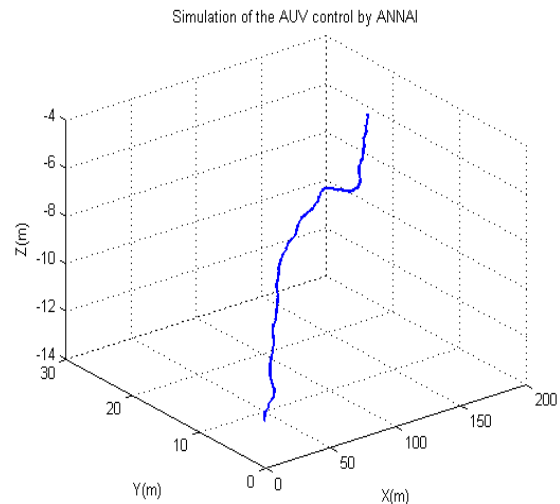


Hình 3: Kết quả mô phỏng điều khiển độ sâu

6. Kết luận

Bài báo trình bày về một ứng dụng của mạng nơ-ron nhân tạo trong tự động điều khiển hướng của phương tiện ngầm. Môi trường hoạt động có tác động của dòng chảy, và trong thiết bị đo có tác động của nhiễu ngẫu nhiên. Các tình huống điều khiển được mô phỏng trên máy tính để kiểm chứng ứng dụng của BDK đối với phương tiện ngầm. Từ các kết quả thu được ta thấy rõ khả năng thích nghi của BDK ANNAI với đối tượng điều khiển cũng như tác động của môi trường.

BDK nơ-ron trong bài báo này có thể áp dụng rộng rãi cho các phương tiện ngầm nói chung và tàu ngầm của Hải quân nói riêng cũng như cho các nhiệm vụ điều khiển phức tạp hơn. Tiếp theo các tác giả sẽ tiến hành nghiên cứu trong các điều kiện đa dạng hơn, với nhiệm vụ điều khiển khó hơn và phân tích kỹ khả năng thích nghi của BDK nhằm nâng cao chất lượng điều khiển cũng như chứng minh tính ổn định toàn bộ của hệ thống, hướng



Hình 4: Vết chuyển động của phương tiện ngầm

tới xây dựng BDK cho toàn bộ các chức năng chuyển động của phương tiện ngầm tự hành. Sau các thí nghiệm mô phỏng trên máy tính, việc tiến hành thực nghiệm trên mô hình phương tiện ngầm là cần thiết trước khi ứng dụng BDK vào thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thor I. Fossen (1994), *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley and Sons, Ltd.
- [2] Thor I. Fossen (2002), *Maritime Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*, Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, ISBN 82-92356-00-2.
- [3] Nguyễn Phùng Hưng (2007), *A study on the automatic ship control based on adaptive neural networks*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Hàng hải Hàn Quốc.
- [4] J. Q. Gong and B. Yao (2001), "Neural network adaptive robust control of nonlinear systems in semi-strict feedback form" *Automatica*, vol. 37, pp. 1149-1160.
- [5] M. M. Polycarpou (March 1996), "Stable adaptive neural control scheme for nonlinear systems" *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 41, no. 3, pp. 447-451.
- [6] Zhang, Y., Hearn, G.E. and Sen, P. (1997a,b). Neural network approaches to a class of ship control problems (Part I, II). *Eleventh Ship Control Systems Symposium Vol. 1* (Edited by P. A. Wilson).
- [7] T. Zhang, S. S. Ge, and C. C. Hang (2000), "Adaptive neural network control for strict-feedback nonlinear systems using backstepping design" *Automatica*, vol. 36, pp. 1835-1846.
- [8] R.D. Brandt and F. Lin (1999). *Adaptive interaction and its application to neural networks*. Elsevier, Information Science 121, pp. 201-215.
- [9] T.I. Fossen and A. Ross (2006), Chapter 2 Nonlinear Modelling, Identification and Control of UUVs. *Advances in Unmanned Marine Vehicles*. The Institution of Electrical Engineers. Steevnage, Herts, UK.

Người phân biên: TS. Trần Lưu Hoàn