

ĐIỀU KHIỂN GIẢM LẮC NGANG CHO TÀU THỦY BẰNG BÁNH LÁI DÙNG MẠNG NƠN NHÂN TẠO ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED RUDDER - ROLL DAMPING CONTROL SYSTEM FOR SHIPS

TS. NGUYỄN PHÙNG HƯNG; TS. NGUYỄN VIỆT THÀNH
Khoa Điều khiển tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Trong bài báo trước, chúng tôi đã trình bày về một phương pháp điều khiển giảm lắc ngang cho tàu thủy bằng bánh lái dùng hai mạng nơron nhân tạo. Các kết quả mô phỏng trên máy tính khi đó đã chứng tỏ tính khả thi của phương pháp này. Bài báo này sẽ trình bày một bộ điều khiển (BĐK) nơron khác thay thế. BĐK mới này chỉ dùng một mạng nơron cho hai nhiệm vụ điều khiển hướng và điều khiển giảm lắc một cách đồng thời. Phương pháp mới mang lại tín hiệu điều khiển tối ưu hơn và nâng cao chất lượng điều khiển so với phương pháp trước. Phần cuối là các kết quả mô phỏng trên máy tính, tiếp theo là các kết luận.

Từ khóa: *Mạng nơron nhân tạo thích nghi, Điều khiển hướng, Điều giảm lắc.*

Abstract:

Previously we introduced an artificial neural network-based control scheme of Rudder-Roll Damping for ships with two neural controllers. The simulations have shown the feasibility of using neural network controller to design Rudder-Roll Damping control systems. This paper presents an alternative design. It uses only one neural network controller for heading and roll damping control simultaneously. Using this method obtains more optimal control output and improves control performance compared to the previous study. We present some computer simulation results at the end of this paper followed by the discussions and conclusions.

Keywords: *Adaptive neural networks, Heading control, Rudder-roll damping control.*

1. Giới thiệu

Trong khi tàu hành trình trên biển, vấn đề giảm dao động lắc ngang của tàu rất quan trọng. Bởi vì dao động lắc ngang mạnh sẽ làm hư hại cấu trúc tàu, ảnh hưởng xấu đến hàng hóa, sức khỏe thuyền viên cũng như hành khách. Một số tác giả đã đề cập đến vấn đề giảm lắc ngang của tàu thủy bằng vây giảm lắc, kết ba-lat treo và dùng bánh lái của tàu. Cũng có một số nghiên cứu đề cập đến sự kết hợp của các phương pháp trên.

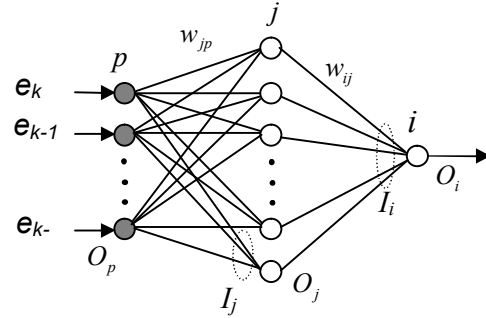
Từ trước đến nay, chưa có hoặc rất ít những nghiên cứu đề cập đến vấn đề điều khiển giảm lắc ngang cho tàu bằng phương pháp “điều khiển thông minh”, đặc biệt là ứng dụng mạng nơron nhân tạo [3]. Trong nghiên cứu trước, chúng tôi đã giới thiệu một BĐK nơron giảm lắc ngang cho tàu. BĐK đó sử dụng hai mạng nơron để điều khiển hướng tàu và điều khiển giảm lắc ngang một cách riêng biệt. Các kết quả mô phỏng trên máy tính đã chứng minh tính khả thi của BĐK nơron đối với chức năng điều khiển này.

Bài báo này trình bày một thiết kế khác của BĐK nơron cho nhiệm vụ điều khiển giảm lắc ngang của tàu thủy. Thay vì sử dụng hai mạng nơron điều khiển như bài báo trước [3], BĐK mới này chỉ dùng một mạng nơron duy nhất để điều khiển hướng tàu và điều khiển giảm lắc ngang một cách đồng thời. Phương pháp này có ưu điểm hơn và cho kết quả tối ưu hơn phương pháp sử dụng hai mạng nơron điều khiển riêng biệt [6]. Trong phần tiếp theo chúng tôi trình bày các thí nghiệm mô phỏng trên máy tính và các kết quả mô phỏng. Cuối cùng là các kết luận và so sánh với BĐK đã đề xuất ở [3].

2. Nguyên lý cấu tạo chung của BDK nơ-ron

Trong bài, các ký hiệu cho mạng nơ-ron (với $i, j \in N$) được sử dụng như sau [2]:

- O_i – tín hiệu ra của nơ-ron i ;
- I_i – tín hiệu vào của nơ-ron i ;
- θ_i – giá trị ngưỡng của nơ-ron i ;
- w_{ij} – hàm trọng lượng của liên kết từ nơ-ron j tới nơ-ron i ; $w_{ij} = 0$ nếu j không nối với i .
- $g(x)$ – hàm kích hoạt của một nơ-ron;
- O_i^d – tín hiệu ra mong muốn của nơ-ron i (đối với nơ-ron của lớp ra);
- γ – bước học;



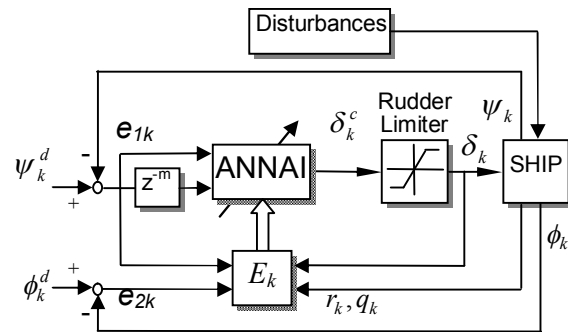
Hình 1: Cấu trúc BDK nơ-ron

BDK nơ-ron được chọn là một mạng nơ-ron nhiều lớp truyền thẳng có một lớp ẩn (Hình 1).

Trong đó w_{ij} là ký hiệu hàm trọng lượng của nơ-ron lớp ra, w_{jp} là ký hiệu hàm trọng lượng của 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. Xem thêm chi tiết về BDK này tại [2], [3] và [6].

3. BDK nơ-ron giảm lắc ngang tàu thủy bằng bánh lái

Dựa trên BDK nơ-ron trong hình 1, hệ thống điều khiển giảm lắc cho tàu thủy được thiết kế với sơ đồ nguyên lý như hình 2. Trong đó đối tượng điều khiển là con tàu. ψ_k^d và ϕ_k^d lần lượt là giá trị mong muốn của hướng đi và góc nghiêng ngang của tàu tại thời điểm k ; ψ_k và ϕ_k là hướng đi và góc nghiêng thực tế của tàu tại k ; δ_k^c và δ_k là góc lệnh bẻ lái (tín hiệu ra của BDK) và góc bẻ lái thực tế tác động lên con tàu; r_k và q_k là tốc độ góc của hướng đi và tốc độ góc của góc nghiêng ($r_k = \dot{\psi}_k$, $q_k = \dot{\phi}_k$); $\rho_i, \lambda_i, \sigma_i$ ($i = 1, 2$) là các hằng số dương sử dụng trong hàm trọng lượng (1) của BDK. Mục tiêu điều khiển là đồng thời giữ hướng tàu ($\psi_k = \psi_k^d = constant$) và giảm lắc ngang của tàu ($q_d = 0, \phi_d = 0$).



Hình 2: Hệ thống giảm lắc một BDK nơ-ron

Dựa theo tài liệu [2] và [5], hàm mục tiêu cho BDK nơ-ron có dạng sau:

$$E_k = \frac{1}{2} [\rho_1 (\psi_k^d - \psi_k)^2 + \rho_2 (\phi_k^d - \phi_k)^2 + \lambda \delta_k^2 + \sigma_1 r_k^2 + \sigma_2 q_k^2], \quad (1)$$

$$\text{hoặc } E_k = \frac{1}{2} [\rho_1 e_{1k}^2 + \rho_2 e_{2k}^2 + \lambda \delta_k^2 + \sigma_1 r_k^2 + \sigma_2 q_k^2]. \quad (2)$$

Biến đổi toán học phương trình (1) theo cách tương tự như trong [2] và sử dụng thuật toán Brandt-Lin [4] ta thu được luật cập nhật trọng số của các nơ-ron lớp ẩn của BDK nơ-ron như sau:

$$\Delta w_{jp} = O_p \cdot w_{ij} \cdot \Delta O_j \cdot \text{sig}(-I_j), \quad (3)$$

và luật cập nhật trọng số của các nơ-ron lớp ra của BDK nơ-ron như sau:

$$\Delta w_j = \gamma \cdot O_j \cdot (\rho_1 e_{1k} + \rho_2 e_{2k} + \lambda \delta_k + \sigma_1 r_k + \sigma_2 q_k), \quad (4)$$

trong đó:

$$I_j = \sum_{j \in N} w_{jp} O_p + \theta_j, \quad (5)$$

$$O_j = g(I_j) = g\left(\sum_{j \in N} w_{jp} O_p + \theta_j\right), \quad (6)$$

$$\text{sig}(-I_j) = \frac{1}{1 + \exp[-(-I_j)]}, \quad (7)$$

và O_p là vectơ tín hiệu vào của các nơon ở lớp vào của BDK. Độ lệch của hướng mũi tàu thực tế với hướng mong muốn và độ lệch của góc nghiêng thực tế với góc nghiêng mong muốn được định nghĩa như sau:

$$e_{1k} = \psi_k^d - \psi_k, \quad (8)$$

$$e_{2k} = \phi_k^d - \phi_k. \quad (9)$$

Các luật điều khiển (hay luật cập nhật) trọng số (3) và (4) đảm bảo cho hàm mục tiêu (1) được cực tiểu trong mỗi chu trình điều khiển, nhờ đó mà tín hiệu ra của BDK (ở đây là δ_k^c) làm cho hướng mũi tàu bám sát hướng đi mong muốn đồng thời làm giảm lắc ngang của tàu.

4. Kết quả mô phỏng hoạt động của BDK

Phần này sẽ trình bày kết quả mô phỏng hoạt động của BDK nói trên và BDK đã công bố trong [3]. Khác với BDK trong [3] sử dụng hai mạng nơon điều khiển hướng đi và điều khiển giảm lắc một cách riêng biệt (hình 3), BDK trong bài báo này chỉ sử dụng một mạng nơon cho hai nhiệm vụ đó một cách đồng thời. Mô hình toán học phi tuyến của một con tàu được sử dụng để thí nghiệm với chiều dài tàu $L=175$ m, thể tích chiếm nước 21.222 m³. Tàu di chuyển với tốc độ thiết kế $u_0=7.0$ m/s. Giới hạn góc bề lái và tốc độ góc bề lái lần lượt là $\delta_{\max} = 20$ deg và $\dot{\delta}_{\max} = 20$ deg/s. Các thông số của BDK được chọn để mô phỏng như sau:

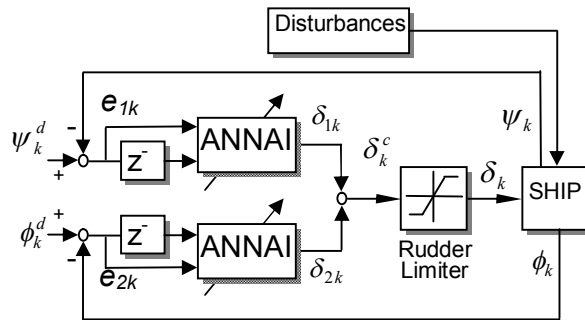
$$p = 4, j = 6, i = 1;$$

$$[\rho_1, \rho_2, \lambda, \sigma_1, \sigma_2] = [0.5, 0.55, 0.25, 23.5, 9.25]$$

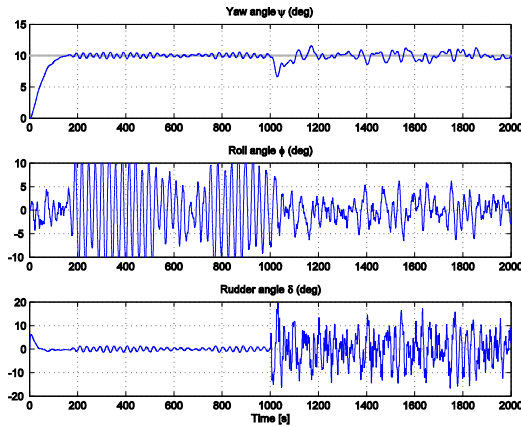
Thí nghiệm mô phỏng trong bài này sử dụng hệ số học của BDK nơon $\gamma = 0.8925$ và số lần huấn luyện mạng nơon trong mỗi chu trình điều khiển là $n = 60$. Hướng đi ban đầu của tàu là 0° và hướng đi mong muốn là 10° . Trong 1000 giây đầu tiên, chỉ có chức năng điều khiển hướng được sử dụng, trong 1000 giây tiếp theo, chức năng điều khiển giảm lắc cũng được sử dụng đồng thời.

Kết quả mô phỏng BDK dùng hai mạng nơon riêng biệt giới thiệu trong [3] được trình bày lại trong hình 4, và kết quả mô phỏng BDK trong bài báo này được trình bày trong hình 5. Để đánh giá mức độ giảm lắc, chỉ số giảm lắc theo phần trăm của Oda (trích dẫn trong [1]) được sử dụng như sau:

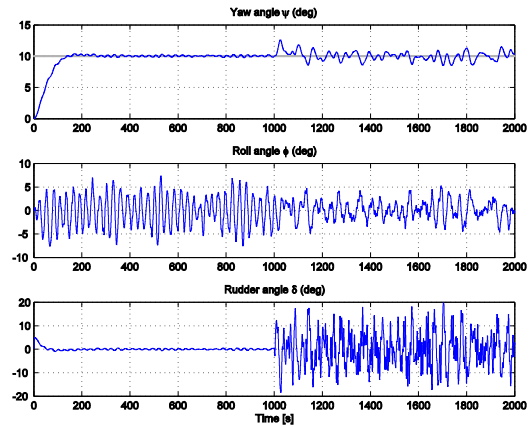
$$\text{mức độ giảm lắc} = \frac{d_{AP} - d_{RRD}}{d_{AP}} \times 100(\%) \quad (10)$$



Hình 3: Hệ thống giảm lắc hai BDK nơon [3]



Hình 4: Kết quả mô phỏng hệ thống giảm lắc hai BDK noron [3]



Hình 5: Kết quả mô phỏng hệ thống giảm lắc một BDK noron

Trong đó d_{AP} , d_{RDD} lần lượt là độ lệch tiêu chuẩn của tốc độ lắc ngang khi không có và khi có BDK giảm lắc. Để so sánh rõ hơn, các thông số đánh giá giới thiệu trong [5] cũng được áp dụng như sau :

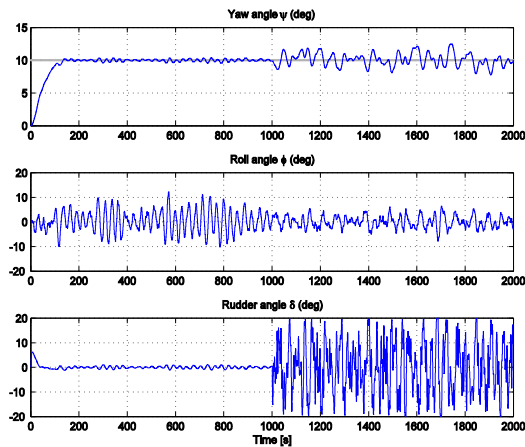
$$E_{\psi} = \sum_k (\psi_k^d - \psi_k)^2, \quad (11)$$

$$E_{\delta} = \sum_k (\delta_k - \delta_{k-1})^2. \quad (12)$$

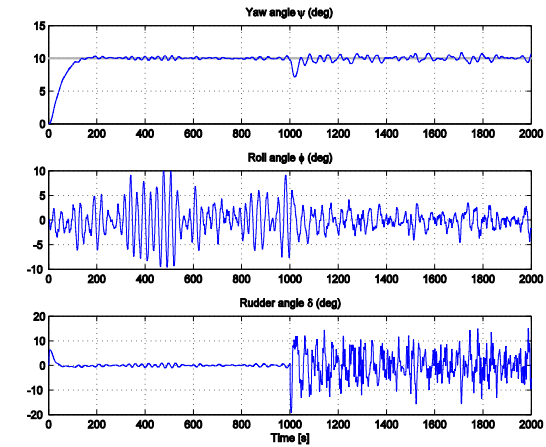
Trong đó E_{ψ} là tổng bình phương độ lệch hướng đi, E_{δ} là tổng bình phương độ thay đổi góc bẻ lái.

Trong hình 4, như đã trình bày trong [2], trong 1000 giây đầu tiên BDK hướng hoạt động tốt nhưng độ lắc ngang lớn. Trong 1000 giây tiếp theo, BDK giảm lắc được sử dụng. Bánh lái hoạt động tích cực để khử độ lắc ngang, do vậy góc lắc ngang và tốc độ lắc được giảm đáng kể.

Tương tự như vậy trong hình 5, ở 1000 giây đầu tiên chỉ có BDK hướng được sử dụng ($\rho_2 = \sigma_2 = 0$). Phương trình (1) có dạng phương trình của hàm mục tiêu đã được giới thiệu trong [5] và ứng dụng trong [2], [3] để điều khiển hướng tàu. Trong 1000 giây tiếp theo, BDK giảm lắc được sử dụng. Thông số về mức độ giảm lắc và các giá trị E_{ψ} và E_{δ} của hình 4 và hình 5 được tóm tắt trong bảng 1.



Hình 6: Kết quả mô phỏng hệ thống giảm lắc hai BDK noron khi sóng mạnh



Hình 7: Kết quả mô phỏng hệ thống giảm lắc một BDK noron khi sóng mạnh

Bảng 1: Thông số so sánh hình 4, hình 5

	Fig. 4	Fig. 5
Roll reduction (%)	36.8	40.6
E_{ψ}	2.62	1.48
E_{δ}	313.30	237.50

Bảng 2: Thông số so sánh hình 6, hình 7

	Fig. 6	Fig. 7
Roll reduction(%)	33.0	35.4
E_{ψ}	6.0	3.0
E_{δ}	679.7	376.1

Để thử nghiệm hoạt động của hai hệ thống điều khiển (hình 2 và hình 3) trong điều kiện ngoại cảnh tác động mạnh, ảnh hưởng của sóng đến chuyển động của tàu được tăng lên. Kết quả mô phỏng trong trường hợp này được trình bày trên hình 6 và hình 7. Có thể thấy rằng dao động trong hướng mũi tàu ở hình 7 nhỏ hơn hình 6 và dao động lắc cũng ít hơn. Trong hình 7, tàu sử dụng bánh lái ít hơn trong hình 6. Thông số về mức độ giảm lắc và các giá trị E_{ψ} và E_{δ} của hình 6 và hình 7 được tóm tắt trong bảng 2.

Qua các tình huống mô phỏng từ hình 4 đến 7, cả hai hệ thống điều khiển đều cho thấy khả năng điều khiển hướng tốt và giảm lắc có hiệu quả. Tuy nhiên các thí nghiệm cũng cho thấy hệ thống điều khiển giảm lắc với một BDK nơron giới thiệu trong bài này có những ưu điểm trội hơn so với hệ thống đã trình bày ở nghiên cứu trước. Những ưu điểm này có được là do sự tối ưu hóa điều khiển hướng đi và điều khiển giảm lắc được tích hợp vào cùng một hàm mục tiêu (1).

5. Kết luận

Các kết quả mô phỏng ở trên đã cho thấy có thể thiết kế hệ thống điều khiển giảm lắc ngang cho tàu thủy bằng bánh lái dùng một BDK nơron khi kết hợp quá trình tối ưu hóa điều khiển hướng và điều khiển giảm lắc vào cùng một hàm mục tiêu của BDK. Giải pháp này đã làm tăng khả năng tối ưu hóa toàn bộ quá trình điều khiển khi BDK thực hiện cùng lúc hai mục tiêu.

Như đã nhận định trong [3], chất lượng điều khiển hướng tàu bị suy giảm khi chức năng điều khiển giảm lắc được sử dụng. Biên độ dao động hướng mũi tàu tăng thêm từ 1 đến 2 độ khi chức năng điều khiển giảm lắc được thêm vào hệ thống điều khiển hướng tàu. Qua các thí nghiệm mô phỏng trên máy tính ở bài báo này, tính khả thi của việc áp dụng mạng nơron nhân tạo trong điều khiển giảm lắc cho tàu thủy được củng cố thêm. Bằng phương pháp này, mô hình toán học của đối tượng điều khiển là con tàu là không cần thiết trong quá trình thiết kế hệ thống. Tính năng “học” trực tuyến của mạng nơron, như đã trình bày trong [2] và [5], giúp cho BDK có thể đối phó tốt với các tính năng động học phi tuyến của con tàu cũng như tác động của môi trường.

Trong tương lai, các nghiên cứu tiếp theo của chúng tôi sẽ hướng tới việc kết hợp các kỹ thuật điều khiển truyền thống với các kỹ thuật điều khiển thông minh để khai thác tối đa các ưu điểm của mỗi loại, nhằm làm tăng hơn nữa chất lượng của các hệ thống điều khiển nói chung và điều khiển giảm lắc nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] T.I. Fossen, “Marine Control Systems – Guidance, Navigation and Control of Ship, Rigs and Underwater Vehicles”, Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, pp. 374-390, ISBN 82-92356-00-2, 2002.
- [2] Nguyễn Phùng Hưng, “A Study on the Automatic Ship Control Based on Adaptive Neural Networks”, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, ĐHHH Hàn Quốc, 2007.2.
- [3] P.H. Nguyen and Y.C. Jung, “Neural Network Based Rudder-Roll Damping Control System for Ships”, Submitted to the International Journal of Navigation and Port Research (KINPR), 2007.4.
- [4] R.D. Brandt and F. Lin, “Adaptive Interaction and Its Application to Neural Networks”, Elsevier, Information Science 121, pp. 201-215, 1999.
- [5] Y. Zhang, G.E. Hearn, and P. Sen, “Neural Network Approaches to a Class of Ship Control Problems (Part I: Theoretical Design)”, Eleven Ship Control Systems Symposium, Vol. 1, pp. 115-133, 1997.
- [6] P.H. Nguyen and V.T. Nguyen, “Neural Network Based Rudder-Roll Damping Control System for Ships: Alternative Design and Comparative Study”, Proceedings of the 7th ACMSSR (Asian Conference on Marine Simulator and Simulation Research). Busan, Korea (17~18/Aug/2007), pp. 131-136

Người phản biện: TS. Nguyễn Kim Phương