

Nghiên cứu tự động điều khiển tàu thủy cập cầu dựa trên các bộ điều khiển mạng thần kinh nhân tạo và tàu lai

■ TS. NGUYỄN VĂN SƯƠNG; ThS. PHẠM QUANG THỦY; ThS. PHẠM VĂN LUÂN

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Tự động điều khiển tàu cập cầu được xem như một trong những bài toán phức tạp nhất của lĩnh vực điều khiển tàu thủy vì đặc tính động học phi tuyến của hệ thống dưới điều kiện tốc độ thấp. Trong bài báo này, hệ thống tự động cập cầu tàu thủy được đề xuất dựa trên mạng thần kinh nhân tạo và các tàu lai. Hệ thống đề xuất có khả năng thực hiện hai giai đoạn của bài toán cập cầu tàu: giai đoạn thứ nhất, tàu được điều động để tiếp cận cầu bằng bánh lái và chân vịt; giai đoạn hai, tàu được đưa vào cầu bằng cách sử dụng các tàu lai. Để xác thực tính khả thi của hệ thống đề xuất, một mô phỏng số được thực hiện.

TỪ KHÓA: Cập cầu tàu, mạng thần kinh nhân tạo, tàu lai, mô hình điều động tàu thủy.

ABSTRACT: Automatic ship berthing is known as one of most difficult issues in the fields of the ship control due to high nonlinear features of the ship dynamic under low speed. In this paper, an automatic system for the ship berthing is proposed based on neural networks and tugboats. The proposed system has ability to conduct two stages of ship berthing: the first stage, the ship is controlled using the rudder and propeller; the second one, the ship is pushed into the wharf by tugboats for crabbing motion. To verify the effectiveness of the proposed system, a numerical simulation is carried out.

KEYWORDS: Ship berthing, neural networks, tugboat, MMG maneuvering model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để có thể tự động hóa điều khiển chuyển động tàu thủy không người lái trong tương lai, cần thiết phải thiết kế các hệ thống tự động như: tự động lái tàu, tự động tránh va, tự động điều khiển cập cầu... Tự động điều khiển cập cầu tàu thủy được xem là một trong những bài toán phức tạp trong điều khiển phương tiện thủy vì đặc tính động lực học chuyển động tàu phức tạp trong điều kiện tốc độ thấp. Cho đến nay, mạng thần kinh nhân tạo là lý thuyết được sử dụng nhiều nhất cho bài toán tự động điều khiển tàu cập cầu. Sở dĩ như vậy là vì mạng thần kinh nhân tạo có khả năng học và thực hiện những hành động điều khiển tàu

trong quá trình cập cầu. Việc này có thể hiểu mạng thần kinh nhân tạo giống như một người máy được trang bị kiến thức về cập cầu của con người để ứng dụng vào bài toán tự động cập cầu.

Nghiên cứu [1] đề xuất hệ thống tự động cập cầu với các đầu vào của bộ điều khiển là các yếu tố: vị trí tàu, hướng mũi tàu, tốc độ tàu để điều khiển bánh lái và chân vịt tiếp cận cầu. Giải quyết bài toán khác huấn luyện mạng thần kinh. Nghiên cứu [2, 3] đề xuất hệ thống cập cầu tàu đa nhiệm gồm các đầu vào là góc mạn tiếp cận và khoảng cách từ tàu đến cầu cảng, điểm đóng góp của những nghiên cứu này là hệ thống cập cầu đề xuất có thể áp dụng với nhiều cảng khác nhau và xuất phát từ hai mạn tàu khác nhau mà không cần phải huấn luyện lại mạng. Nghiên cứu [4] để cập mạng thần kinh tách kênh cho bài toán cập cầu, ưu điểm của cấu trúc mạng này là nâng cao chất lượng điều khiển. Ảnh hưởng của gió cũng đã được nghiên cứu với hệ thống điều khiển cập cầu với cấu trúc mạng thần kinh tách kênh [5].

Mặc dù đã có những kết quả đáng kể trong việc phát triển lý thuyết mạng thần kinh nhân tạo cho bài toán điều khiển tàu cập cầu, tuy nhiên trong thực tế, cập cầu tàu thường xuyên có sự hỗ trợ của tàu lai để điều khiển tàu khi mà tác dụng của các cơ cấu điều khiển tàu như bánh lái và chân vịt kém hiệu quả trong lúc tàu suy giảm tốc độ. Với lý do như vậy, nghiên cứu này tiếp tục phát triển một hệ thống tự động điều khiển tàu cập cầu sử dụng các bộ điều khiển mạng thần kinh nhân tạo với sự hỗ trợ của tàu lai. Ưu điểm của hệ thống đề xuất là có thể điều khiển tàu cập cầu tự động với các cơ cấu: bánh lái, chân vịt và các tàu lai tự hành.

2. ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG CẬP CẦU TÀU DỰA TRÊN MẠNG THẦN KINH NHÂN TẠO VÀ TÀU LAI HỖ TRỢ

2.1. Khái quát bài toán cập cầu tàu

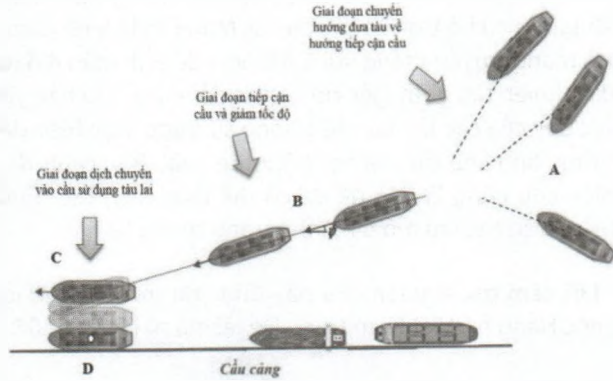
Trong thực tế hàng hải, tàu thường được điều khiển vào cập cầu dựa trên 3 giai đoạn (Hình 2.1):

- Giai đoạn 1: Sử dụng bánh lái và chân vịt để đưa hướng mũi tàu về hướng tiếp cận cầu tàu (tàu được đưa từ khu vực A về khu vực B). Trong giai đoạn này, vì bánh lái còn có tác dụng thay đổi hướng nên cần phải tận dụng khoảng thời gian này đưa mũi tàu về hướng cập cầu tàu phù hợp.

- Giai đoạn 2: Tốc độ vòng tua máy chính được giảm dần trong giai đoạn này để giảm tốc độ tàu (tàu được đưa từ khu vực B về khu vực C). Vì tàu suy giảm tốc độ trong giai đoạn này, nên việc điều khiển bánh lái để thay đổi hướng mũi tàu

không còn tác dụng nữa. Ở cuối giai đoạn này, máy chính sẽ được dừng hẳn để tàu vào tiếp cận cầu bằng quán tính.

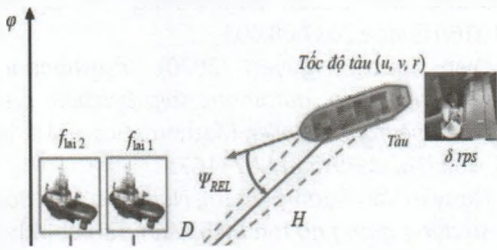
- Giai đoạn 3: Ở giai đoạn này, khi tác dụng điều khiển của máy chính và bánh lái không còn tác dụng nữa, thì các tàu lai thường được sử dụng để hỗ trợ đưa tàu vào cầu cảng (tàu được đưa từ khu vực C về khu vực D).



Hình 2.1: Cập cấu tàu sử dụng tàu lai hỗ trợ

2.2. Cấu trúc mạng thần kinh đề xuất

Trong nghiên cứu này, một mạng thần kinh nhân tạo được đề xuất để học bộ dữ liệu cập cấu được tạo ra với sự tham gia của các tàu lai ở giai đoạn 3. Cấu trúc mạng thần kinh được xây dựng như Hình 2.2.



Hình 2.2: Cấu trúc mạng thần kinh đề xuất

Theo đó, mạng thần kinh nhân tạo trong nghiên cứu này là loại mạng truyền thẳng gồm 3 lớp: lớp đầu vào, lớp đầu ra và lớp ẩn.

Lớp đầu vào gồm 6 nút mạng: khoảng cách từ mũi đến cầu (D), khoảng cách từ lái đến cầu (H), góc mạn tiếp cận cầu (ψ_{REL}), tốc độ tàu theo phương dọc (u), tốc độ tàu theo phương ngang (v), tốc độ quay tàu (r).

Lớp đầu ra gồm 4 nút mạng: góc bẻ bánh lái (δ), tốc độ vòng tua chân vịt (rps), lực đẩy của các tàu lai (f_{lai1} , f_{lai2}).

Tùy thuộc vào số lượng dữ liệu học được cung cấp cho việc huấn luyện mạng, số lượng nút mạng trong lớp ẩn sẽ được chọn lựa để đảm bảo mục tiêu huấn luyện mạng.

2.3. Huấn luyện mạng thần kinh

Đầu vào được biểu diễn dưới dạng vector: $I_m = [D, H, \psi_{REL}, u, v, r]^T$ và đầu ra dưới dạng vector: $O_p = [\delta, rps, f_{lai1}, f_{lai2}]^T$.

Các nút trong lớp ẩn liên kết với các nút trong lớp đầu vào thông qua ma trận trọng số W_{nm} và vector ngưỡng kích hoạt B_n . Đầu ra tại lớp ẩn được biểu thị qua vector H_n :

$$H_n = f_1(net_n) = f_1(\sum_{m=1}^n W_{nm} I_m + b_n) \tag{1}$$

Một cách tương tự, các nút trong lớp đầu ra liên kết với các nút trong lớp ẩn thông qua ma trận trọng số W_{pn} và

vector ngưỡng kích hoạt B_p . Đầu ra tại lớp đầu ra được biểu thị qua vector O_p :

$$O_p = f_2(net_p) = f_2(\sum_{n=1}^n W_{pn} H_n + b_p) \tag{2}$$

Giả sử tập dữ liệu mẫu gồm l bộ dữ liệu đầu vào-đầu ra: $\{q_1, t_1\}, \{q_2, t_2\}, \dots, \{q_l, t_l\}$. Mục tiêu huấn luyện mạng là cho bộ dữ liệu đi qua mạng rồi so sánh giữa đầu ra của thực tế mạng với đầu ra của bộ dữ liệu làm căn cứ điều chỉnh các giá trị trọng số và ngưỡng kích hoạt. Hàm mục tiêu huấn luyện mạng:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^l \sum_{p=1}^n \left\{ desired_O_p - f_2\left(\sum_{n=1}^n W_{pn} f_1\left(\sum_{m=1}^m W_{nm} I_m + b_n\right)\right) - b_p \right\}^2 \tag{3}$$

Mục tiêu của thuật toán huấn luyện là điều chỉnh các giá trị trọng số và giá trị ngưỡng để tổng bình phương sai lệch giữa đầu ra của mạng với đầu ra của các mẫu là nhỏ nhất.

Trọng số và giá trị ngưỡng được điều chỉnh theo hệ thức sau đến khi hàm mục tiêu đạt giá trị nhỏ nhất có thể:

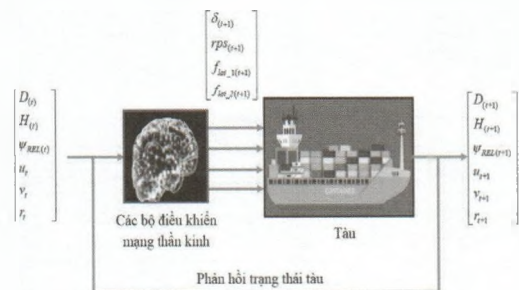
$$W_{k+1} = W_k - [J^T(W_k)J(W_k) + \mu I]^{-1} J^T(W_k)E(W_k) \tag{4}$$

2.4. Tự động điều khiển tàu cập cầu

Sau khi huấn luyện mạng thần kinh học dữ liệu cập cấu tàu để cập đến việc sử dụng các tàu lai. Luật điều khiển của bộ điều khiển mạng thần kinh được biểu diễn qua hệ thức (5):

$$\begin{bmatrix} \delta_{(t+1)} \\ rps_{(t+1)} \\ f_{lai_1(t+1)} \\ f_{lai_2(t+1)} \end{bmatrix} = f_2\left(\sum_{n=1}^n W_{pn} f_1\left(\sum_{m=1}^m W_{nm} \begin{bmatrix} D_{(t)} \\ H_{(t)} \\ \psi_{REL(t)} \\ u_t \\ v_t \\ r_t \end{bmatrix} + b_n\right)\right) + b_p \tag{5}$$

Hệ thống tự động cập cấu tàu được vận hành theo sơ đồ khối (Hình 2.3).



Hình 2.3: Sơ đồ khối tự động điều khiển tàu cập cầu

3. MÔ PHỎNG SỐ

3.1. Mô hình điều động tàu thủy MMG

Trong nghiên cứu này, mô hình toán học điều động tàu thủy MMG [6] được sử dụng. Mô hình này được thể hiện qua hệ thức dưới đây:

$$\begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y) vr &= X_H + X_P + X_R + X_W \\ (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x) ur &= Y_H + Y_W + Y_{Tug} \\ (J_z + J_{zz}) \dot{r} &= N_H + N_R + N_W + N_{Tug} \end{aligned} \tag{6}$$

Trong đó: m, m_x, m_y - Khối lượng tàu, khối lượng thêm khi tàu chuyển động trong nước theo các trục dọc và trục ngang; I_{zz}, J_{zz} - Mô-men khối lượng và mô-men khối lượng thêm khi tàu chuyển chuyển động quay; u, v, r - Tốc độ tàu trên các trục dọc, trục ngang và trục thẳng đứng.

Lực sinh ra bởi chân vịt được biểu diễn:

$$\begin{cases} X_p = (1-t_p)T \\ T = \rho D_p^4 n^2 K_T(J) \end{cases} \quad (7)$$

Lực và mô-men tác dụng lên tàu sinh ra bởi bánh lái:

$$\begin{cases} X_R = -(1-t_R)F_N \sin \delta \\ Y_R = -(1+a_H)F_N \cos \delta \\ N_R = -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \\ F_N = \frac{\rho}{2} f_a(A) A_R U_R^2 \sin \alpha_R \end{cases} \quad (8)$$

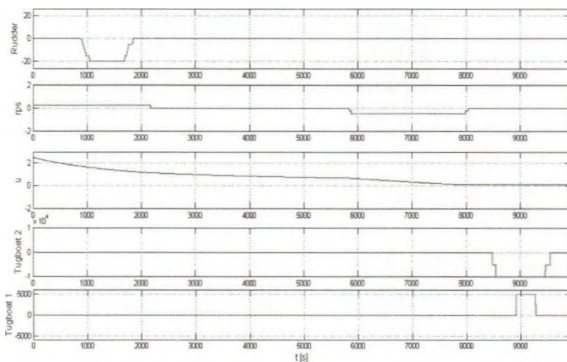
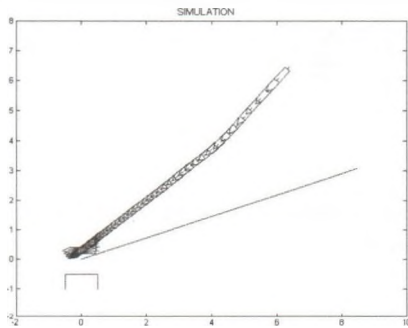
Lực và mô-men sinh ra bởi 2 tàu lai ở phía mũi và phía lái tàu được thể hiện qua hệ thức:

$$\begin{cases} Y_{Tug} = f_{lai1} + f_{lai2} \\ N_{Tug} = f_{lai1} J_{fore} + f_{lai2} J_{aft} \end{cases} \quad (9)$$

Trong nghiên cứu này, một tàu dầu cỡ lớn được sử dụng để mô phỏng, chi tiết mô hình này được thể hiện trong [6].

3.2. Kết quả mô phỏng

Trong phần này, kết quả mô phỏng số được chỉ ra để xác thực tính khả thi của hệ thống đề xuất. Để thực hiện được mô phỏng số, một số bước được thực hiện như: tạo ra bộ dữ liệu học (sử dụng mô hình toán trong 3.1), huấn luyện bộ điều khiển học theo dữ liệu được tạo ra. Kết quả cập cầu tàu tự động được mô tả như Hình 3.1 dưới đây.



Hình 3.1: Kết quả mô phỏng

Tàu ban đầu xuất phát tại vị trí có tọa độ (6, 6), hướng đi là 220 độ, tốc độ tàu theo hướng dọc là 2,5 m/s, tốc độ vòng tua chân vịt là 0,25 vòng/s. Ban đầu, tàu được điều khiển bằng bánh lái và chân vịt. Sau đó, các tàu lai ở phía mũi và

lái được điều khiển để đưa tàu vào điểm cập cầu cuối cùng. Lực đẩy của các tàu lai được chỉ ra như trong kết quả mô phỏng (Hình 3.1).

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một hệ thống tự động điều khiển tàu cập cầu được đề xuất dựa trên mạng thần kinh nhân tạo và sự hỗ trợ của các tàu lai. Mạng thần kinh nhân tạo là mạng truyền thẳng với 6 đầu vào để tính toán 4 đầu ra điều khiển tàu gồm: góc bẻ lái, tốc độ vòng tua chân vịt và lực đẩy của các tàu lai. Mô phỏng số được thực hiện để xác thực tính khả thi của hệ thống đề xuất. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng là tiền đề để có thể thực hiện các thực nghiệm trên các tàu mô hình nhỏ trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT21-22.02.

Tài liệu tham khảo

- [1]. H. Yamato and etc. (1990), *Automatic Berthing by the Neural Controller*, Proc. Of Ninth Ship Control Systems Symposium, vol.3, pp.3.183-201, Bethesda, U.S.A., Sep.
- [2]. Nam Kyun Im, Van Suong Nguyen (2018), *Artificial neural network controller for automatic ship berthing using head-up coordinate system*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 10, pp.235-249, doi:10.1016/j.ijnaoe.2017.08.003.
- [3]. Van Suong Nguyen (2020), *Investigation of a multitasking system for automatic ship berthing based on an integrated neural controller*, Mathematics, vol.8, Issue 7, pp.1-23, doi: /10.3390/math8071167.
- [4]. Nguyễn Văn Sướng (2020), *Nghiên cứu tự động cập cầu tàu sử dụng mạng nơ ron tách kênh*, Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, số 64, tr.36-40.
- [5]. Nguyễn Văn Sướng (2021), *Tự động cập cầu tàu sử dụng mạng nơ ron tách kênh xét đến ảnh hưởng của gió*, Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, số 65, tr.6-11.
- [6]. K Kose et al (June 1984), *On a Mathematical Model of Maneuvering Motions of Ships in Low Speeds*, Journal of Ship and Naval Architecute of Japan, vol.155, pp.132-138 (In Japanese).

Ngày nhận bài: 02/7/2022
Ngày chấp nhận đăng: 02/8/2022
Người phản biện: TS. Mai Xuân Hương
TS. Nguyễn Quang Duy