

NGHIÊN CỨU TỰ ĐỘNG CẬP CẦU TÀU SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON VỚI CẤU TRÚC TÁCH KÊNH

A STUDY ON AN AUTOMATIC SHIP BERTHING USING A NEURAL NETWORK WITH DECOUPLE STRUCTURE

NGUYỄN VĂN SƯƠNG

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: nguyenvansuong@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Tự động điều khiển tàu biển là một xu hướng nhằm tiến tới tự động hoá hoàn toàn quá trình vận hành tàu để tạo ra những con tàu không người lái trong tương lai. Cùng với điều động tránh va, điều khiển cập cầu tàu là những bài toán phức tạp ảnh hưởng đến an toàn hàng hải, tính mạng con người, môi trường biển, ... Điều khiển tàu cập cầu tự động đã được nghiên cứu từ lâu, tuy nhiên các hệ thống đề xuất luôn có những hạn chế nhất định. Trong nghiên cứu này, mạng nơ ron tách kênh được đề xuất cho bài toán tự động điều khiển tàu vào cập cầu. Với cấu trúc tách biệt các đầu vào của mạng, hiệu quả điều khiển bánh lái và chân vịt là tốt hơn so với bộ điều khiển không tách kênh như trong các nghiên cứu trước đây. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra hiệu quả của bộ điều khiển đề xuất so với các bộ điều khiển trước đây.

Từ khóa: Tự động cập cầu tàu, bộ điều khiển nơ ron, mạng nơ ron tách kênh, mô hình tàu MMG.

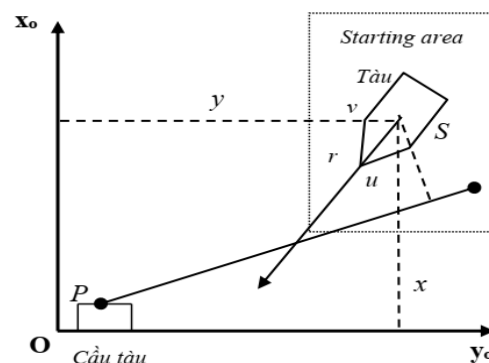
Abstract

Automatic ship control is a tendency, which towards to fully automatization of ship control process, to make unmanned ships in future. With ship collision avoidance, ship berthing is complex problem affecting to maritime safety, human life, sea pollution, and ..etc. Automatic ship berthing has been studied early; however, existing systems always exist certain drawbacks. In this research, a decouple neural network is proposed for automatic ship berthing. With the separate structure of neural network, the performance of automatic berthing process is improved compared to existing berthing systems with the non-decouple structure in the controller, on regulating the rudder and the propeller. The result of numerical simulation shows the performance of proposed system based ship berthing in comparison with previous controllers.

Keywords: Automatic ship berthing, neural controller, Decouple neural network, MMG-ship model.

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu chế tạo tàu tự hành là một xu hướng thu hút sự đầu tư của nhiều quốc gia có nền khoa học hàng hải tiên tiến. Với việc xuất hiện của những thiết bị vận tải thủy không người lái trong tương lai, hiệu quả lao động sẽ được cải thiện cũng như giải phóng sức lao động con người. Điều khiển tàu cập cầu tự động là một trong những bước nghiên cứu để thực hiện việc tự động hoá hoàn toàn quá trình điều khiển tàu. Khi tàu vào cập cầu với tốc độ thấp, đặc tính động học chuyển động của tàu trở nên phi tuyến phức tạp. Do đó trong thực tế, quá trình điều động tàu cập cầu thường được chia thành 3 giai đoạn như sau: Giai đoạn 1: khi tốc độ còn đủ lớn để điều khiển tàu ăn lái, tàu được điều động thay đổi hướng để đưa hướng mũi tàu về hướng tiếp cận cầu an toàn; giai đoạn 2: Máy chính được giảm tốc độ để từ từ tiếp cận cầu, giai đoạn 3: Máy chính được dừng tại thời điểm thích hợp để đưa tàu vào cầu với quán tính. Với sự phức tạp của quá trình cập cầu như vậy, mạng nơ ron nhân tạo được coi là phù hợp với bài toán này vì nó có thể khả năng học và làm theo bộ não người điều khiển tàu.



Hình 1. Tạo dữ liệu cập cầu (bao gồm các trạng thái động học của tàu)

H. Yamato et al [1] sử dụng bộ điều khiển với các tín hiệu vào gồm tọa độ vị trí tàu tại cảng, hướng tàu, khoảng cách đến vị trí cầu và các tốc độ động học của tàu, đầu ra gồm góc bẻ lái và tốc độ chân vịt. Tiếp theo hướng tiếp cận này, các nghiên cứu của nhóm tác giả [2, 3, 4] thường sử dụng các mạng nơ ron với sự kết hợp của tất cả các đầu vào với hai biến điều khiển góc bẻ lái và tốc độ vòng tua chân vịt. Điều này làm cho hiệu quả điều khiển tàu cập cầu không đạt được kết quả tối ưu vì trong thực tế góc bẻ lái không phụ thuộc vào một số đầu vào, chẳng hạn, không phụ thuộc vào vị trí tàu, tốc độ tàu theo chiều dọc,... Do đó, có thể thấy, việc kết hợp tất cả các yếu tố đầu vào với đầu ra trong cấu trúc mạng nơ ron tìm thấy trong các nghiên cứu trước đây làm cho hiệu quả điều khiển tàu cập cầu chưa tối ưu. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một bộ điều khiển nơ ron làm việc như bộ não con người cho bài toán điều khiển tàu cập cầu với cấu trúc tách kênh. Kết quả mô phỏng số chỉ ra hiệu quả của hệ thống điều khiển cập cầu được cải thiện hơn so với các hệ thống trước đây.

2. Tự động điều khiển tàu cập cầu sử dụng mạng nơ ron tách kênh

2.1 Khái niệm về tự động cập cầu tàu

Bài toán cập cầu tự động dùng mạng nơ-ron có thể chia thành 3 giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1: Tạo dữ liệu cập cầu để huấn luyện mạng nơ ron. Tại khu vực *starting-point* như (Hình 1), tàu được ghi lại các trạng thái ban đầu $(x_o, y_o, u, v, r, \Psi, \delta, n)$ như tốc độ, vị trí, hướng mũi, góc bẻ lái và vòng tua chân vịt. Từ các trạng thái ban đầu này, người điều khiển sẽ điều động tàu vào cập cầu bằng việc thay đổi góc bẻ lái (δ) và tốc độ chân vịt (n). Tất cả các trạng thái của tàu trong quá trình điều động cập cầu thành công sẽ được lưu lại tạo nên bộ dữ liệu cập cầu.

Giai đoạn 2: Mỗi 1 dữ liệu huấn luyện mạng bao gồm 6 đầu vào $(x_o, y_o, u, v, r, \Psi)$ và 2 đầu ra (δ, n) . Mạng Nơ-ron được huấn luyện sao cho đầu ra của mạng bám sát đầu ra của dữ liệu huấn luyện mạng.

Giai đoạn 3: Khi tàu ở khu vực *starting-point* với các trạng thái ban đầu $(x_o, y_o, u, v, r, \Psi, \delta, n)$ giống hoặc gần giống với dữ liệu huấn luyện mạng, bộ điều khiển nơ-ron sẽ tính toán góc bẻ lái và tốc độ chân vịt để đưa tàu vào cầu một cách tự động, hành động bẻ lái và giảm tốc độ của mạng nơ-ron rất giống với các hành động của người điều khiển tạo ra dữ liệu huấn luyện.

Trong đó: (x, y) là tọa độ địa lý của tàu tại cảng, Ψ là hướng mũi tàu, (u, v, r) là tốc độ tàu trên các phương trục dọc tàu, trục ngang tàu và tốc độ ngang. δ là góc bẻ lái để thay đổi hướng tàu, n là tốc độ quay chân vịt. S là vị trí tàu, P là vị trí cầu cảng tàu cập và buộc dây.

2.2. Mô hình toán chuyển động của tàu

Để thực hiện việc nghiên cứu điều khiển chuyển động tàu, các mô hình toán (mô hình động học) được chỉ ra. Trong nghiên cứu này, mô hình toán chuyển động MMG (Mathematical Modeling Group), phương trình toán học của mô hình này được chỉ như hệ thức sau:

$$\begin{aligned} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= X_H + X_P + X_R \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur &= Y_H + Y_R \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N_H + N_R \end{aligned} \quad (1)$$

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

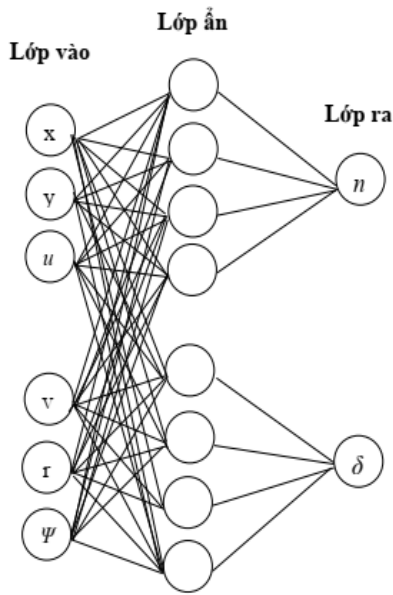
Để điều khiển tàu chuyển động cần thiết phải thay đổi các góc bẻ lái và vòng tua chân vịt. Các thành phần này nằm trong vế phải của hệ phương trình (1).

Để thực hiện việc mô phỏng, một tàu dầu cỡ lớn được sử dụng với các thông số để đưa vào hệ phương trình (1).

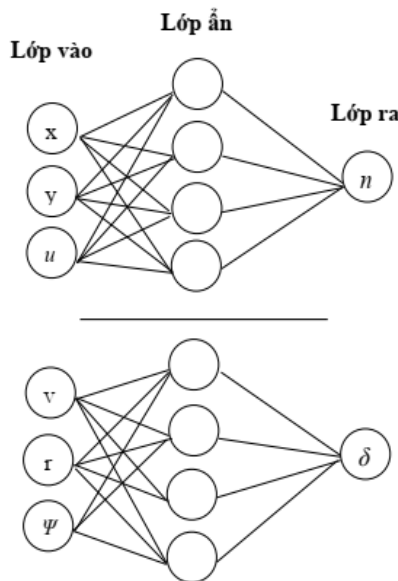
2.3 Mạng nơ-ron tách kênh ứng dụng cho cập cầu tàu tự động

Trong các nghiên cứu trước đây, mạng nơ ron thường được thiết kế theo phương pháp tất cả các đầu vào được liên kết với các đầu ra thông qua lớp ẩn. Do đó, đầu ra là: góc bẻ lái và vòng tua chân vịt sẽ phụ thuộc vào tất cả các đầu vào. Tuy nhiên, trong thực tế quan sát thấy rằng: hành động góc bẻ lái để thay đổi hướng đi của tàu chỉ nên phụ thuộc vào các yếu tố như: hướng mũi tàu, tốc độ đạt cũng như tốc độ góc quay của tàu mà không phụ thuộc vào vị trí tàu cũng như tốc độ tàu theo phương dọc tàu. Theo chiều hướng ngược lại, tốc độ vòng tua chân vịt cũng chỉ nên phụ thuộc vào tốc độ tàu theo phương dọc tàu, vị trí tàu tại cảng. Do đó, việc thiết kế bộ điều khiển mạng nơ ron không tách kênh sẽ làm phức tạp mạng cũng như giảm thiểu hiệu quả của mạng nơ ron vì các yếu tố đầu ra không hoàn toàn phụ thuộc vào các yếu tố đầu vào (Hình 2).

Trên cơ sở đó, một mạng nơ ron tách kênh (thực chất là hai mạng nơ ron độc lập) được đề xuất trong bộ điều khiển để điều khiển riêng biệt góc bẻ lái và tốc độ vòng tua chân vịt (Hình 3), hiệu quả của bộ điều khiển sẽ tốt hơn do tách biệt các yếu tố không liên quan giữa đầu ra và đầu vào của mạng nơ ron.



Hình 2. Cấu trúc mạng nơ-ron không tách kênh



Hình 3. Cấu trúc mạng nơ-ron tách kênh

Mạng nơ-ron tách kênh được đề xuất trong nghiên cứu này có trúc hai mạng nơ-ron nhỏ riêng biệt (Hình 3). Trong đó:

Mạng nơ-ron thứ nhất có cấu trúc gồm: lớp vào gồm 3 đầu vào (tọa độ địa lý của tàu tại cảng (x, y), tốc độ tàu trên trục dọc (u)); lớp ẩn, và lớp ra là tốc độ vòng tua chân vịt (n).

Mạng nơ-ron thứ hai có cấu trúc gồm: lớp vào gồm 3 đầu vào (tốc độ tàu trên trục ngang và tốc độ góc (v, r),

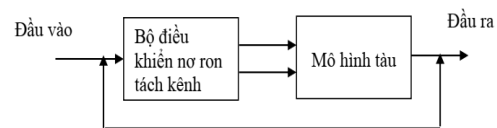
hướng mũi tàu (ψ); lớp ẩn, và lớp ra là góc bề bánh lái (δ).

Việc sử dụng hai mạng nơ-ron riêng biệt như trên sẽ giúp các hành động bề bánh lái cũng như giảm tốc độ vòng tua chân vịt hợp lý hơn do các hành động này chỉ phụ thuộc vào các yếu tố trạng thái tàu tương ứng.

Mạng nơ-ron có thể mô hình hóa rất tốt các ánh xạ phi tuyến phức tạp, trong bài toán này mạng nơ-ron được sử dụng để mô hình hóa ánh xạ với 6 đầu vào và 2 đầu ra tương ứng. Mạng được huấn luyện bằng phương pháp lan truyền ngược với nhiệm vụ làm tối thiểu hóa hàm mục tiêu như hệ thức (2), chi tiết có thể tham khảo cách huấn luyện mạng trong các nghiên cứu trước đây của tác giả [2, 3, 5].

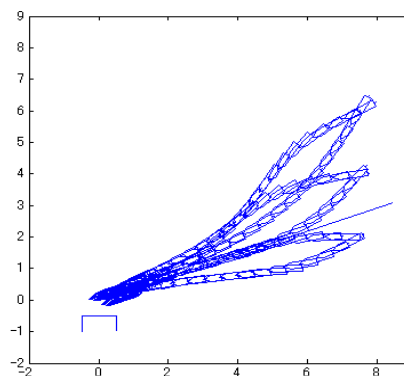
$$E = \sum_{i=1}^P \left\{ desired_O_i - f_2 \left(\sum_{j=1}^L W_{ij} f_1 \left(\sum_{k=1}^M W_{jk} I_k + b_j \right) \right) - b_i \right\}^2 \quad (2)$$

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển tàu cập cầu tự động: Đầu vào là các trạng thái tàu mong muốn để đưa tàu vào cập cầu, ở trạng thái tàu ban đầu bộ điều khiển nơ-ron tách kênh sẽ tính toán các giá trị góc bề lái và tốc độ vòng tua chân vịt để điều khiển tàu (mô hình tàu MMG) để các đầu ra của hệ thống bám sát đầu vào đặt ra, như Hình 4.



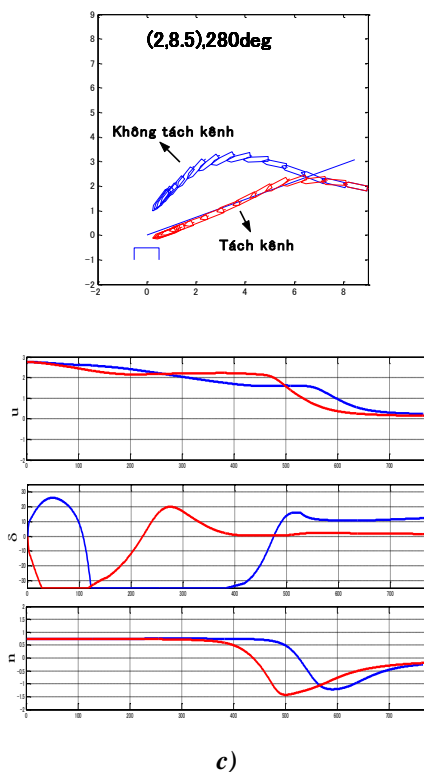
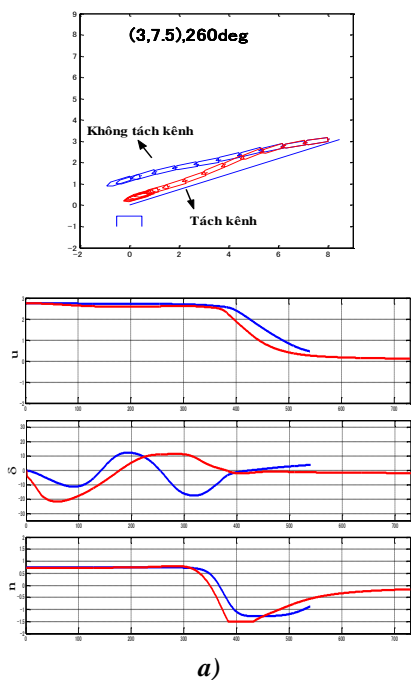
Hình 4. Sơ đồ hệ thống điều khiển tàu cập cầu sử dụng bộ điều khiển nơ-ron tách kênh

2.4. Mô phỏng số và so sánh kết quả

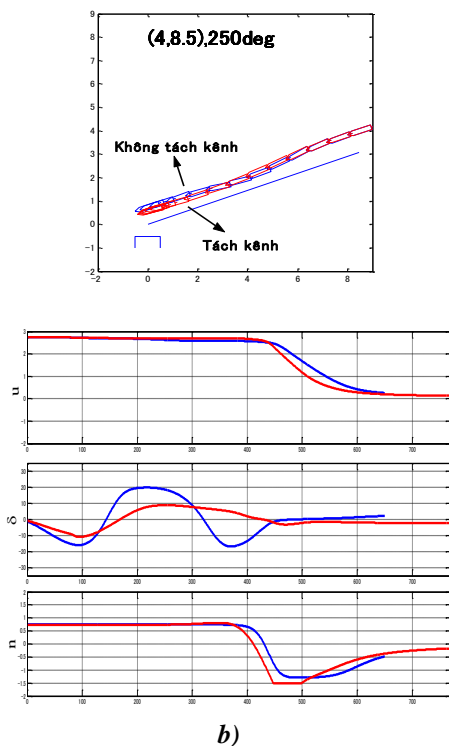


Hình 5. Tạo mẫu cập cầu để huấn luyện mạng

Trong phần này, các mô phỏng số được thực hiện trên công cụ MATLAB để chỉ ra các hiệu quả của bộ điều khiển nơ ron tách kênh so với bộ điều khiển nơ ron không tách kênh. Tạo dữ liệu cập cầu được thực hiện trên MATLAB để ghi lại sáu trường hợp cập cầu như Hình 5.



Hình 6. So sánh kết quả cập cầu tàu bằng hai bộ điều khiển (màu đỏ: bộ điều khiển tách kênh, màu xanh: bộ điều khiển không tách kênh)



Trong đó, khu vực cảng được mô phỏng có vĩ độ từ (-2 đến 9) và kinh độ từ (-2 đến 9), tàu được coi là cập cầu thành công khi tiếp cận song song với cầu tàu và có tốc độ thấp trong khoảng 0.25 m/s. Bước huấn luyện mạng được thực hiện theo hệ thức 2. Để thực hiện việc mô phỏng trên máy tính, các yếu tố vị trí như: kinh độ, vĩ độ được chuyển sang hệ không thứ nguyên.

Sau khi hoàn thành việc huấn luyện mạng, hai bộ điều khiển nơ ron tách kênh và không tách kênh được mô phỏng thực hiện cho việc cập cầu tàu tự động để xác minh tính hiệu quả của bộ điều khiển tách kênh so với bộ điều khiển không tách kênh.

Trong Hình 6, chuỗi hình vẽ màu đỏ thể hiện quỹ đạo tàu chạy và trạng thái tàu được điều khiển bằng bộ điều khiển tách kênh, trong khi đó chuỗi hình vẽ màu xanh thể hiện quỹ đạo và trạng thái tàu được điều khiển bằng bộ điều khiển không tách kênh.

Kết quả mô phỏng số chỉ ra trong ba trường hợp: Trường hợp thứ nhất, vị trí tàu tại thời điểm xuất phát là (3, 7.5) hướng tàu chạy là 260 độ, trường hợp thứ hai (2, 8.5) hướng tàu chạy là 280, trường hợp thứ 3

(4, 8.5) hướng tàu 250. Kết quả được thể hiện trong Hình 6, qua đó, có thể thấy rằng quỹ đạo chuyển động tàu được điều khiển bằng bộ điều khiển tách kênh gần với đường tiếp cận cầu mong muốn hơn. Tốc độ tàu theo chiều dọc được giảm tốt hơn bởi bộ điều khiển tách kênh. Dữ liệu kết quả cũng cho thấy các góc bề bánh lái cũng như vòng tua chân vịt được điều khiển tốt hơn. Bên cạnh đó, vị trí cuối cùng tiếp cận cầu trong các trường hợp điều khiển bởi bộ điều khiển tách kênh cũng là gần hơn so với các vị trí được điều khiển bởi bộ điều khiển không tách kênh.

3. Kết luận

Bài báo đề xuất một mạng nơ ron tách kênh áp dụng cho bài toán tự động điều khiển tàu cập cầu. Khái quát bài toán, mô hình toán của chuyển động tàu được đưa ra làm nền tảng mô phỏng số. Mô phỏng số được thực hiện trên công cụ MATLAB với cả hai bộ điều khiển tách kênh và không tách kênh. Kết quả chỉ ra rằng hiệu quả của hệ thống cập cầu với bộ điều khiển tách kênh là tốt hơn so với bộ điều khiển không tách kênh. Quỹ đạo tàu tiếp cận cầu là tốt hơn trong trường hợp sử dụng bộ điều khiển đề xuất. Trong thời gian tiếp theo, chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu để nâng cao chất lượng của hệ thống điều khiển cập cầu tàu tự động sử dụng mạng nơ ron cũng như những đề xuất mới để nâng cao khả năng đa nhiệm của bộ điều khiển nơ ron tách kênh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Yamato and etc. "Automatic Berthing by the Neural Controller", Proc. Of Ninth Ship Control Systems Symposium, Vol.3, pp.3.183-201, 1990. Bethesda, U.S.A., Sep.
- [2]. Nam Kyun Im, Van Suong Nguyen. "Artificial neural network controller for automatic ship berthing using head-up coordinate system". International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. Vol.10, pp.235-249, 2018. doi:10.1016/j.ijnaoe.2017.08.003.
- [3] Van Suong Nguyen, Van Cuong Do, Nam Kyun Im. "Development of Automatic Ship Berthing System Using Artificial Neural Network and Distance Measurement System". International journal of fuzzy logic and intelligent systems., Vol.18, pp.41-49, 2018. doi:10.5391/IJFIS.2018.18.1.41.
- [4] Van Suong Nguyen. "Investigation on a novel support system for automatic ship berthing in marine practice". Journal of marine science and engineering. Vol.4, pp.1-22, 2019. doi: 10.3390/jmse7040114.
- [5] Van Suong Nguyen. "Investigation of a multitasking system for automatic ship berthing based on an integrated neural controller. Mathematics, Vol.8, Issue 7, pp.1-23, 2020. doi: /10.3390/math8071167.

Ngày nhận bài:	09/10/2020
Ngày nhận bản sửa:	05/11/2020
Ngày duyệt đăng:	11/11/2020