

XẤP XỈ ĐỘNG LỰC HỌC TÀU THỦY VÀ XÁC ĐỊNH THAM SỐ MÔ HÌNH ĐIỀU ĐỘNG SỬ DỤNG MẠNG NƠ RON

APROXIMATING SHIP DYNAMICS AND DETERMINATION OF MANEUVERING MODEL PARAMETERS USING NEURAL NETWORK

Lê Thanh Tùng

Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt: Mô hình điều động tàu thủy đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu điều động tàu, thiết kế hệ thống điều khiển chuyển động và xây dựng có hệ thống mô phỏng lái tàu. Nhận dạng mô hình động lực học tàu và xác định các tham số mô hình luôn là bài toán khó do sự phụ thuộc phi tuyến của các yếu tố thủy động lực vào các tham số động học của tàu. Để giải quyết bài toán này nhiều kỹ thuật nhận dạng hệ thống đã được sử dụng. Trong bài báo này, mạng nơ ron nhân tạo nhiều lớp truyền thẳng nhờ khả năng xấp xỉ hàm phi tuyến với độ chính xác tùy ý tùy thuộc vào cấu trúc mạng được sử dụng để xấp xỉ động lực học tàu thủy và xác định các hệ số của phương trình mô tả chuyển động tàu trên mặt phẳng nằm ngang. Các dữ liệu luyện mạng được lấy từ mô phỏng điều động zigzag. So sánh được thực hiện giữa mô hình lý thuyết và mô hình xấp xỉ được thực hiện thông qua mô phỏng điều động vòng tròn quay trở. Các tham số của mô hình điều động được xác định thông qua phân tích các quan hệ xấp xỉ theo chuỗi Taylor. Kết quả cho thấy mô hình xấp xỉ trên cơ sở mạng nơ ron mô tả tương đối trung thực chuyển động của mô hình lý thuyết và có thể được áp dụng trong thực tế.

Từ khóa: Điều động tàu, động lực học tàu, mạng nơ ron, hệ thống mô phỏng lái tàu.

Chỉ số phân loại: 2.1

Abstract: Ship maneuvering models play an important role in ship maneuvering research, designing ship motion control systems and ship steering simulators. Problem of ship dynamic identification is always a hard issue. For dealing with the problem various system identification techniques were and are developed. In this paper, a multilayer feed-forward neural network (NN) thanks for its ability of approximation of any nonlinear relationship with predefined accuracy depended on network architecture is used for approximation of ship dynamics and determination of coefficients of mathematical equations describing ship motion in horizontal plane (yaw motion). The data for network training is generated by performing zigzag maneuver. Comparison between theoretical model and estimated model is conducted by performing the tuning circle maneuver. The maneuvering model parameters are then calculated by expression of approximated relationship in Taylor's series. The results show that the maneuvering model obtained by neural network approach adequately reflects the motion of the theoretical one and proposed approach can be applied in practice.

Key words: Ship maneuvering, ship dynamics, neural network, steering simulator.

Classification number: 2.1

1. Giới thiệu

Mô hình điều động tàu thủy đóng một vai trò quan trọng trong nghiên cứu điều động tàu, thiết kế hệ thống điều khiển chuyển động, mô phỏng lái tàu do an toàn hàng hải và hiệu quả kinh tế trong vận tải đường biển. Bài toán nhận dạng động lực học tàu và xác định tham số mô hình điều động tàu là bài toán khó và có thể được giải quyết theo nhiều cách khác nhau. K. J. Anstrom và cộng sự [1] đề xuất nhận dạng động lực học tàu theo phương pháp Maximum Likelihood identification cho tàu hàng khô và tàu chở dầu sử dụng dữ liệu thử tàu thực. Trong [2]

bài toán nhận dạng được giải quyết theo phương pháp Interactive Multiple Model Tracking Algorithm. Nhận dạng và xác định các tham số mô hình trên cơ sở bộ lọc Kalman suy rộng được xem xét trong [3, 4]. Trong [5 - 7] kỹ thuật Least Square Support Vector Machines Technique được sử dụng. Nhận dạng trong miền tần số được sử dụng trong [8, 9]. Xác định tham số mô hình chuyển động tàu trên cơ sở dữ liệu của biểu đồ điều khiển và điều động zigzag được xem xét trong [4, 9, 10]. Các phương trình mô tả chuyển động tàu được xây dựng trên cơ sở các định luật Niu ton về biến thiên động lượng và mô men động lượng. Khó khăn

chính trong thành lập các phương trình này là sự phức tạp về xác định lực và mô men thủy động tác động lên thân tàu do quan hệ phức tạp và phi tuyến của chúng với các tham số chuyển động tàu. Mạng nơ ron với khả năng xấp xỉ hàm phi tuyến với độ chính xác tùy ý phụ thuộc vào kiến trúc của mạng [11] là một giải pháp hợp lý. Trong [12 - 14] mạng nơ ron Radial Basic Function (RBF) được sử dụng để nhận dạng được tính phi tuyến của mô hình Norrbin. Trong bài báo này mạng nơ ron nhiều lớp truyền thẳng được sử dụng trong xấp xỉ động lực học tàu. Các tham số mô hình điều động được xác định sau đó theo phương pháp sai phân. Bài báo được tổ chức như sau: Tóm tắt một số vấn đề nhận dạng sử dụng mạng nơ ron được trình bày trong phần tiếp theo. Kết quả mô phỏng được trình bày trong phần 3. Kết luận trình bày trong phần cuối cùng.

2. Một số vấn đề cơ bản

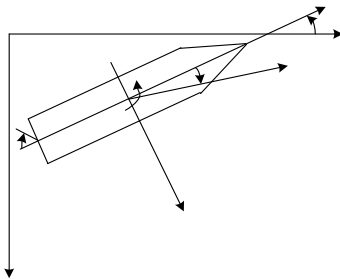
2.1. Động lực học tàu thủy

Phương trình mô tả chuyển động của tàu được giới thiệu trong nhiều tài liệu [15 - 19]. Đối với bài toán lái tàu có thể bỏ qua tương tác giữa chuyển động đảo lái với chúi và lắc ngang. Vận tốc của tàu được xem là ổn định, chuyển động (đảo lái) của tàu được xem là diễn ra trên mặt phẳng nằm ngang (hình 1) và được mô tả bởi các phương trình sau [2, 15 - 18]:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= \omega; \\ \dot{\omega} &= a_{11}\omega + a_{12}\beta + b_1\delta; \\ \dot{\beta} &= a_{21}\omega + a_{220}\beta + a_{22}\beta|\beta| + b_2\delta\end{aligned}\quad (1)$$

Với:

$\varphi, \omega, \beta, \delta$: Góc đảo lái, vận tốc góc đảo lái, góc dạt và góc bẻ lái.



Hình 1. Tham số chuyển động đảo lái.

2.2. Động lực học máy lái

Một số mô hình máy lái được trình bày trong [18, 19]. Trong bài báo sử dụng mô hình sau [19]:

$$\dot{\delta} = -\frac{1}{T}\delta + \frac{1}{T}u; |u| \leq u_{\max} \quad (2)$$

Với:

u, u_{\max} : Lệnh bẻ lái và góc bẻ lái lớn nhất (35° đối với tàu biển). Kết hợp (1) và (2) ta có hệ phương trình mô tả động lực học tàu và máy lái:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= \omega; \\ \dot{\omega} &= a_{11}\omega + a_{12}\beta + b_1\delta; \\ \dot{\beta} &= a_{21}\omega + a_{220}\beta + a_{22}\beta|\beta| + b_2\delta; \\ \dot{\delta} &= -\frac{1}{T}\delta + \frac{1}{T}u; |u| \leq u_{\max}\end{aligned}\quad (3)$$

2.3. Nhiễu môi trường

Sóng biển là nhiễu môi trường chủ yếu tác động lên thân tàu. Trong bài báo này sử dụng mô hình sóng biển sau [19]:

$$\begin{aligned}\dot{x}_w &= A_w x_w + b_w \eta; w = C_w^T x_w; \\ A_w &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\xi\omega_n \end{bmatrix}; b_w = \begin{bmatrix} 0 \\ K_w \end{bmatrix}; C_w = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (4)$$

Trong đó:

η : Nhiễu trắng Gauss với trị trung bình không;

ω_n : Tần số sóng chủ đạo;

ξ : Hệ số suy giảm tương đối của sóng;

K_w : Hệ số phụ thuộc vào năng lượng sóng.

Mô hình sóng dạng hàm truyền như sau:

$$w = C_w^T (sI - A_w)^{-1} b_w = \frac{K_w s}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (5)$$

Nhìn chung, trước khi nhận dạng và xác định các tham số mô hình cần lựa chọn biểu thức giải tích để biểu diễn các quan hệ phi tuyến của hệ thống. Một cách biểu diễn phổ biến là phân tích thành chuỗi Taylor. Biểu thức chuỗi Taylor của hàm vô hướng nhiều biến như sau:

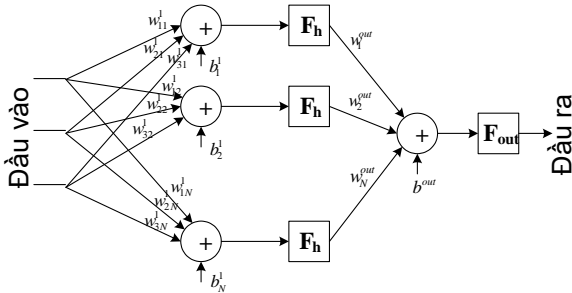
$$y(x+h) = y(x) + \sum \frac{\partial y}{\partial x_i} + \frac{1}{1.2} \sum \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} + \dots (6)$$

Đầu vào và đầu ra của mạng nơ ron sử dụng phụ thuộc vào cách biểu diễn. Trường hợp sử dụng chuỗi Taylor ta có:

$$\mathbf{in} = (\dots z_i \dots z_{ij} \dots z_{ijk} \dots)^T; (7)$$

$$\mathbf{out} = y; z_i = h_i; z_{ij} = h_i h_j; z_{ijk} = h_i h_j h_k \dots$$

Cấu trúc mạng nơ ron nhiều lớp một đầu ra được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Cấu trúc mạng nơ ron nhiều đầu vào, một đầu ra.

Với:

w_{ii} : Trọng số liên kết mạng;

b_i : Bias;

F : Các hàm truyền đạt.

Về bản chất, quá trình nhận dạng là quá trình luyện mạng sử dụng dữ liệu đầu vào và đầu ra để thay đổi các liên kết mạng sao cho sai số giữa đầu ra thực tế và đầu ra yêu cầu nhỏ hơn giá trị chọn trước. Tham số mô hình sau đó được xác định theo công thức:

$$\frac{\partial y}{\partial z_i} = \frac{y(\mathbf{z} + (0 \dots 0 \Delta z_i 0 \dots 0)^T) - y(\mathbf{z})}{\Delta z_i}; (8)$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 y}{\partial z_{ij}} = \frac{y(\mathbf{z} + (0 \dots 0 \Delta z_{ij} 0 \dots 0)^T) - y(\mathbf{z})}{\Delta z_{ij}} \dots$$

3. Kết quả mô phỏng

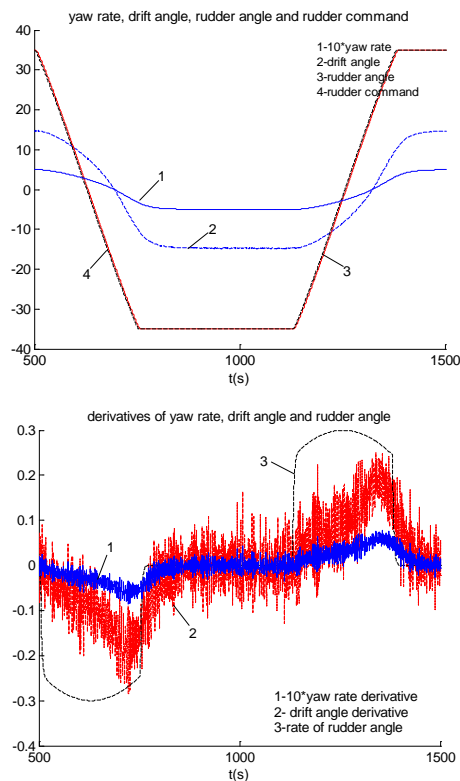
Trong thực tế bộ dữ liệu luyện mạng được thu thập từ thử nghiệm tàu thực. Tuy nhiên, do không có liệu thực, dữ liệu phục vụ luyện mạng được tạo ra sử dụng mô hình lý thuyết với các tham số trong [18]. Các tham số mô hình lý thuyết được trình bày trong bảng 1 cùng với tham số tính toán xác định theo công thức (8) và sai lệch tương đối.

Bảng 1. Tham số lý thuyết, tính toán.

Tham số	Lý thuyết	Tính toán	Sai lệch tương đối %
a_{11}	-0.1589	-0.139	12.52
a_{12}	0.0048	0.0043	10.41
b_1	0.00023	0.00021	08.70
a_{21}	0.584	0.622	06.07
a_{220}	-0.0207	-0.0217	04.83
a_{22}	-0.0772	-0.079	02.33
b_2	0.0088	0.0085	03.40
T	3	2.97	01.00

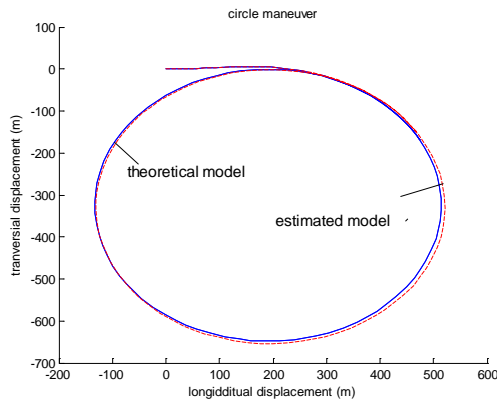
Để xấp xỉ ba phương trình động lực học của tàu và máy lái ba mạng nơ ron truyền thẳng một lớp ẩn được sử dụng. Hàm truyền đạt của lớp ẩn dạng *Hyperbolic Tangent*, lớp đầu ra có hàm truyền đạt tuyến tính.

Dữ liệu luyện mạng được tạo ra sử dụng điều động zigzag. Để tính đến ảnh hưởng không tránh khỏi của sóng biển khi thử tàu thực tín hiệu đầu ra của bộ lọc hợp thành (5) được cộng với góc bề lái. Đồ thị thay đổi các thông số đầu vào và đầu ra được trình bày trên hình 3.



Hình 3. Thay đổi dữ liệu luyện mạng theo thời gian.

Để đánh giá chất lượng các mạng được luyện điều động vòng tròn quay trở (Tuning Circle) được thực hiện cho mô hình lý thuyết và mô hình trên nền mạng nơ ron. Kết quả thử nghiệm được trình bày trên hình 4. Có thể nhận thấy rằng quỹ đạo của hai mô hình khá gần nhau. Điều này có nghĩa là mô hình xấp xỉ phản ánh tương đối trung thực chuyển động của mô hình lý thuyết. Sai lệch tương đối là chấp nhận được.



Hình 4. Điều động Tuning Circle.

4. Kết luận

Động lực học tàu thủy được nhận dạng sử dụng mạng nơ ron. Kết quả cho thấy mô hình nhận dạng phản ánh khá trung thực chuyển động của mô hình lý thuyết. Sai lệch tương đối chấp nhận trong xây dựng các hệ thống điều khiển và mô phỏng lái tàu.

Bằng cách tiếp cận tương tự có thể nhận dạng mô hình chuyển động đầy đủ sáu bậc tự do của tàu cũng như các hệ cơ học khác □

Tài liệu tham khảo

- [1] K.J.Astrom and C.G. Kallstrom(1976), *Identification of Ship Steering Dynamics*, Automatica, Vol.12, pp. 9-22. Pergamon Press;
- [2] Emil Semerdjiev et al (1998), *Maneuvering Ship Model Identification and Interacting Multiple Model Tracking Algorithm Design*, The First International Conference on Multisource-Multisensor Information Fusion'98. Las Vegas, Nevada;
- [3] C. Shi et al (2009), *Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters*, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation", Vol 3, № 1;
- [4] [4]. Lokukaluge P. Perera and Paulo Oliveira (2011), *Dynamic parameter estimation of a nonlinear vessel steering model for ocean navigation*, Proceeding of the 30th international conference on ocean, offshore and arctic engineering, OMAE 2011, July 19 - 24, Rotterdam, The Netherland;
- [5] Xuegang Wang et al (2013), *Modular Parameter Identification for Ship Maneuvering Prediction Based on Support Vector Machines*, Proceedings of the Twenty-third International Offshore and Polar Engineering Anchorage, Alaska, USA, June 30-July 5;
- [6] David Moreno-Salinas et al (2013), *Identification of a Surface Marine Vessel Using LS-SVM*, Journal of Applied Mathematics, Article ID 803548, 11 pages;
- [7] M. Zhu & A. Hahn, A. Bolles Y.Q. Wen (2017), *Parameter Identification of Ship Maneuvering Models Using Recursive Least Square Method Based on Support Vector Machines*, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol.11, No 1, March;
- [8] A. L. Lobov, *Identification of Model of a Marine Vessel in Frequency Domain* (tiếng Nga);
- [9] R Panneer Selvam et al (2005), *A frequency domain system identification method for linear ship maneuvering*, International shipbuilding progress, Vol 52, № 1, pp 5-27.
- [10] Iu. I. Iudin et al (2009), *A method of Computing The parameter of mathematical model of Marine Vessel*, Vestnhic MGTU, Vol 12, № 1, pp.5-9.
- [11] S. Haykin(1999), *Neural Network: A Comprehensive Foundation*, 2nd Ed, Prentice Hall, New Jersey;
- [12] Qiang Zhang et al (2017), *Nonlinear Adaptive Control Algorithm Based on Dynamic Surface Control and Neural Networks for Ship Course-keeping Controller*, Journal of Applied Science and Engineering, Vol.20, № 2, pp. 157-163;
- [13] Zhi-hui Qu and Xing-cheng Wang (2019), *Design of Ship Course Controller Based on Improved Adaptive Backstepping*, Advances in Intelligent Systems Research, Vol.168, pp.28-33;
- [14] Jialu Du and Chen Guo (2004), *Nonlinear Adaptive Ship Course Tracking Control Based on Backstepping and Nussbaum Gain*, Proceeding of the 2004 American Control Conference, AACC 2004, June 30-July 2, Boston, Massachusetts;
- [15] Pershitz R(1983), *Ship's maneuverability and control*, Leningrad, Sudostroenie (tiếng Nga);

- [16] Sobolev G (1976), Ship maneuverability and ship's control automation, Leningrad, Sudostroenie (tiếng Nga);
- [17] Voitkunsky Y, Ed (1985). Ship theory handbook, Vol 1, Leningrad, (tiếng Nga);
- [18] Lukomsky Iu (1996), Marine control systems, Leningrad (tiếng Nga);
- [19] Fossen T (2011). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*, Wiley.

Ngày nhận bài: 30/8/2019

Ngày chuyển phản biện: 6/9/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 30/9/2019

Ngày chấp nhận đăng: 7/10/2019
