

## KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

# BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ LAI TRONG HỆ THỐNG LÁI TỰ ĐỘNG TÀU THỦY

## A MARINE AUTOPILOT WITH A HYBRID FUZZY CONTROLLER

VƯƠNG ĐỨC PHÚC\*, ĐỖ VĂN A, LÊ VĂN TÂM

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: phucvd.ddt@vimaru.edu.vn

### Tóm tắt

Hệ thống lái tự động trên tàu thủy là đối tượng điều khiển phi tuyến và phức tạp do ảnh hưởng của môi trường vận hành và nhiều yếu tố khách quan. Bài báo đề xuất bộ điều khiển mờ lai nhằm tạo ra bộ điều khiển có chất lượng hơn so với các bộ điều khiển đang được sử dụng để điều khiển bánh lái quay góc phù hợp nhất giúp con tàu hành trình an toàn, tăng tính kinh tế, dễ sử dụng trong quá trình khai thác vận hành tàu.

**Từ khóa:** Hệ thống lái tàu thủy, Lái tự động tàu thủy, điều khiển mờ, điều khiển PID.

### Abstract

The autopilot system on ships is a nonlinear and complex control object due to the influence of the operating environment and many objective factors. The article proposes a hybrid fuzzy controller to create a controller with better quality than the ones being used to control the rudder to turn the most suitable angle to help the ship cruise safely, increase economy, ease of use in the process of ship operation.

**Keywords:** Steering gear system, marine autopilot, fuzzy controller, PID controller.

## 1. Giới thiệu

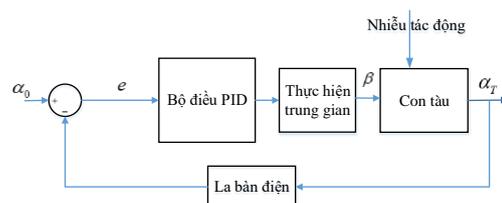
Tự động hóa đang phát triển trong mọi lĩnh vực, nó cũng đang thay đổi hàng ngày trong phát triển tự động hóa điều khiển tàu thủy, trong đó điều khiển bánh lái để thay đổi hướng đi của con tàu mang nhiều ý nghĩa. Hệ thống lái liên quan chặt chẽ đến hiệu quả chi phí và đảm bảo an toàn cho con tàu, vì việc sử dụng máy lái tự động góp phần đảm bảo tàu hành hải theo hướng đi ngắn nhất, giảm tỷ lệ tiêu thụ nhiên liệu và giảm hao mòn thiết bị,... Trước đây bộ điều khiển PID được sử dụng rộng rãi và được coi là bộ điều khiển kinh điển để thiết kế máy lái tự động [1]. Bộ điều khiển này đã áp dụng thiết kế hệ thống mô phỏng, bao gồm một mô hình của máy lái tự động dùng trong đào tạo thủy thủ trên tàu [2]. Bộ điều khiển được phát triển theo thời gian và PID là một trong những phần tử của hệ thống trong các phát triển đó. Các bộ điều khiển có thể xuất áp dụng bộ điều khiển mạng nơ-ron, trong khi

các tham số của bộ điều khiển PID được rút ra từ định lý ổn định của Lyapunov [3]. Ở [4] các tác giả giải quyết vấn đề dự báo mô hình hướng đi của tàu biển bằng cách sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo. Bên cạnh đó các tác giả còn phát triển hệ thống lái thích nghi,... Qua phân tích đánh giá, tổng hợp nhóm tác giả thấy hệ thống lái sử dụng logic mờ có nhiều ưu điểm và mang lại chất lượng điều khiển tốt hơn. Logic mờ đã trải qua một chặng đường dài kể từ khi nó lần đầu tiên được giới thiệu vào năm 1945, một trong những máy lái tự động đầu tiên được thiết kế với lý thuyết tập mờ được trình bày vào năm 1995. Mô hình lái tự động cũng được đưa ra dựa trên lý thuyết logic mờ, chứa hệ thống suy luận mờ hoặc quan sát sử dụng lý thuyết logic mờ [5, 6]. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng logic mờ có tham chiếu với mô hình mẫu của con tàu lý tưởng để tính toán các tham số theo điều kiện làm việc thực tế của thời tiết, môi trường.

## 2. Mô hình bộ điều khiển

### 2.1. Cấu trúc hệ thống

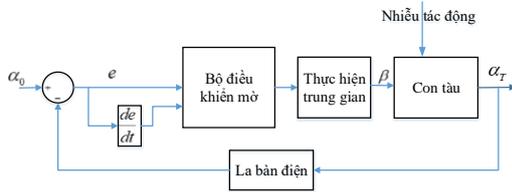
Do hệ thống lái là đối tượng phi tuyến, không có mô hình toán học chính xác. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sẽ nghiên cứu các bộ điều khiển khác nhau để phân tích, đánh giá và đưa ra bộ điều khiển có chất lượng tốt nhất. Hình 1 chỉ ra cấu trúc bộ điều khiển PID. Tiếp đó mô hình hệ thống điều khiển mờ được nghiên cứu (Hình 2). Hệ thống mờ lai được đưa ra dựa trên lý thuyết điều khiển hiện đại như việc kết hợp mờ với hệ thống điều khiển nơ-ron (Hình 3), hay bộ điều khiển mờ sử dụng bộ quan sát các tham số (Hình 4). Tại Hình 3 con tàu được điều khiển thông qua bộ phân loại nơ-ron để xác định mạng nơ-ron nào phù hợp nhất với các đặc điểm này theo dữ liệu thống



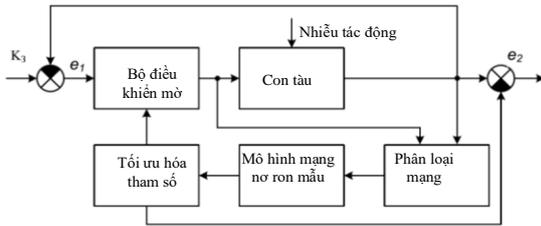
Hình 1. Mô hình hệ thống điều khiển PID

kê. Dữ liệu này đưa qua mô hình mạng nơ ron của mô hình mẫu của các tàu từ đó xác định tham số tối ưu của bộ điều khiển logic mờ.

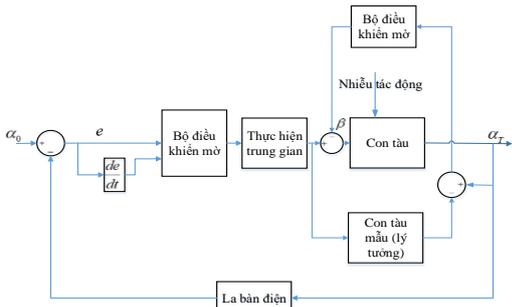
**2.2. Hàm truyền đạt**



Hình 2. Mô hình hệ thống điều khiển mờ



Hình 3. Mô hình hệ thống điều khiển mờ - Nơ ron



Hình 4. Mô hình hệ thống điều khiển mờ kết hợp mô hình tham chiếu

Xét mô hình tàu được thể hiện trong Hình 4 [7], trong đó có xét đến ảnh hưởng của sóng gió. Hàm truyền được tính theo (1), trong đó  $\alpha$  là hướng thực tế của con tàu lấy từ la bàn,  $\beta$  là góc bệ của bánh lái:

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} \tag{1}$$

Nếu bỏ qua các nhiễu loạn thì hàm truyền đạt dạng tổng của tàu được tính theo công thức (2) hoặc dạng tích theo công thức (3), trong đó  $k$  là hệ số hàm truyền đạt,  $T$  là các hằng số thời gian:

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_1(1 + T_0s)}{s(1 + T_1s + T_2s^2)} \tag{2}$$

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_1(1 + T_0s)}{s(1 + T_1s)(1 + T_2s)} \tag{3}$$

Khi tàu chuyển động khu vực dòng chảy bình thường và có ảnh hưởng của các nhiễu loạn thì hàm truyền có thể được xác định theo (4):

$$F(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{k_2(1 + T_3s)}{s(1 + T_1s + T_2s^2)} \tag{4}$$

**2.3. Thiết kế bộ điều khiển mờ (FLC: Fuzzy Logic Controller)**

Mục tiêu là cần điều khiển  $\beta$  để giữ cho tàu đi đúng hướng. Dựa trên tín hiệu đầu vào là sai lệch  $e$  giữa hướng đi thực  $\alpha$  và hướng đi đặt  $\alpha_0$  và vi phân sai lệch  $de/dt$  cho bộ điều khiển mờ. Đầu ra của bộ điều khiển sẽ quyết định tạo ra là góc bánh lái lệnh tuyệt đối.

Bảng 1. Luật hợp thành bộ điều khiển mờ

de/dt \ e	AL	AT	AN	K	DN	DT	DL
AL	AL	AL	AL	AL	AT	AN	K
AT	AL	AL	AL	AT	AN	K	DN
K	AL	AT	AN	K	DN	DT	DL
DT	AN	K	DN	DT	DL	DL	DL
DL	K	DN	DT	DL	DL	DL	DL

Theo Hình 2 và Hình 4 bộ điều khiển mờ có tín hiệu vào là  $e$ ,  $de/dt$  có biến ngôn ngữ được chọn như sau:

$$e = \{AL, AT, AN, K, DN, DT, DL\};$$

$$de/dt = \{AL, AT, AN, K, DN, DT, DL\}.$$

Trong đó: AL là âm lớn, AT là âm trung bình, AN là âm nhỏ, K là không, DN là dương nhỏ, DT là dương trung bình, DL là dương lớn. Về giá trị khi thực hiện ở chế độ lái tự động nếu sai số lớn hơn 10 độ thì hệ thống thường phát ra tín hiệu cảnh báo và coi đó là sai số lớn. Như vậy AL là -10 độ, DL là +10 độ.

Tương tự đầu ra của bộ điều khiển là  $\beta$  có biến ngôn ngữ được chọn như sau:

$$\beta = \{AL, AT, AN, K, DN, DT, DL\}.$$

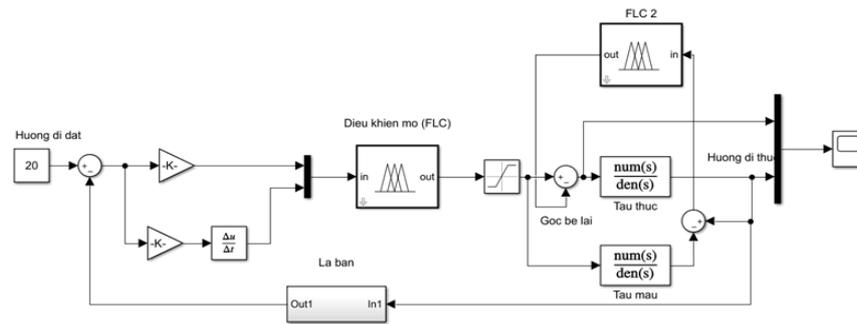
Về giá trị để hệ thống đáp ứng nhanh ta chọn AL là -35 độ, DL là +35 độ. Việc chọn 7 biến ngôn ngữ giúp cho hệ thống làm việc có độ tác động nhanh hơn, nhưng cũng làm cho hệ thống trở nên phức tạp hơn đòi hỏi phân cứng thực hiện thuật toán phải đáp ứng được.

Luật điều khiển được chọn theo Bảng 1, phương pháp giải mờ trọng tâm với thiết bị hợp thành là MAX-MIN.

**3. Mô phỏng hệ thống**

**3.1. Thông số mô phỏng**

Để thực hiện kiểm nghiệm kết quả ta lấy thông số từ con tàu cụ thể [7, 8] như sau:



**Hình 5. Mô hình hệ thống xây dựng trên Simulink**

**3.2. Xây dựng mô hình trên Matlab Simulink**

Trong bài báo này nhóm tác giả tập trung phân tích kết quả mô phỏng con tàu theo hệ thống điều khiển kinh điển, hệ thống điều khiển mờ và mờ lai để thấy rõ chất lượng bộ điều khiển ứng dụng lý thuyết mờ.

Mô hình hệ thống xây dựng trên phần mềm Matlab được thể hiện tại trên Hình 5. Trong đó giả sử hướng đi là 20 độ, giới hạn góc bẻ lái  $\pm 35$  độ (cài trong khối SATURATION). Bộ điều khiển mờ được tổng hợp từ Bảng 1. Hàm truyền được lấy từ các tham số trong Bảng 2.

**Bảng 2. Thông số tàu**

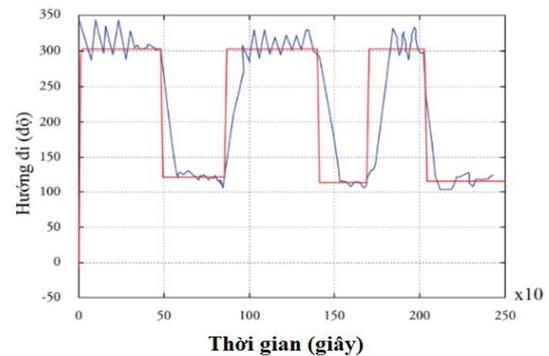
Thông số	Giá trị
Chiều dài tổng thể	171,80m
Chùm sáng tối đa	23,17m
Mớn nước thiết kế	8,23m
Tốc độ thiết kế	15 hải lý/ giờ
Góc bánh lái tối đa	35 (rad)
Hệ số K	0,185
$T_0$	1,4325 giây
$T_1$	25 giây
$T_2$	7,8 giây
$T_3$	18,5 giây
Tốc độ gió	2m/s
Chiều cao sóng	0,8m

**3.3. Kết quả mô phỏng**

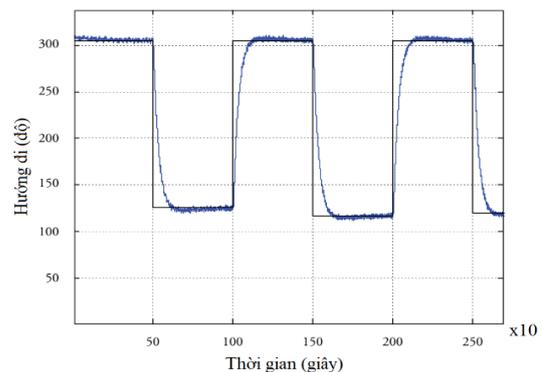
Hình 8 thể hiện hướng đi thực của tàu khi thực hiện thay đổi hướng đi. Đường màu xanh thể hiện hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển PID, đường màu đỏ thể hiện hướng đi cần thay đổi khi tàu hành trình. Qua kết quả ta nhận thấy độ quá chỉnh của hệ thống (khoảng 10%), thời gian quá độ (40s), số lần dao động (5) trước khi trở về hướng ổn định, sai số tĩnh (1-2%) là tương đối lớn.

Hình 7 thể hiện hướng đi của tàu khi sử dụng mô

hình điều khiển được đề xuất (mờ lai). Qua kết quả ta nhận thấy độ quá chỉnh của hệ thống rất nhỏ (không quá 1%), thời gian quá độ ngắn, số lần dao động nhỏ trước khi trở về hướng ổn định, sai số tĩnh gần như bằng 0. Nếu so với bộ điều khiển PID ta có thể thấy chất lượng là vượt trội. Hình 8 thể hiện hướng đi của tàu theo sự tác động góc quay của bánh lái.

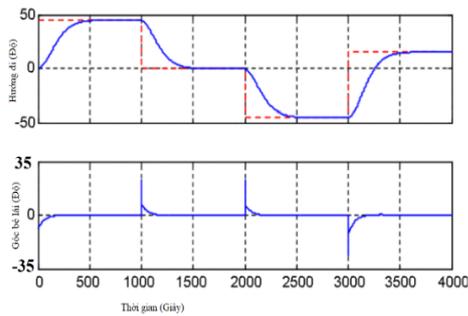


**Hình 6. Sự thay đổi hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển PID**

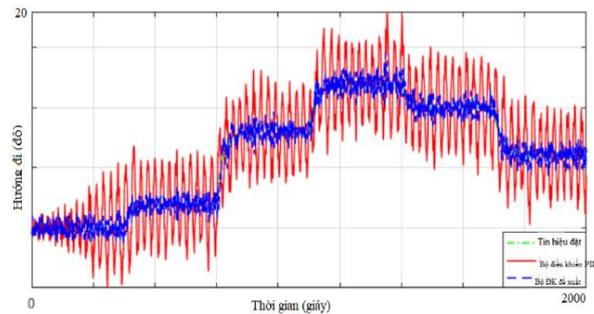


**Hình 7. Sự thay đổi hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển mờ lai**

Hình 9 mô phỏng trên cùng hệ trục tọa độ các tín hiệu trong thời gian mô phỏng 2000 giây. Đường màu xanh nhạt thể hiện tín hiệu đặt hướng đi, đường màu đỏ thể hiện hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển



**Hình 8. Sự thay đổi hướng đi và góc của bánh lái trong quá trình điều khiển khi sử dụng bộ điều khiển mờ lai**



**Hình 9. Sự thay đổi hướng đi của tàu theo từng bộ điều khiển**

PID còn đường màu xanh đậm thể hiện hướng đi của tàu khi sử dụng bộ điều khiển mờ lai đề xuất. Từ kết quả thấy rất rõ bộ điều khiển mờ tốt hơn hẳn so với bộ PID truyền thống thông qua thời gian ổn định ngắn hơn, độ quá chỉnh nhỏ, số lần dao động ít và sai số tĩnh rất nhỏ so với giá trị đặt.

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp thiết kế hệ thống lái tự động trên tàu dưới tác động của các yếu tố ngoại vi. Cấu trúc hệ thống được đề xuất và tiến hành mô phỏng trên phần mềm Matlab để đánh giá chất lượng. Qua kết quả mô phỏng cấu trúc hệ thống điều khiển mờ lai có chất lượng vượt trội so với bộ PID truyền thống. Trong bài báo tiếp theo nhóm tác giả tiến hành các nghiên cứu tiếp theo về các cấu trúc đã đề xuất với các điều kiện làm việc khác nhau liên quan đến tải trọng, điều kiện nhiễu,... Bộ điều khiển đề xuất ngoài việc mô phỏng còn có thể kiểm định trên hệ thống thực đã được xây dựng trong [9] để kiểm nghiệm để từ đó tìm được bộ điều khiển giúp tàu ổn định hướng đi, tăng tính kinh tế trong quá trình khai thác con tàu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tống Lâm Tùng, Đào Minh Quân (2015), *Truyền động điện tàu thủy*, NXB Hàng hải.
- [2] L. Weifeng, S. Caiqin, W. Chuang, L. Guangxing, and X. Bin (2017), *Modeling, Simulation and Application of the Hydraulic Steering Gear System in DMS2016 Marine Engineering Simulator*, 2017 9th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), pp.296-299.

- [3] N. Khaled and N.G. Chalhoub (2013), *A self-tuning guidance and control system for marine surface vessels*, Nonlinear Dyn, Vol.73, No.1-2, pp.897-906.
- [4] A. Annamalai, R. Sutton, C. Yang, P. Culverhouse, and S. Sharma (2015), *Robust adaptive control of an uninhabited surface vehicle*, Journal of Intelligent & Robotic Systems, Vol.78, No.2, pp.319-338.
- [5] J. Ren and X. Zhang (2013), *Ship course-keeping adaptive Fuzzy controller design using command filtering with minimal parametrization*, 2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp.243-247.
- [6] J. Ren (2012), *Adaptive Fuzzy Control via Command Filtering and Backstepping for Ship Course-Keeping*, Applied mathematics & information sciences, Vol.6, No.3, pp.733-739.
- [7] FOSSEN, T. I (2002). *Marine Control Systems. Guidance, Navigation, and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*. Marine Cybernetics. Trondheim, Norway.
- [8] Dang, X. K., Ho, L. A. H., & Do, V. D (2021). *Joint fuzzy controller and fuzzy disturbance compensator in ship autopilot system: Investigate stability in environmental conditions*, pp.114-126.
- [9] Vương Đức Phúc, Đỗ Văn A, Lê Văn Tâm (2021), *Nghiên cứu và xây dựng mô hình hệ thống lái tàu thủy phục vụ công tác đào tạo*, Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Trường, Mã số: DT21-22.41, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Ngày nhận bài:	20/3/2022
Ngày nhận bản sửa:	19/4/2022
Ngày duyệt đăng:	26/4/2022